



**Министерство образования и науки  
Российской Федерации  
Рубцовский индустриальный институт (филиал)  
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический  
университет им. И.И. Ползунова»**

## **СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ: ПРОБЛЕМЫ, СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

Материалы V Всероссийской научно-практической конференции

26-27 ноября 2015 г.

Рубцовск 2015

УДК 62  
С 56

Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы: Материалы V Всероссийской научно-практической конференции 26-27 ноября 2015 г. / Под ред. к.т.н., доцента В.В. Гриценко; к.т.н., доцента И.В. Курсова / Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2015. – 537 с.

В сборник материалов научно-практической конференции «Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы», проходившей в Рубцовском индустриальном институте 26-27 ноября 2015 года, вошли статьи ученых, аспирантов и студентов вузов России и зарубежья, посвященные различным направлениям естественных и технических наук.

**Материалы конференции могут быть интересны студентам, аспирантам, преподавателям школ, среднеспециальных и высших учебных заведений, широкому кругу читателей.**

Стилистика текстов сохранена в авторской редакции.  
Точка зрения редакции не всегда совпадает с точкой зрения авторов.

**ISBN 978-5-9907711-2-3**

**Научные редакторы:**

**Шашок А.В.** – и.о. зам. директора по научной работе РИИ АлтГТУ, к.т.н., доцент

**Дудник Е.А.** - к.ф.-м.н., доцент, зав. кафедрой «Прикладная математика», председатель секции «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

**Гриценко В.В.** - к.т.н., доцент кафедры «Техника и технологии машиностроения и пищевых производств», председатель секции «Прогрессивные технологические процессы и оборудование»

**Площаднов А.Н.** - к.т.н., профессор кафедры «Наземные транспортные системы», председатель секции «Наземные транспортные системы»

**Михайленко О.А.** - к.т.н., зав. кафедрой «Строительство и механика», председатель секции «Строительные технологии, машины, механизмы»

**Гончаров С.А.** - к.т.н., зав. кафедрой «Электроэнергетика и электротехника», председатель секции «Энергосбережение и повышение энергоэффективности»

**Чернецкая Н.А.** - к.т.н., доцент кафедры «Наземные транспортные системы», председатель секции «Проблемы экологической безопасности»

**Обухова Г.А.** - к.ф.-м.н., доцент, зав. кафедрой «Высшая математика, физика и химия», председатель секции «Физико-математические науки»

**ISBN 978-5-9907711-2-3**

© Рубцовский индустриальный институт, 2015

## **Секция 1. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ**

<b>Бабоченко Н.В.</b> Построение зоны действия шарнирно-стержневого робота манипулятора	8
<b>Гавриленко Т.В., Федорова Т.А.</b> Информационные технологии в проектировании водопропускных сооружений на дорогах	12
<b>Дудник Д.В., Хаванский С.А., Маршалкин О.Д.</b> Моделирование процесса наноиндентирования поверхности сплава методом молекулярной динамики	16
<b>Дудник Е.А., Красноперова В.О.</b> Моделирование структурно-энергетических особенностей в 2D кристалле методом молекулярной динамики	22
<b>Дудник Е.А., Штехман И.В., Абросимова А.М.</b> Моделирование сверхструктурных особенностей в бинарном сплаве методом Монте-Карло	29
<b>Джамбеков А.М.</b> Особенности выбора методики управления процессом каталитического риформинга	33
<b>Зайнутдинова З.Р., Нерадовский Д.Ф.</b> Моделирование гистерезисных явлений в ферромагнетике с учетом механических напряжений 1-го и 2-го рода	40
<b>Кожевятков М.С.</b> Решение линейных однородных систем дифференциальных уравнений с использованием Maple	49
<b>Копылова О.А.</b> Приведение кривой второго порядка к каноническому виду с использованием средств пакета Maple	52
<b>Мясниченко В.С., Эссер А.А., Ершов П.М.</b> Моделирование роста кластеров меди: топологическое описание, стабильность и реализуемость в интерметаллидах	54
<b>Пархоменко С.Г., Пархоменко Г.Г.</b> Моделирование работы дизельного двигателя с всережимным регулятором в программном комплексе «МВТУ»	60
<b>Ситник О.С., Цыганков А.Н., Дудник Е.А.</b> Моделирование 3D-объекта методом лазерного сканирования	67
<b>Сторчеус Ю.В., Данилейченко А.А., Брянцев М.А., Ковтун А.С.</b> Методика расчета производительности и основных геометрических размеров каскадного обменника давления	71
<b>Фейсал Р.Г., Хади О.Ш., Баннов В.Я., Литвинов А.Н.</b> Конструкторское проектирование микросборок с учетом технологических воздействий	81

## **Секция 2. Прогрессивные технологические процессы и оборудование**

<b>Алексеев Н.С., Капорин В.А., Иванов С.В.</b> Исследование режущих свойств абразивного инструмента на керамической и бакелитовой связках при шлифовании микропористых покрытий	88
<b>Апполонов А.А.</b> Влияние температуры на концентрацию сухих водорастворимых веществ в экстракте тысячелистника	93
<b>Басова Е.М., Герман С.В.</b> Сравнительный анализ способов волочения сортовых профилей	96
<b>Басова Е.М., Герман С.В.</b> Распределение единичных обжатий при волочении в монолитной волоке	99
<b>Вишневский Д.А.</b> Расчет надежности оборудования и производственного риска причинения вреда здоровью кузнеца-штамповщика	102

<b>Герман С.В., Басова Е.М.</b> Анализ особенностей изготовления биметаллических деталей ДВС	111
<b>Герман С.В., Басова Е.М.</b> Условия формирования монотонного течения металла при получении изделий из сборной заготовки пластическим деформированием	113
<b>Гребеньков Р.В., Татаркин Е.Ю., Иконников А.М.</b> Проектирование компоновочных решений устройств для магнитно-абразивной обработки сложнопрофильных поверхностей деталей машин и инструментов	116
<b>Дунаев А.В., Фильков М.Н.</b> Повышение активности поверхностей трения в режиме граничной смазки	125
<b>Игушов Н.В., Мустафина А.С., Варфаламеева И.Ю.</b> Сохранение витамина С при переработке замороженных ягод жимолости в аппарате с вибрационной тарелкой	132
<b>Катусов Д.Н., Шатов А.А.</b> Классификация и анализ оборудования для электростатической обработки продуктов	140
<b>Кизиллов С.А.</b> Робототехническое средство для инспекции трубопроводов	148
<b>Левшин Г.Е.</b> О достоинствах и недостатках индукционных индукторных и электромагнитных тигельных печей	153
<b>Лозенко В.К., Михеев Д.В., Оклей П.И., Рогалев А.Н.</b> Эволюция электрического КПД парогазовых установок мощностью свыше 300 МВт	162
<b>Марьина Н.Л., Овчинникова Е.В.</b> Расчетное определение граничных условий нормальных давлений наружной поверхности кривошипной головки шатуна	166
<b>Падалко В.С.</b> Построение модели изображения вибрирующего тест-объекта на ПЗС-фотоприемнике с изменяемой кадровой частотой	173
<b>Позднякова Н.О.</b> Принципы развития инновационной технической системы	179
<b>Собачкина Л.Д., Бутыгин В.Б., Демидов А.С.</b> Пути повышения механических свойств в инструментальных сталях	181
<b>Соколов Р.А., Нерадовский Д.Ф.</b> Гармонический анализ квазистатических петель магнитного гистерезиса	184
<b>Фирсов А.С., Голубев В.В.</b> Расчет параметров высевающего диска пневматического высевающего аппарата	189
<b>Штокаленко В.П.</b> К вопросу о механизмах вакуумной выбивки сырых песчано-глинистых литейных форм	192

### **Секция 3. Наземные транспортные системы**

<b>Абаимов Р.В.</b> Оптимизация производственной деятельности автообслуживающих предприятий	199
<b>Абаимов Р.В.</b> Прогнозирование взаимодействия транспортных процессов и систем	213
<b>Артеменко М.И., Артеменко Е.М.</b> Комплексный подход к снижению динамической нагруженности корпуса гусеничной машины	221
<b>Батизи В.М.</b> Оптимизация массовых характеристик модели водила	224
<b>Батизи В.М.</b> Расчет фланцевых соединений на прочность и плотность	232
<b>Войнаш А.С., Войнаш С.А.</b> Повышение проходимости гусеничного сортиментовоза	240
<b>Войнаш А.С., Войнаш С.А.</b> Энергосбережение при сортиментной заготовке древесины в районах Сибири и Дальнего Востока	244



<b>Глёмин А.М., Мельников Ф.П., Третьяков А.М.</b> Начало массового производства автомобилей в СССР	247
<b>Камерлохер В.А., Солонникова Т.В., Беляева А.А.</b> Влияние скорости грузовых автомобилей на обзорность водителей	249
<b>Мельников Ф.П., Третьяков А.М., Глёмин А.М.</b> Американская школа автомобилестроения	258
<b>Нестеренко Р.С.</b> Как предотвратить столкновение автомобиля с пешеходом	262
<b>Пономаренко Е.В.</b> Прогнозирование уровня аварийности в г. Барнауле	267
<b>Репина Р.В., Пермский А.А.</b> Безопасность перевозочного процесса на пассажирском транспорте	270
<b>Семенов А.Г.</b> Зоо-машинные системы управления наземными транспортными средствами как альтернатива человеко-машинным, теле- и автоматическим системам	273
<b>Тимченко В.С.</b> Оценка перерабатывающей способности распределительного склада тарно-штучных грузов методом имитационного моделирования	283
<b>Тимченко В.С.</b> Методика обоснования эффективности строительства парка отстоя в припортовом железнодорожном узле	290
<b>Третьяков А.М., Глёмин А.М., Мельников Ф.П.</b> Перевозки навалочных грузов	297
<b>Татаркин А.М., Филькин Н.М.</b> Сравнительный анализ двух методов прогрева двигателя автомобиля	300
<b>Царёва Н.А.</b> Повышение качества проектирования городских станций технического обслуживания автомобилей на основе маркетинговых исследований	303

#### **Секция 4. Строительные технологии, машины, механизмы**

<b>Абдукаримов А.</b> Графоаналитическое исследование одного типа зубчато-рычажного дифференциального передаточного механизма	305
<b>Абдукаримов А.</b> Зубчато-рычажные дифференциальные передаточные механизмы для двухвалковых модулей	312
<b>Бабоченко Н.В.</b> Шарнирно-стержневое грузоподъемное средство с электрогидравлической системой управления	319
<b>Корнеев А.Н., Кутумов А.А., Абраменков Э.А.</b> Пневмоударное устройство для погружения обсадных труб в грунтовые среды	323
<b>Корнеев А.Н., Кутумов А.А., Абраменков Э.А.</b> Пневматическое устройство ударного действия многоцелевого применения в строительстве	324
<b>Корнеев А.Н., Кутумов А.А., Абраменков Э.А.</b> Пневматический молот для разрушения крепких материалов	325
<b>Пикчурова Н.С., Абзалтдинов Р.М.</b> Развитие методов расчета железобетонных изгибаемых элементов с трещинами в растянутой зоне	326
<b>Пиняскин А.А.</b> Восстановление гидроизоляции конструкций зданий и сооружений с применением поверхностной и объемной гидрофобизации	330
<b>Фок Н. А., Овчаренко Г.И.</b> Исследование возможности применения низкокальциевых золошлаковых отходов в растворах и мелкозернистых бетонах	336

## Секция 5. Энергосбережение и повышение энергоэффективности

<b>Ащеулов И. А., Попов А.Н.</b> Повышение надежности сбора информации с точек учета электроэнергии	339
<b>Балашов О.П.</b> Использование светодиодного освещения в производственных помещениях	343
<b>Бирюк В.В., Серебряков Р. А., Цыбизов Ю.И., Шелудько Л.П.</b> Вихревой газо – ветроэнергопреобразователь	347
<b>Власов Р.Ю.</b> Разработка устройства оповещения о проникновении на объекты энергетики	352
<b>Козлова И. В., Ушаков А.Г.</b> Разработка технологии переработки отходов биологических очистных сооружений	360
<b>Лысоконь А.К.</b> Влияние светодиодного освещения на здоровье человека	364
<b>Манусов В.З., Бойко К.Н.</b> Применение теории вейвлетов для анализа данных при решении задачи прогнозирования электрической нагрузки	370
<b>Манусов В.З., Халдаров Ш.К.</b> Система адаптивного управления ветроэнергетической установки на базе элементов нечеткой логики	376
<b>Мычка С.Ю., Шаталов М.А.</b> Формирование адаптивной политики энергоэффективности на региональном уровне	382
<b>Позднякова Т.В.</b> Обслуживающие подразделения предприятий ТЭК в системе управления запасами: проблемы и пути решения (на примере АО «Бийскэнерго»)	385
<b>Попова М.С.</b> Обоснование объема диагностики асинхронных двигателей и оценка их остаточного ресурса	391
<b>Семенов А.Г.</b> Способ зарядки литий-ионного аккумулятора, разряженного ниже допустимого уровня	399
<b>Серебряков Р. А., Стехин А.А., Яковлева Г.В.</b> Структурированная вода в технологиях сельского хозяйства	408
<b>Серебряков Р.А.</b> Гидравлический теплогенератор	415
<b>Серебряков Р.А.</b> Энергопреобразователь, использующий низкопотенциальные воздушные, тепловые и гидравлические потоки	418
<b>Сторчеус Ю.В., Ковтун А.С., Доценко Д.М.</b> Повышение уровня энергосбережения в системах наддува ДВС за счет использования каскадных трансформаторов энергии	423
<b>Сторчеус Ю.В., Данилейченко А.А., Доценко Д.М., Шаповалов А.С.</b> Характеристики дизеля 6Ч12/14 с системой наддува каскадно-теплого сжатия	430
<b>Татарникова А.Н.</b> Компенсация реактивной мощности в распределительных сетях 10 кВ	439
<b>Торопова Н.В.</b> Получение обогащенных концентратов на основе углеродосодержащих техногенных отходов	446
<b>Тырловой С.И.</b> Моделирование переходных процессов автомобильного дизеля с электронным регулятором частоты вращения	450
<b>Хуторненко С.Н.</b> Разработка математической модели газового подогревателя конденсата для котла - утилизатора с применением альтернативной схемы включения поверхностей нагрева	460
<b>Черкасова Н.И.</b> Разработка принципиальной схемы построения системы сельского электроснабжения, дифференцированной по уровням напряжения	470

## Секция 6. Проблемы экологической безопасности

<b>Васильев И.П., Кавун Д.Ю.</b> Использование терпентинов в качестве добавки к топливам дизельных двигателей	479
<b>Войнаш А.С.</b> Экологические технологии растениеводства	485
<b>Камерлохер В.А., Ильина А.Ю., Кобец Н.А.</b> Выбросы двигателей грузовых автомобилей	489
<b>Канапинов М.С., Горлова Н.Н., Медведев Г.В.</b> Возможность использования размола руд полиметаллов для получения пористых проницаемых каталитических материалов с использованием СВС-синтеза	498
<b>Квашевая Е.А.</b> Магнитоуправляемый нефтесорбент и установка для его получения	502
<b>Колупаева П.Г., Гаваев А.С.</b> Влияние уровня шума на экологическую безопасность в городе Тюмени	505
<b>Кононова А.С.</b> Получение водоуглеродного топлива на основе твердого остатка пиролиза автошин	511
<b>Попов В.С.</b> Производство брикетированного топлива из отходов пиролиза автошин с использованием связующего – вторичного полимера	515

## Секция 7. Физико-математические, химические науки

<b>Борисовский В.В.</b> Цилиндрическая система координат в задачах по физике	521
<b>Глушкова Е.С.</b> О единственности решения одной обратной задачи для линейного дифференциального уравнения второго порядка гиперболического типа	523
<b>Глушкова Е.С.</b> О сходимости одного числового ряда	525
<b>Чеботарев В.К., Пасека А.Е., Терентьев Р.А., Аветисян Н.Н., Питайкина А.О., Пяткова А.Е., Малюкова Т.С.</b> Возможности использования этилдитиоугольной кислоты в титриметрических методах анализа	527
<b>Чеботарев В.К., Пасека А.Е., Терентьев Р.А., Аветисян Н.Н., Пяткова А.Е., Питайкина А.О., Малюкова Т.С.</b> Оценка возможности использования 8- меркаптохинолина в титриметрии многокомпонентных смесей	532

## СЕКЦИЯ 1. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

Председатель секции: кандидат физико-математических наук, заведующая  
кафедрой «Прикладная математика» Дудник Евгения Александровна

### ПОСТРОЕНИЕ ЗОНЫ ДЕЙСТВИЯ ШАРНИРНО-СТЕРЖНЕВОГО РОБОТА МАНИПУЛЯТОРА

Н.В. Бабоченко

Волгоградский государственный аграрный университет

**Аннотация.** Ведутся работы по совершенствованию шарнирно-стержневых роботов манипуляторов для выполнения погрузочно-разгрузочных работ. Для выполнения расчетов, связанных с определением кинематических параметров, а затем и построения зоны действия, усовершенствованных шарнирно-стержневых роботов манипуляторов созданы компьютерные программы.

**Ключевые слова:** манипулятор, компьютерная программа, зона действия, стрела, блок-схема.

### CONSTRUCTION ZONE OF THE ROBOT-rod pivotally ROCKER

N.V. Babochenko

Volgograd State Agricultural University

**Abstract.** Work is underway to improve the hinged-rod robot manipulators for loading and unloading. To perform calculations related to the definition of kinematic parameters, and then the construction of coverage, improved joint-core robot manipulators created computer programs.

**Keywords:** arm, a computer program coverage, arrow, flowchart.

При исследовании работы шарнирно-стержневых роботов манипуляторов возникла необходимость в разработке компьютерной программы для выполнения расчетов, связанных не только с определением кинематических параметров усовершенствованных шарнирно-стержневых роботов манипуляторов, но и построением зоны действия роботов манипуляторов [1-5].

Необходимо исследовать полученные модификации шарнирно-стержневых роботов манипуляторов и в ходе исследований разработать программу для построения зоны действия роботов манипуляторов.

Для исследования кинематических возможностей разработанных модификаций шарнирно-стержневых роботов манипуляторов разработали программу, блок-схема которой представлена на рисунке 1. Исходными данными для расчетов явились: начальная длина гидроцилиндров  $l_1 = l_2 = l_0 = 300$  мм; размеры  $b = 60$  мм;  $c = 200$  мм;  $r = 270$  мм; ход штока  $S = 180$  мм; полная длина цилиндров  $l_1 = l_2 = l_0 + S = 480$  мм. Варьированием размеров  $a$  и  $l_1, l_2$  получены и выведены, кроме исходных данных, результаты расчёта  $Q, x, y, z, \varphi, \psi$  (углы в градусах). Зная координаты составляющих шарнирно-стержневого соединения стрелы, можно сделать графическое построение, отражающее работу стрелы шарнирно-стержневого робота манипулятора в целом.

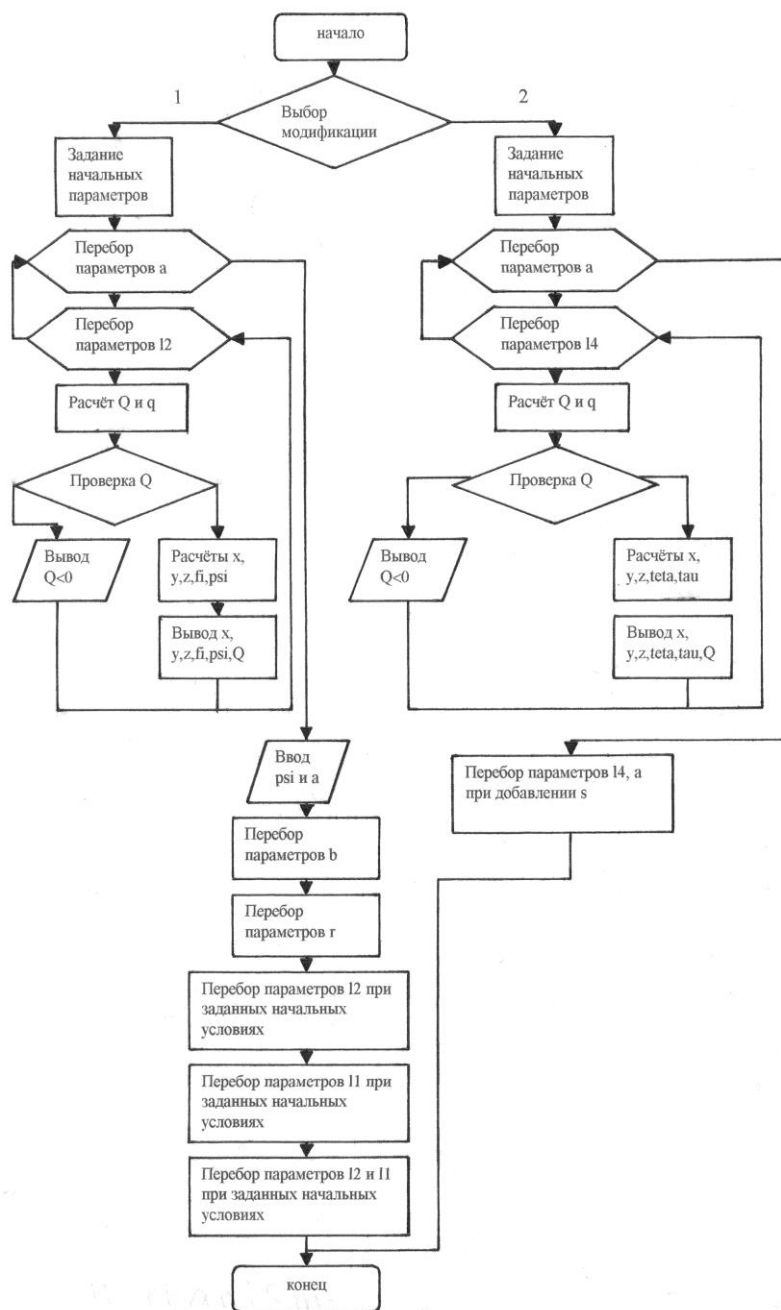


Рис.1. Блок-схема реализации программы *Mechanism – 3D*

Учтем при этом, что параметры  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и  $l_1$  и  $l_2$  – величины известные и подвергаются варьированию. Дальнейшие расчеты по определению зоны действия стрелы шарнирно-стержневого робота манипулятора привели к созданию программы *Pivotal Manipulator – 3D* (Стержневой манипулятор), которая позволяет определить положение в пространстве оголовка  $K$  стрелы и построить зону действия робота манипулятора как подвижной системы. Блок-схема реализации программы *Pivotal Manipulator – 3D* представлена на рисунке 2. Получив результаты работы программы, построили зону действий для усовершенствованных шарнирно-стержневых роботов манипуляторов, зоны действия некоторых вариаций представлены на рисунке 3 *а, б*. Используя разработанные компьютерные программы, можно определить

пространственные координаты и углы поворота в вертикальной и горизонтальной плоскостях оголовка стрелы, а благодаря созданной и работающей программе построения зоны действия шарнирно-стержневого робота манипулятора возможно графическое представление зоны действия роботов манипуляторов различной конструктивной вариации.

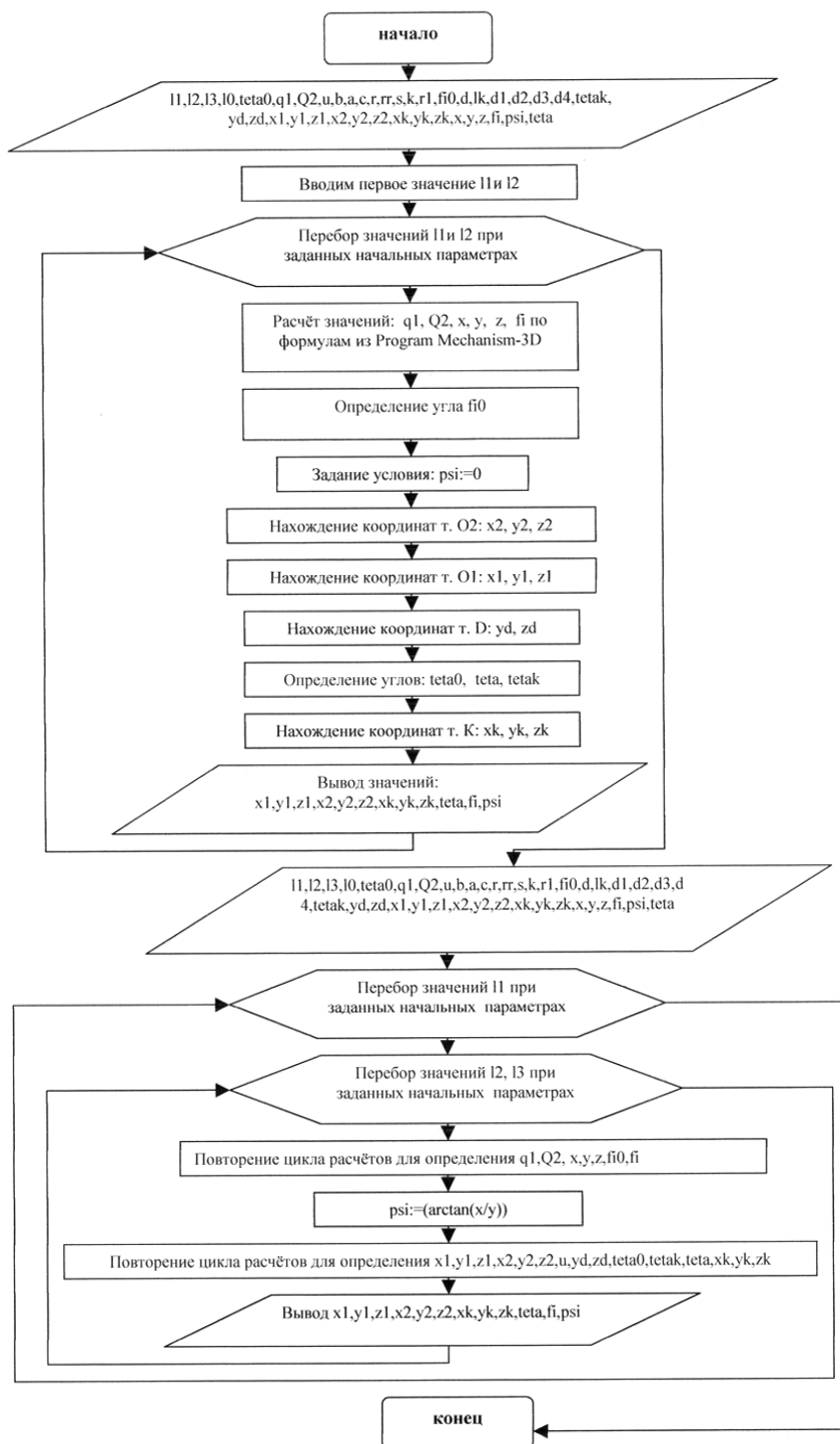
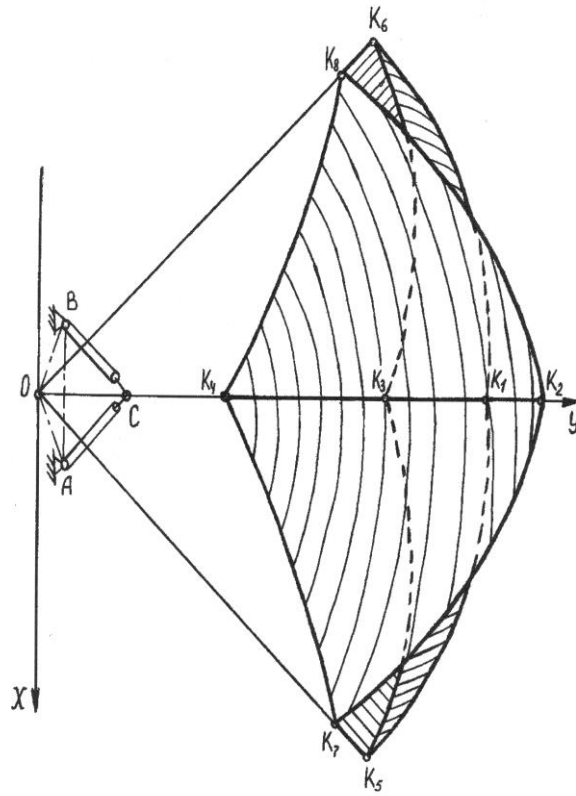
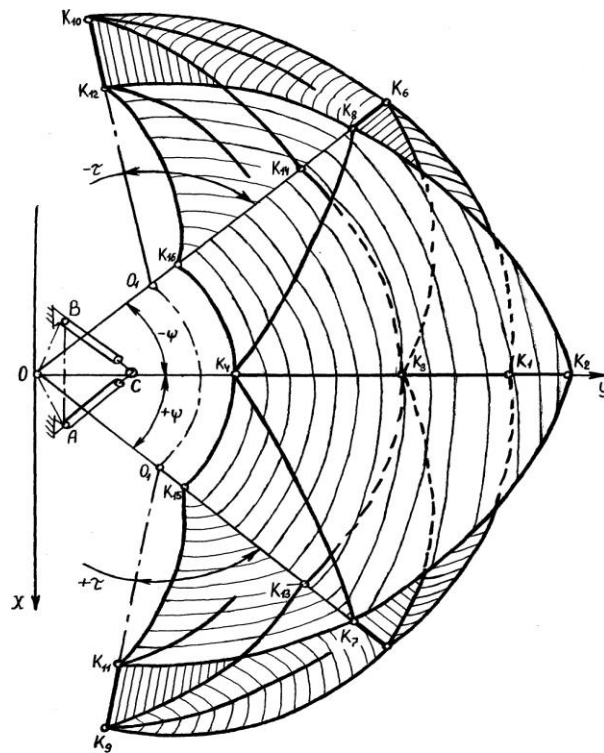


Рис. 2. Блок-схема реализации программы *Pivotal Manipulator – 3D*



*a*



*б*

Рис. 3. Зона действия роботов манипуляторов различных конструктивных вариаций

### Список литературы

1. Пат. №2178382 РФ, МКИ<sup>7</sup> В66 С 23/04. Стрела грузоподъемного средства / Пындак В.И., Кривельская Н.В. – Оpubл. 2002. – 8 с.
2. Патент РФ №2231494 МКИ<sup>7</sup> В66 С 23/04. Стрела грузоподъемного средства / Пындак В.И., Кривельская Н.В. и др. Оpubл. 28.06.04 г. – 8 с.
3. Патент РФ на полезную модель №145959 МКИ<sup>7</sup> В66 С 23/04. Стрела грузоподъемного средства / Бабоченко Н.В. Оpubл. 23.05.14 г. – 8 с.
4. Бабоченко, Н.В. Модель шарнирно-стержневого манипулятора с пространственным приводным механизмом [Текст] / Н.В. Бабоченко // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. – 2014. - №1. – С. 225-229.
5. Бабоченко Н.В. Компьютерная модель исследования кинематических параметров шарнирно-стержневых гидроманипуляторов [Текст] / Н.В. Бабоченко // Южно-Сибирский научный вестник. - 2014. - №2. – С. 8-10.

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ВОДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ДОРОГАХ

Т.В. Гавриленко, Т.А. Фёдорова

*Сибирский федеральный университет*

**Аннотация:** Излагается методика применения цифровых технологий при оценке максимальных расходов воды с малых водосборных бассейнов. Приведен пример использования программных продуктов GoogleEarth и IndorCAD для нахождения геометрических параметров бассейнов.

**Ключевые слова:** *автоматизированное проектирование, водосборный бассейн, цифровая модель местности*

## INFORMATION TECHNOLOGY IN THE DESIGN OF CULVERTS ON ROADS

T.V. Gavrilenko, T.A. Fedorova

The technique of applying digital technologies in the assessment of maximum water discharges from small watersheds. An example of using GoogleEarth software IndorCAD and for finding geometric parameters of the pools.

**Keywords:** *computer-aided design, drainage basin, a digital terrain model*

Информационные технологии широко применяются в проектировании транспортных сооружений. Помимо разработки самих элементов дороги, таких как её план, продольный и поперечные профили, требуется запроектировать сооружения, предназначенные для пропуска через тело насыпи воды, стекающей по рельефу местности к дороге, так называемого поверхностного стока. Чаще всего на дорогах используют трубы.

Размеры водопропускного отверстия труб подбирают на основе гидравлических расчетов, включающих в себя нахождение расчетного максимального расхода воды, притекающей к сооружению, скорости и глубины водного потока на входе и выходе из трубы. Одним из главных факторов, влияющих на поверхностный сток, является водосборный бассейн



(водосбор, бассейн) – территория, с которой вода притекает к водопропускному сооружению по склонам местности. Границами бассейна являются водораздельные линии и замыкающий створ – ось дороги.

Для большинства регионов нашей страны учитывают два вида стока, которые формируются в результате выпадения интенсивных ливней и таяния снега – ливневого и талых вод соответственно. За расчётный сток принимают тот, который оказывается наиболее опасным. При относительно малых площадях бассейна до 50-100 км<sup>2</sup> обычно превалирует сток ливневых вод, и такие водосборные бассейны называют малыми [1].

В дорожном проектировании максимальный расход ливневых вод оценивают по формуле

$$Q_{\max}^{\text{л}} = 16,7 a_{\text{ч}} K_t F \alpha \varphi, \quad \text{м}^3/\text{с}, \quad (1)$$

где  $a_{\text{ч}}$  – интенсивность ливня часовой продолжительности, мм/мин;  $K_t$  – коэффициент перехода от ливня часовой продолжительности к ливню расчётной продолжительности;  $F$  – площадь водосборного бассейна, км<sup>2</sup>;  $\alpha$  – коэффициент потерь стока;  $\varphi$  – коэффициент редукиции [1].

Расчёт стока талых вод с малых водосборов обычно ведут по формуле

$$Q_{\max}^{\text{т}} = \frac{k_0 h_p F}{(F + 1)^n} \delta_1 \delta_2, \quad \text{м}^3/\text{с}, \quad (2)$$

где  $k_0$  – коэффициент дружности половодья;  $h_p$  – расчётный слой стока талых вод, мм;  $F$  – площадь водосборного бассейна, км<sup>2</sup>;  $\delta_1$  и  $\delta_2$  – коэффициенты, учитывающие снижение расхода в залесенных и заболоченных бассейнах;  $n$  – показатель степени, учитывающий природную зону [1].

Параметры  $a_{\text{ч}}$ ,  $K_t$ ,  $\alpha$ ,  $k_0$ ,  $h_p$ ,  $n$  принимают по специальным картам-схемам, таблицам и графикам [2]. Коэффициент редукиции, учитывающий неполноту стока в связи с неравномерным распределением осадков по площади водосборного бассейна  $F$ , вычисляют по формуле

$$\varphi = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt[4]{10F}}, & \text{при } 0,1 \text{ км}^2 \leq F \leq 100 \text{ км}^2, \\ 1, & \text{при } F \leq 0,1 \text{ км}^2. \end{cases} \quad (3)$$

Положение и площадь водосборного бассейна определяют по крупномасштабным топографическим картам, материалам геодезических и аэрокосмических съемок или цифровым моделям местности. Данные геодезической съемки обычно представляют собой информацию для служебного пользования, поэтому в рамках студенческого проектирования получают приближенные отметки местности, например, с помощью специальной бесплатной программы Google Earth. В [2] приведены примеры использования данной программы при проектировании объектов улично-дорожной сети. В ней на электронной карте можно проложить эскизную линию будущей трассы и снять вдоль неё отметки земли.

На рис. 1 представлено рабочее окно программы GoogleEarth с эскизным вариантом трассы и продольным разрезом земли по её оси.

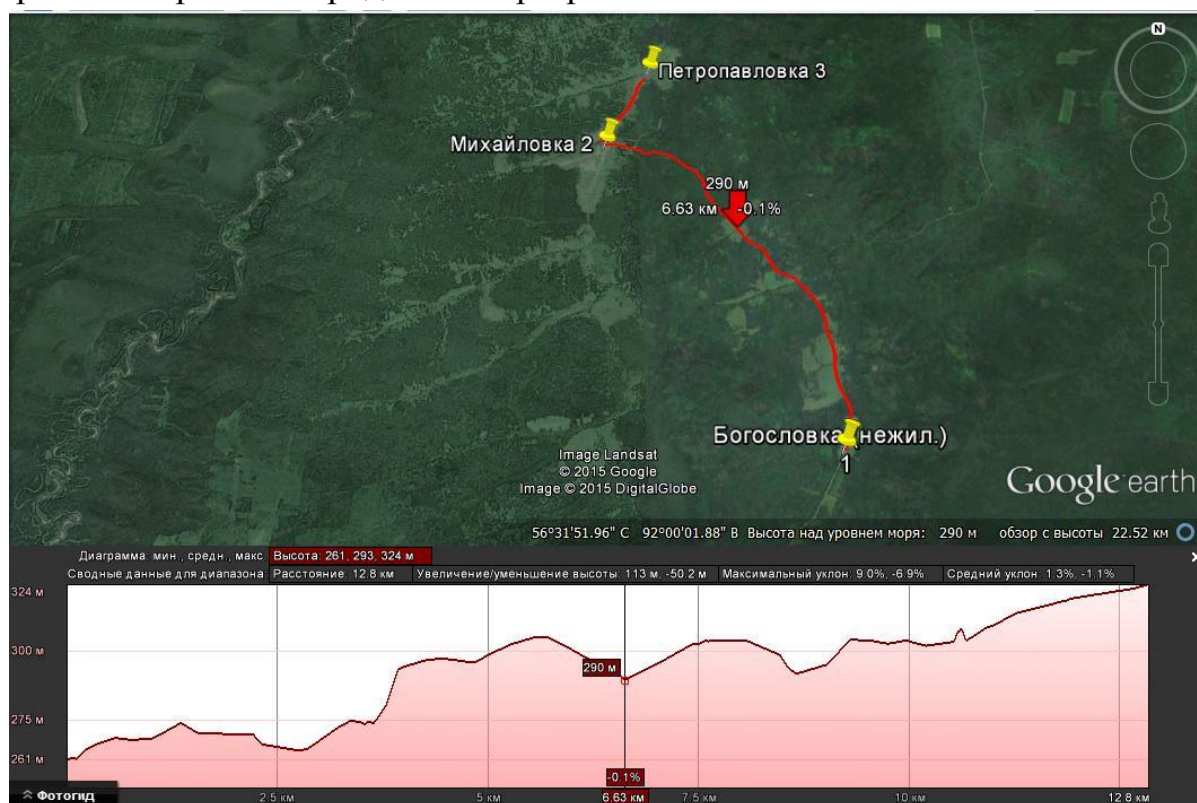


Рис. 1. Эскизная линия трассы и продольный профиль земли по оси трассы

Анализ профиля земли по трассе показывает, что местность является пересечённой с большим количеством пониженных мест, к которым притекает вода. Одним из таких мест является створ на 6,63 км. Чтобы оценить параметры водосборного бассейна, требуется построить несколько поперечных к трассе линий и снять с них отметки земли. В рабочем окне программы отображаются географические координаты местности, соответствующие положению курсора на продольном разрезе. На рис. 1 координаты местности, на которую указывает курсор:  $56^{\circ}03'51,96''$  С (северной широты) и  $92^{\circ}00'01,88''$  В (восточной долготы).

Таким образом, собирая данные вдоль построенных поперечных линий с шагом, близким к 200 м, получим массив точек с известными географическими координатами и отметкой местности, который помещается в текстовый файл.

На следующем этапе точки вводятся в программу автоматизированного проектирования дорог IndorCAD/Road и программа преобразует географические координаты в плоские с помощью картографической проекции. В её качестве выбирается равноугольная цилиндрическая проекция, которая является стандартом для картографического Web-сервиса Google Maps. За начало плоской системы координат принимается точка пересечения нулевого меридиана с экватором. На введенных точках строится цифровая модель местности (рис. 2).

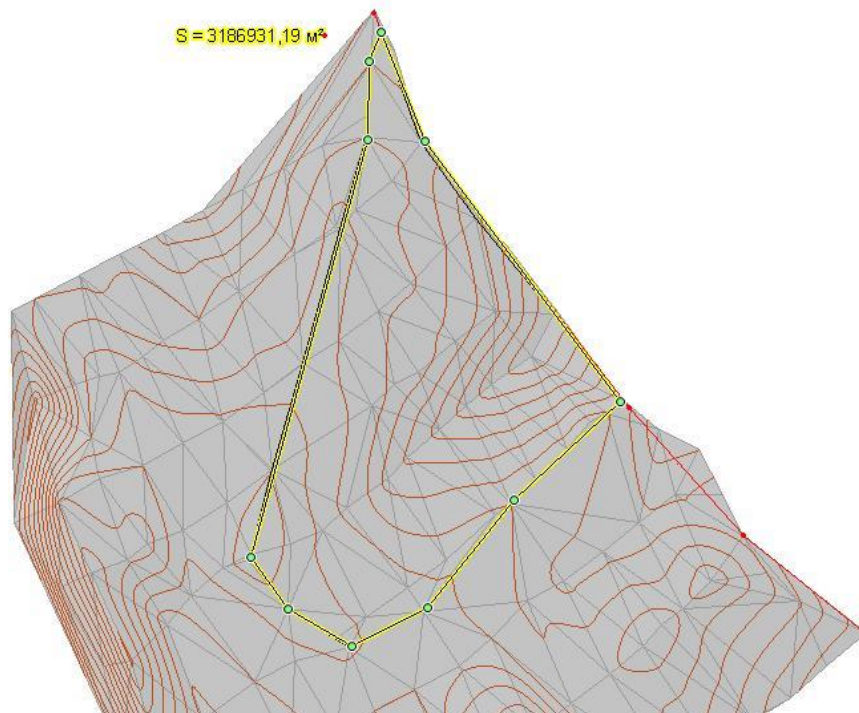


Рис. 2. Цифровая модель местности с границами водосборного бассейна

В программе IndorCAD/Road рельеф моделируется триангуляцией. Определить направление стока воды помогают стрелки, показывающие уклон местности в пределах каждого треугольника (рис. 3). С их помощью определяются водораздельные линии, т.е. границы бассейна, площадь и длина бассейна. В данном примере площадь бассейна составила  $S = 3,186 \text{ км}^2$ , длина  $L = 2160 \text{ м}$ .

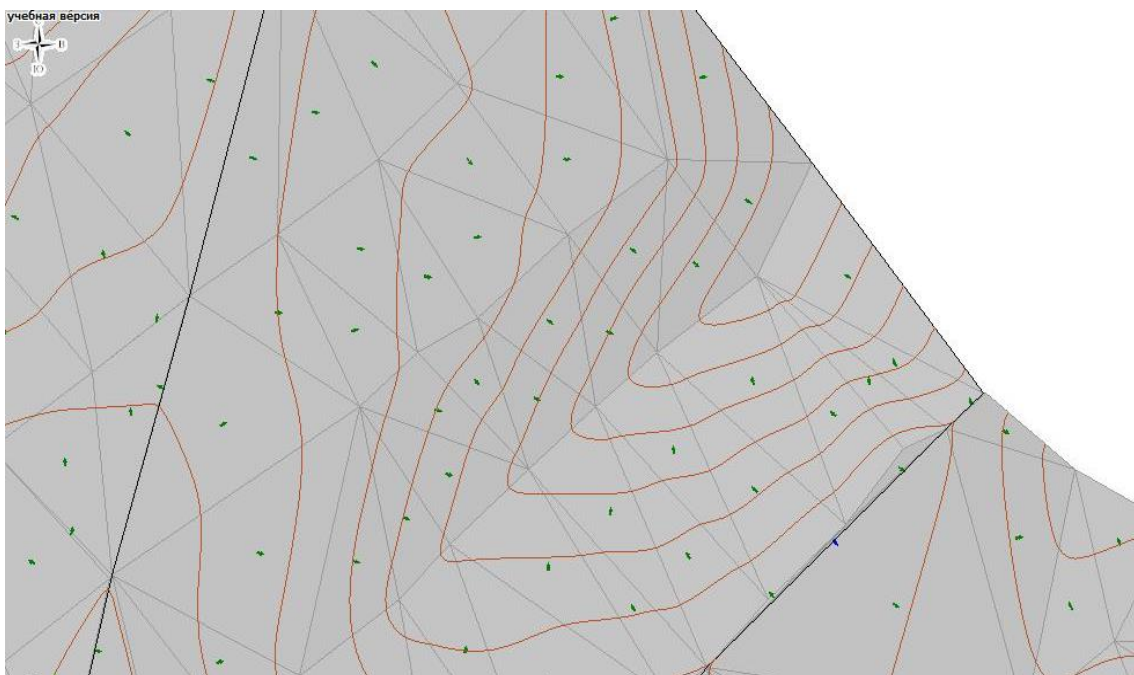


Рис. 3. Направления максимального стока воды в пределах треугольников

Полученные геометрические характеристики бассейна используются при нахождении максимальных расходов воды по формулам (1) и (2).

Таким образом, совместное применение программ GoogleEarth и IndorCAD/road позволяет быстро и наглядно оценить условия стока воды к проектируемой дороге и рассчитать геометрические характеристики водосборного бассейна в заданном створе.

#### Список литературы

1. Федотов Г.А., Поспелов П.И. Изыскания и проектирование автомобильных дорог. В 2 кн. Кн.1: Учебник. М.: Высш. шк., 2009. 646 с.

2. Гавриленко, Т.В. Информационные технологии в проектировании объектов улично-дорожной сети г. Красноярска / Т.В. Гавриленко, Н.В. Докалина, А.А Турбин, Д.Е. Крынцева // Инженерные исследования и достижения – основа инновационного развития: Материалы IV Всероссийской научно-технической конференции 27-28 ноября 2014г. / Рубцовский индустриальный институт. Рубцовск, 2014. С. 22-27. ISBN 978-5-9906075-2-1

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАНОИНДЕНТИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ СПЛАВА МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ**

Дудник Д.В., Хаванский С.А., Маршалкин О.Д.

*Рубцовский индустриальный институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И.Ползунова»*

**Аннотация.** С помощью моделирования методом наноиндентирования исследуются локальные структурные превращения и определяется их влияние на протекание процесса разупорядочения.

**Ключевые слова:** наноиндентирование, метод молекулярной динамики.

### **MODELING OF NANOINDENTATION SURFACE OF THE ALLOY BY METHOD OF MOLECULAR DYNAMICS**

D.V. Dudnik, S.A. Khavansky, O.D. Marshalkin

*Rubtsovsk Industrial Institute Altai State Technical named after I.I.Polzynov*

With the help of simulation investigated by nanoindentation local structural changes, and to determine their impact on the course of the process of disordering.

**Keywords:** nanoindentation method of molecular dynamics.

#### **Введение**

Метод наноиндентирования поверхности материала имеет применение как средство неразрушающего контроля напряженно-деформированного состояния материала [1-3]. Изменение напряжения материала, возникающее при действии на тело внешних сил, вызывается деформацией растяжения/сжатия, а также в результате фазовых (структурных) превращений, усадки и других физико-химических процессов и связано с изменением объема. Методом наноиндентирования регистрируется локальное сопротивление материала, что позволяет исследовать механические свойства различных металлов и сплавов, путем вдавливания наноиндентора в исследуемый материал. При погружении

наноиндентора на глубину около 15 ангстрем в наномасштабе начинают действовать локальные структурные превращения, влияющие на свойства материала, которые мало изучены.

### Методика проведения эксперимента

В качестве объекта исследования взят двумерный модельный сплав  $Ni_3Al$ , распределение атомов соответствует в ГЦК решетке атомной плоскости  $\langle 111 \rangle$  сверхструктуры  $L1_2$ . Размер расчетного блока  $24 \times 24$  элементарных ячеек. На границах расчетного блока, соответствующих направлениям  $\langle 121 \rangle$ , наложены жесткие и свободные граничные условия, а в направлениях  $\langle 110 \rangle$  – периодические. В кристалл производится вдавливание твердого наноиндентора с углом при вершине  $60^\circ$  (рис.1).

Энергия системы записывается в виде:

$$E = \sum_{i,j} \phi(r_{ij}) + \sum_{i,j,k} \psi(r_{ij}, r_{jk}, r_{ki}) + \sum_{i,j,k,l} \chi(r_{ij}, r_{jk}, r_{kl}, r_{li}) + \dots \quad (1)$$

Метод молекулярной динамики позволяет моделировать движение атомов в процессе их взаимодействия друг с другом в единицу времени. Сила взаимодействия между двумя атомами задается в виде:

$$F_{ij}(r) = -\frac{d\phi(r)}{dr} \quad (2)$$

где  $\phi(r)$  – парный межатомный потенциал [4],  $r$  – расстояние между атомами.

Движение атомов описывалось с помощью уравнений динамики Ньютона:

$$\begin{aligned} \frac{dx_j}{dt} &= v_{jx}, & \frac{dy_j}{dt} &= v_{jy}, \\ \frac{dy_x}{dt} &= \frac{F_{jx}}{m}, & \frac{dy_y}{dt} &= \frac{F_{jy}}{m}, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $j = 1, N$ ,  $N$  – количество атомов;  $v_{jx}, v_{jy}, F_{jx}, F_{jy}$  – соответствуют проекциям величин на оси прямоугольных декартовых координат  $Ox$  и  $Oy$ . Решается задача Коши с помощью численных методов. На границе расчетного блока на равнодействующую сил накладываются граничные периодические условия:

$$\begin{aligned} u_{i+L} &= u_i, & u_{i+L} &= u_i + \epsilon, \\ u_{i+L} &= u_i + \epsilon, & u_{i+L} &= u_i, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $L, H$  – длина и высота расчетного блока. Использование периодических условий позволяет имитировать бесконечную протяженность кристалла в рассматриваемом направлении. Данная задача не может быть решена в общем виде, для получения конкретных частных решений применяется метод центральных конечных разностей. Система (5) может быть приведена к виду:

$$\begin{aligned}
x_j(t+\Delta t) &= x_j(t) + \Delta t \cdot v_{jx}(t+\Delta t/2); \\
y_j(t+\Delta t) &= y_j(t) + \Delta t \cdot v_{jy}(t+\Delta t/2); \\
v_{jx}(t+\Delta t) &= v_{jx}(t-\Delta t/2) + \Delta t \cdot \frac{F_{jx}(t)}{m}; \\
v_{jy}(t+\Delta t) &= v_{jy}(t-\Delta t/2) + \Delta t \cdot \frac{F_{jy}(t)}{m},
\end{aligned} \tag{5}$$

где  $\Delta t$  – шаг интегрирования. Формулы являются рекуррентными соотношениями для нахождения позиций и скоростей всех подвижных атомов в момент времени  $t + \Delta t/2$  по позициям и скоростям атомов в моменты времени  $t$  и  $t - \Delta t/2$ .

Напряжения атома рассчитывается по формуле [7]:

$$\sigma_i^{\alpha\beta} = \frac{1}{\Omega_i} \sum_j f_{ij}^{\alpha} \cdot f_{ij}^{\beta} \tag{6}$$

где  $\Omega_i$  – локальный объем  $i$ -го атома,  $f_{ij}^{\alpha}$  – сила взаимодействия между  $i$ -ми и  $j$ -ми атомами,  $r_{ij}$  – расстояние между атомами  $i$  и  $j$ .

Локальный объем находится следующим образом [7]:

$$\Omega_i = \frac{4\pi}{3} \cdot \bar{a}_i^3, \text{ где } a_i = \frac{\sum_j \frac{1}{r_{ij}}}{\sum_j \frac{2}{r_{ij}^2}}, \tag{7}$$

Массу наноиндентора  $M$  принимали равной 300 массам атомов никеля. Это соотношение выбирали из условий качественного соответствия процессов внедрения наноиндентора в вещество в модели и реальных экспериментах.

Перемещения наноиндентора на  $n$ -й итерации определяли по формуле [5]:

$$\Delta V = \frac{F - F_{ax}}{M} \cdot dt \tag{8}$$

где  $F$  – нагрузка,  $F_{ax}$  – сила, действующая со стороны модельной области,  $V$  – скорость наноиндентора на  $(n-1)$  итерации. Силу  $F_{ax}$  находили как проекцию суммы всех сил, действующих со стороны сплава  $Ni_3Al$  на наноиндентор и определяющихся по второму закону Ньютона за промежуток времени  $dt$ .

В настоящей работе получены направления локальных смещений атомов в зависимости от глубины проникновения индентора в двумерном кристалле  $Ni_3Al$ , построен график изменения напряжения, возникающий при локальной деформации во всем объеме кристалла.



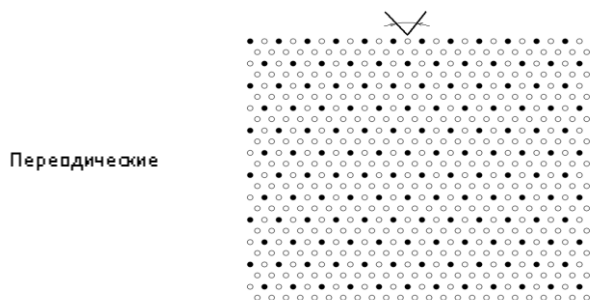


Рис. 1. Исходная конфигурация сплава  $Ni_3Al$  с указанием граничных условий. Наконечник представлен в форме угла

### Результаты и их обсуждение

Расчет проведен в интервале температур в интервале от 300 до 1800К в течение 10 пс. В кристалл производится вдавливание острого твердого наконечника с углом при вершине  $60^\circ$ . Скорость вдавливания наконечника составляет  $0,5 \cdot 10^{-9} \text{ с}^{-1}$ . Исследуются структурные превращения и рассчитываются параметры ближнего и дальнего порядка и среднее по объему напряжение в зависимости от глубины проникновения и температуры [6].

Представлена картина распределения упорядоченных доменов в форме шестиугольников, склеенные по стороне шестиугольники образуют антифазную границу (рисунок 2). При  $T=800\text{K}$  наблюдается образование протяженных антифазных границ, с сохранением порядка в образующихся доменах среднего размера. С повышением температуры до 1300К происходит размытие упорядоченной фазы в кластеры неупорядоченной фазы.

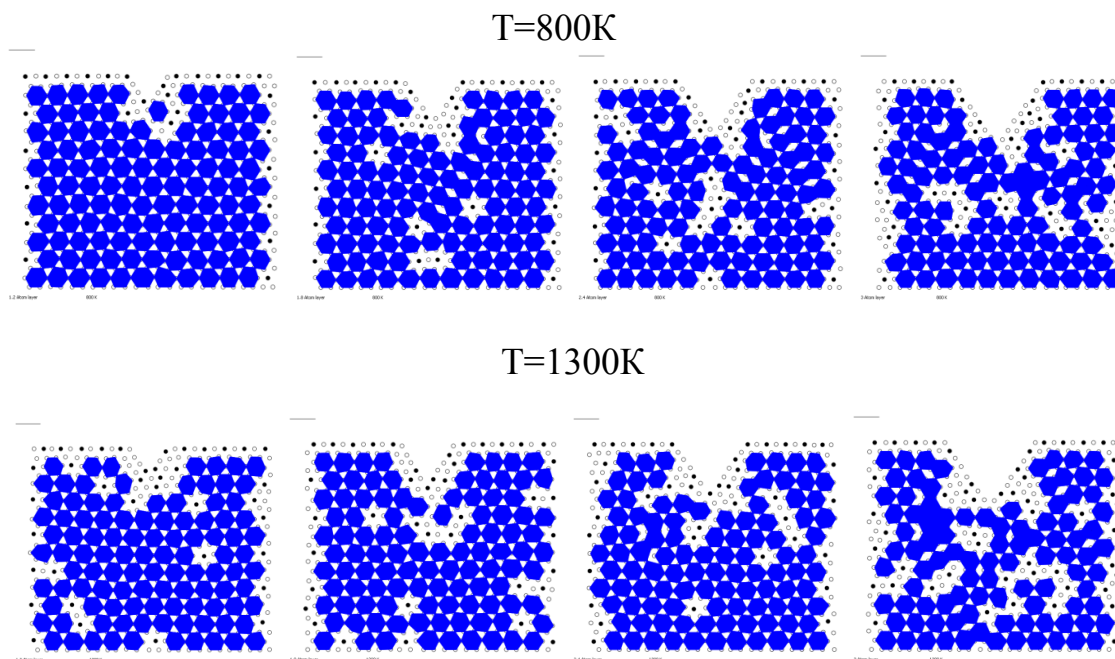


Рис. 2. Распределение упорядоченных доменов в форме шестиугольников

Исследована структура атомной упаковки атомов в зависимости от глубины вдавливания (рисунок 3). При вдавливании клина на глубину 1.2 атомных слоев наблюдается образования дисков, состоящих из межузельных атомов, частичных и краевых дислокаций. С увеличением глубины до 1.8 атомных слоев при вдавливании замечено образование леса дислокаций.

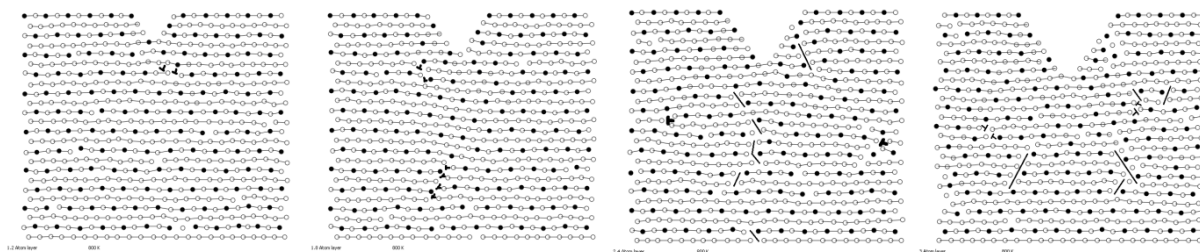


Рис. 3. Картины распределения упаковки атомных рядов в зависимости от глубины вдавливания наноиндентора, при  $T=800K$

Получен также график напряжения, среднего по кристаллу в зависимости от глубины погружения наноиндентора (рисунок 4).

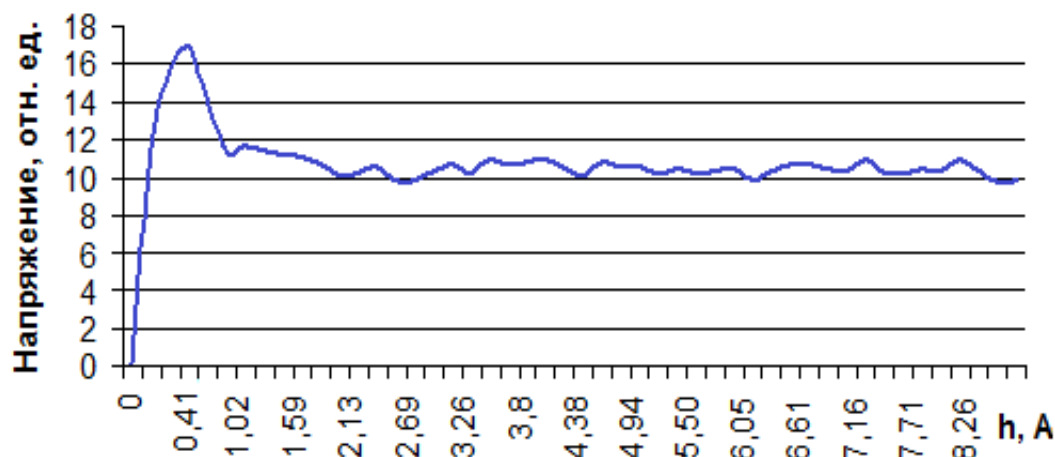


Рис. 4. Зависимость напряжения от глубины погружения наноиндентора в сплаве  $Ni_3Al$

Как видно из рисунка, напряжение резко увеличивается при начальном приложении нагрузки и изменяется на постоянную величину при дальнейшем внедрении наноиндентора.

### ВЫВОДЫ

В результате проведенного эксперимента методом наноиндентирования было получено, что при различной степени внедрения наноиндентора возникает локальная деформация, которая приводит к образованию коллективного смещения атомов вблизи индентора. Области локальных напряжений образуют отпечаток на поверхности материала, и определяют степень восстановления следа от наноиндентора [7-18].



## Список литературы

1. Головин Ю.И. Наноиндентирование и его возможности. М.: Машиностроение, 2009. 312с.
2. Hasnaoui, P. M. Derlet, H. Van Swygenhoven, *Acta Materialia*. Nanoindentation of Nanocrystalline Gold: Molecular Dynamics Simulations. 2004, in press.
3. S.V. Dmitriev, N. Yoshikawa and Y. Shibutani. «Theoretical strength of 2D hexagonal crystals: application to bubble raft indentation». *Philosophical Magazine*, Vol. 85, No. 19, 1 July 2005, 2177–2195.
4. Горлов Н.В. Моделирование на ЭВМ плоских дефектов в упорядоченных сплавах типа  $A_3B$   $A_3B(C)$ : Диссертация на соискание степени к.ф.-м.н.-Томск, 1987.-214с.
5. Мачихин В. Б., Арзамасцев А. А. Двухмерная модель структуры материала в процессе наноиндентирования [ЭР] *Электронный журнал «Исследовано в России»*.
6. Свидетельство о государственной регистрации программ на ЭВМ // С.А. Черненко, Д.В. Дудник, Е.А. Дудник. Моделирование процесса наноиндентирования в сплаве  $Ni_3Al$  (2010).
7. Черненко С.А., Дудник Д.В., Дудник Е.А. Исследование прочностных свойств сплава  $Ni_3Al$  методом наноиндентирования / Вестник Тамбовского университета. Серия: естественные и технические науки, 2010, т.15, вып.3-2, 1265-1268.
8. Дудник Е.А., Яшин А.В., Дудник Д.В., Сеница Н.В. Влияние линейных дефектов, температуры и деформации на изменения дальнего порядка в сплаве  $Ni_3Al$  //Деформация и разрушение материалов. 2010. №12. С. 12-18.
9. Дудник Д.В. Экспериментальные и теоретические методы исследования явлений сверхпроводимости и сверхтекучести //Сборник материалов XI Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Проблемы социального и научно-технического развития в современном мире», 24-25 апреля. Рубцовск, 2009. С. 38-43.
10. Дудник Д.В. Моделирование процесса наноиндентирования в сплаве  $Ni_3Al$  с различной степенью порядка //Сборник трудов международного симпозиума ОМА-14, Сочи. 2011. С. 98-102 .
11. Дудник Д.В. Численный анализ влияния температуры и локальной деформации на прочностные характеристики бинарных сплавов //II Всероссийская молодежная научная конференция «Современные проблемы математики и механики». Томск, 2011.
12. Дудник Д.В. Численное моделирование процесса наноиндентирования в сплаве  $Ni_3Al$  //Вторые московские чтения по проблемам прочности материала, посвященные 80-летию со дня рождения академика РАН Ю.А. Осипьяна. Москва, Черноголовка, 2011.
13. Дудник Е.А., Черненко С.А., Дудник Д.В. Компьютерное моделирование наноиндентирования нанокристалла на основе интерметаллида  $Ni_3Al$  //Сборник тезисов докладов второй всероссийской конференции с

международным Интернет – участием «От наноструктур, наноматериалов и нанотехнологий к Наноиндустрии», 8-10 апреля. Ижевск, 2009. С.46.

14. Черненко С.А., Дудник Д.В. Компьютерное моделирование структурных превращений при наноиндентировании бинарного сплава //Сб. материалов IX международной научно-технической конференции Уральской школы-семинара металлосведов-молдых ученых. Екатеринбург, 2009.

15. Дудник Е.А., Дудник Д.В. Имитационное моделирование сверхструктурных превращений в упорядочивающихся сплавах //Сб. тезисов докладов международной конференции «Первые московские чтения по проблемам прочности материалов». Москва, 2009. С. 67.

16. Дудник Е.А., Черненко С.А., Дудник Д.В., Яшин О.В. Моделирование процесса наноиндентирования в модельном сплаве Ni<sub>3</sub> Al //Сб. трудов XI междисциплинарного международного симпозиума “Упорядочение в минералах и сплавах” ОМА-12. Ростов-на-Дону, 2009. С. 112-115.

17. Дудник Е.А., Черненко С.А., Дудник Д.В. Исследование прочностных свойств сплава Ni<sub>3</sub> Al методом наноиндентирования //Ползуновский альманах, 2010. С. 5.

18. Дудник Е.А., Дудник Д.В., Скоробогатов М.С. Исследование влияния атомного упорядочения на особенности формирования наноструктуры сплава // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов: межвуз. сб. науч. тр. / под общей редакцией В.М. Самсонова, Н.Ю. Сдобнякова. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2010. Вып.2. С. 18-24.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ В 2D КРИСТАЛЛЕ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

Е.А. Дудник, В.О. Красноперова

*Рубцовский индустриальный институт (филиал) ФГБУ ВО «Алтайский  
государственный технический университет им. И.И.Ползунова»*

**Аннотация:** Обсуждаются физическая, математическая и вычислительная модели компьютерного эксперимента структурных процессов в кристаллах на атомном уровне, представлены описания вычислительной модели метода молекулярной динамики. Проведен анализ устойчивости и точности данного метода.

**Ключевые слова:** компьютерное моделирование, метод молекулярной динамики.

## MODELLING OF STRUCTURAL AND POWER FEATURES IN A 2D CRYSTAL BY METHOD OF MOLECULAR DYNAMICS

E.A. Dudnik, V.O. Krasnoperova

*Rubtsovsk Industrial Institute Altai State Technical named after I.I.Polzynov*

The physical, mathematical and computational models of structural transformations in crystals at the atomic level, are descriptions of computational models of molecular dynamics and Monte Carlo. The analysis of stability and accuracy of the methods was made.

**Keywords:** computer simulation, molecular dynamics method, method of molecular dynamics.

## Введение

Методы компьютерного моделирования являются на сегодняшний день популярным, интенсивно развивающимся инструментом, используемым во многих областях науки. Их появление было обусловлено стремлением преодолеть ограничения, свойственные аналитическим моделям. Речь идет о том, что, как правило, при решении задачи прибегают к различным приближениям, усреднениям, линеаризации. Компьютерное моделирование позволяет изучать сложные системы.

Компьютерное моделирование применяется для исследования процессов на макро-, мезо-, и микро-уровнях, однако особенно эффективно при рассмотрении процессов на атомном уровне [5]. Изучение явлений на атомном уровне с помощью прямых натуральных экспериментов связано с большими временными и финансовыми затратами.

В некоторых случаях компьютерный эксперимент позволяет заполнить разрыв между теорией и возможностями реального эксперимента. Например, при быстротечных процессах, таких как взрывы, ионная имплантация, самораспространяющийся высокотемпературный синтез и т.д. Либо, наоборот, при медленно протекающих процессах, например, таких как диффузия в твердых телах [2].

При моделировании процессов, происходящих в кристаллах, довольно проблематично использовать методы из первых принципов, поскольку учет сложного распределения электронной плотности вблизи дефектов и в случае теплового движения атомов – достаточно трудная задача квантовой механики. На сегодняшний день строго прямых квантомеханических методов расчета эволюции дефектов кристаллов не существует.

Тем не менее, существуют приближенные квантомеханические методы, которые привлекаются не только для описания идеальных кристаллов, но и кристаллов с дефектами. Идеальный кристалл – бесконечное повторение элементарных ячеек без каких бы то ни было отклонений от периодичности в заселении узлов. Любое же отклонение от идеальности – будь то небольшое смещение атома из узла решетки, отсутствие атома в узле или даже ограничивающая реальный кристалл внешняя поверхность – является его дефектом.

Дефекты кристалла влияют практически на все основные физические структурно-чувствительные свойства, например диффузию. Основные характеристики дефектов в кристаллах – их геометрия и свойства. Само же присутствие дефектов, их тип, взаимное расположение, распределение в объеме и на поверхности, концентрация и т.п. в существующей степени определяют важнейшие физические и механические свойства кристаллов, и сплавов в частности. Более того, получить сплав с идеальной кристаллической структурой – задача чрезвычайно трудная, и тем труднее, чем больше объем металлического изделия или образца. В реальных случаях кристаллическая структура сплавов далеко не идеальна. И в этом смысле привычное понятие о дефектах как об отклонении от нормы весьма условно, хотя вполне правомерно

и логично. Но даже приближенные расчеты из первых принципов требуют очень много машинного времени.

Изучение дефектов кристаллического строения металлов (или атомных дефектов) составляет сегодня одно из важнейших направлений физики твердого тела и имеет прямое отношение ко многим другим областям науки и техники, таким, например, как металловедение, эмиссионная электроника и др.

Основной задачей данной работы является визуализация процесса разупорядочивания термоактивации атомов кристаллита сплава  $Pt_3Al$  [7] при введении дефектов: антифазных границ и точечных вакансионных дефектов.

### **Методика проведения эксперимента**

Основной задачей данной работы является визуализация процесса разупорядочивания атомов кристаллита при введении дефектов: антифазных границ (АФГ) и точечных дефектов (вакансий) [1], исследование методом молекулярной динамики структурной перестройки атомов в кристалле  $Pt_3Al$  с гранецентрированной кубической решеткой.

При термическом возбуждении тонкой пленки металлической структуры происходит смещение атомов сплава из исходного состояния в ту или иную сторону. Особый интерес вызывает изучение таких дефектов, как антифазные границы (АФГ) и точечные дефекты (вакансии). При возникновении дефектов в сплаве (АФГ + вакансии) происходит перемещение вакансий в сторону АФГ.

Методом молекулярной динамики исследуется структурная перестройка атомов тонкой пленки в кристалле  $Pt_3Al$  с гранецентрированной кубической решеткой, соответствующей сверхструктуре  $L1_2$ .

В процессе моделирования строятся графики потенциальной, кинетической энергии, температуры кристаллита.

В программе предусмотрены установки следующих параметров: тип антифазных границ (сдвиговая, термическая, без АФГ), начальная температура кристаллита (0 К), процент вакансий (0% – 20%), продолжительность экспериментов. Предусмотрен также режим охлаждения сплава, получение его кристаллической структуры.

Структурная перестройка атомов моделируется методом молекулярной динамики. Этот метод предназначен для решения задачи о движении отдельных атомов, описываемых как материальные точки, обладающие массой, в поле сил взаимодействия атомов друг с другом, инерциальных сил и внешних сил, прилагаемых к твердому телу, частью которого являются исследуемые движущиеся атомы.

В расчетах использованы парные центральные потенциалы взаимодействия, т.е. взаимодействие атомов в предположении зависит только от межатомного расстояния, и потенциальная энергия системы представляется в виде:

$$\Pi = \frac{1}{2} \sum_{\substack{i \neq j \\ i, j=1 \\ i, j=1}}^n \varphi(|r_i(t) - r_j(t)|), \quad (1)$$

где  $r_{i,j}(t)$  – радиус-вектор  $i$ -го и  $j$ -го атомов в определенный момент времени;

$\varphi(r)$  – потенциальная функция взаимодействия пары отдельных атомов, задаваемая с помощью потенциалов Морзе;

$n$  – максимальный номер атома модельного блока тонкой пленки.

Одним из наиболее известных потенциалов является потенциал Морзе, поскольку его возможности хорошо изучены и с его помощью достаточно успешно удается описать разнообразные свойства металлов и сплавов.

Сила взаимодействия между двумя атомами определяется по следующей формуле:

$$F_{\mu}(r) = -\frac{d\Pi_{\mu}(r)}{dr}, \quad (2)$$

где  $\Pi_{\mu}$  – взаимная потенциальная энергия двух атомов;

$r$  – расстояние между двумя атомами.

Потенциальная функция взаимодействия задается с помощью потенциалов Морзе.

Размер кристалла выбирается  $32 \times 32$ . В то же время такое количество атомов достаточно для имитации всего объема кристалла.

На границе расчетного блока накладываются “гибкие” периодические граничные условия на результирующую силу взаимодействия атомов:

$$\begin{aligned} F(x, y) &= F(x + L_1, y); \\ F(x, y) &= F(x, y + L_2), \end{aligned} \quad (3)$$

где  $L_1, L_2$  – длина и ширина расчетного блока,  $x \in [0, L_1], y \in [0, L_2]$ .

Математическим аппаратом для описания движения атомов в тонкой пленке служит система обыкновенных дифференциальных уравнений динамики Ньютона, для которой решается задача Коши.

В начальный момент времени  $t=0$  позиции атомов равны  $x_{ij}(0), y_{ij}(0)$ , зависящие только от их порядковых номеров. Скорости атомов определяются по формуле:

$$\begin{aligned} F(x, y) &= F(x + L_1, y); \\ F(x, y) &= F(x, y + L_2), \end{aligned} \quad (4)$$

где  $i, j$  – номер узла решетки;

$k_B$  – постоянная Больцмана;

$m$  – масса атома;

$T$  – начальная температура кристалла.

Система уравнений движения имеет следующий вид:

$$\frac{dx_{ij}}{dt} = v_{ijx}, \quad \frac{dy_{ij}}{dt} = v_{ijy},$$

$$\frac{dv_{ijx}}{dt} = \frac{F_{ijx}(t)}{m}, \quad \frac{dv_{ijy}}{dt} = \frac{F_{ijy}(t)}{m} \quad (5)$$

где  $F_{ijx}$  и  $F_{ijy}$  проекции силы  $F_{ij}$ , определяющейся по формуле (2).

Для получения частных решений сформулированной задачи используется модифицированный метод Эйлера:

$$V_n = V_{n-1} + \Delta t \cdot F(rn - 1) \cdot m - 1$$

$$V_n = \frac{(V_n + V_{n-1})}{2} \quad (6)$$

$$V_n^* = V_n - 1 + \Delta t \cdot F(rn - 1) \cdot m - 1$$

$$X_n = x_{n-1} + \Delta t \cdot V_n,$$

где  $\Delta t$  – временной шаг;

$V_n$  – скорость атома;

$X_n$  – положение атома.

## Результаты

Сравнительный анализ проведенных компьютерных экспериментов по моделированию структурных перестроек атомов в кристаллах различными методами показал, что метод молекулярной динамики хорошо описывает локальную перестройку атомов, с учетом смещений их из узлов решетки, условия возникновения и жизни этих локальных механизмов.

В итоге получены следующие результаты:

Методом молекулярной динамики были исследованы 3 конфигурации – кристалл содержит:

— АФГ;

— вакансии;

— АФГ+вакансии.

Проводилась релаксация данных конфигураций в течение 5 пс.

Визуализирован процесс разупорядочивания атомов кристаллита при введении дефектов: антифазных границ (АФГ) и точечных дефектов (вакансий) (рис. 1-3).

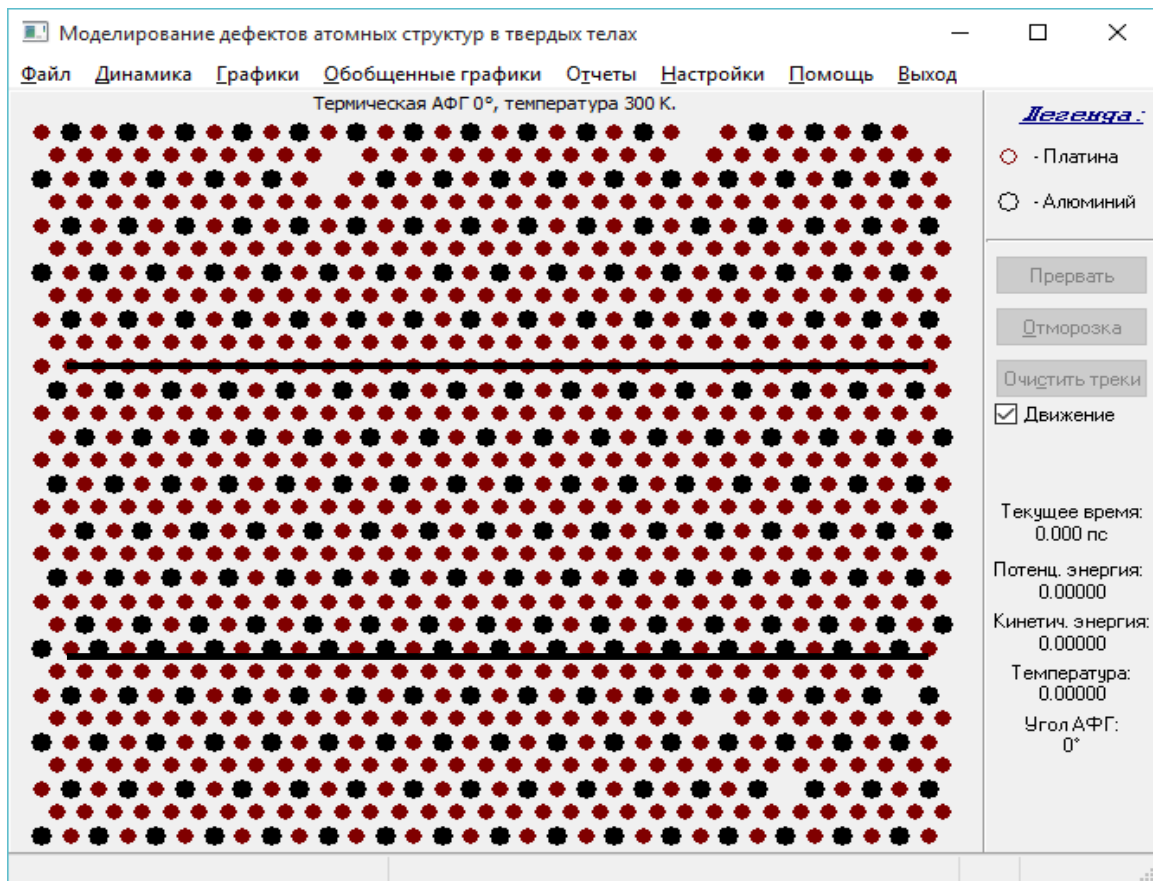


Рис. 1. Начальная конфигурация кристалла с введением АФГ и точечных дефектов

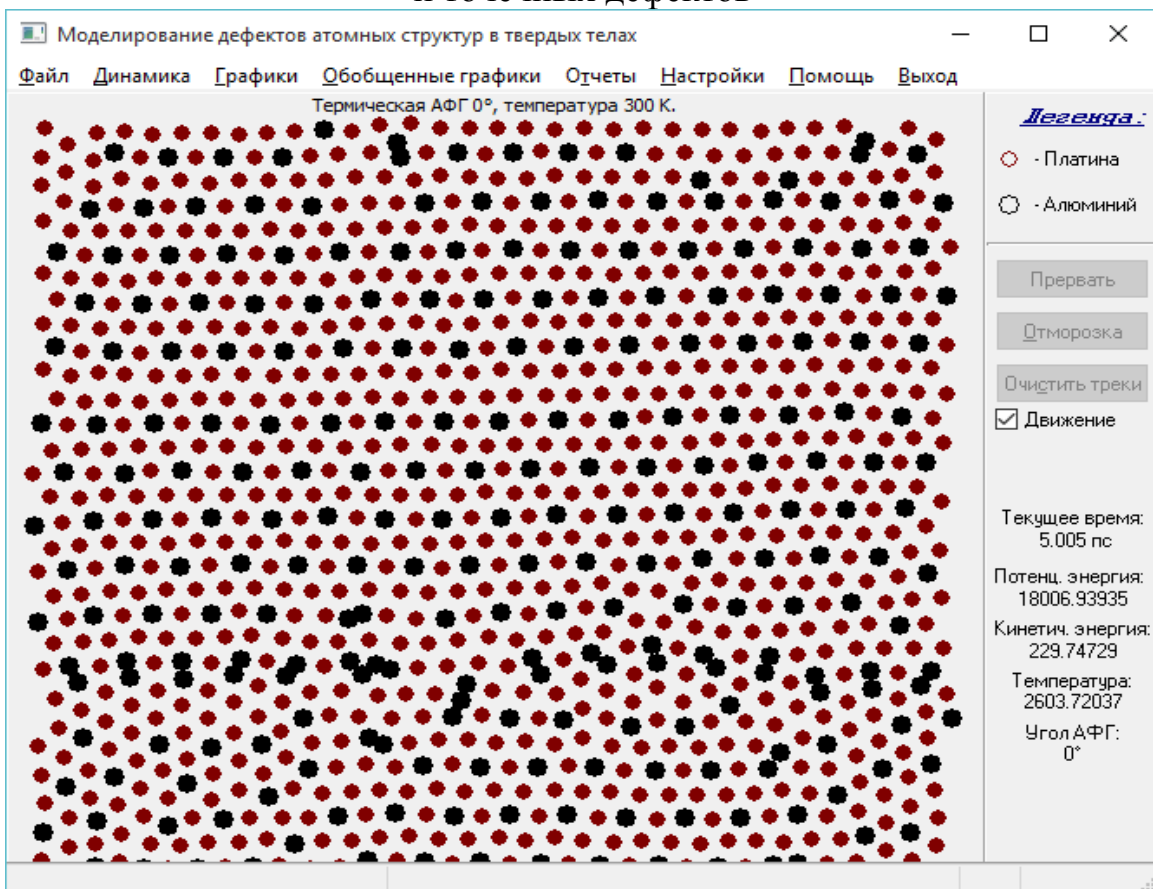


Рис. 2. Конфигурация кристалла (рис.1) через 5 пс

На рисунке 3 представлен график изменения потенциальной энергии в кристалле с введением АФГ и точечных дефектов в течение 5пс:

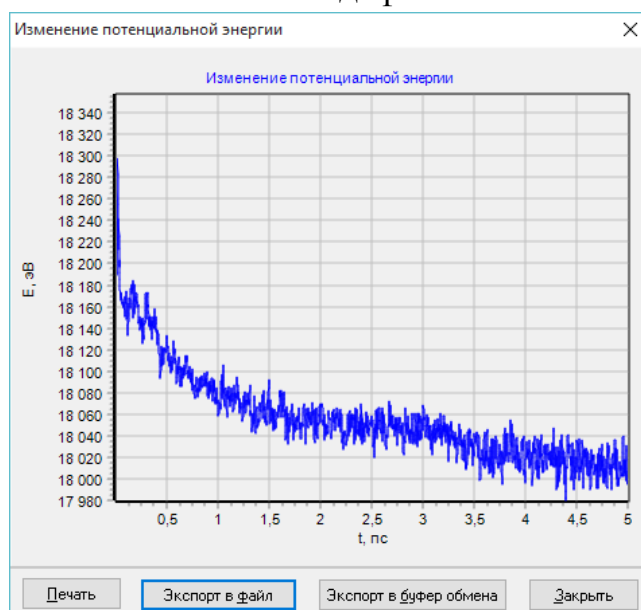


Рис. 3. Изменение графика потенциальной энергии

Сравнительный анализ расчета энергий трех конфигураций показал, что минимальная энергия получена в первой конфигурации.

После релаксации:

$$E_B + E_{\text{АФГ}} < E_{\text{В+АФГ}}.$$

До релаксации:

$$E_B + E_{\text{АФГ}} > E_{\text{В+АФГ}}.$$

Данная модель апробирована, определен оптимальный шаг и периодичность запуска процесса диссипации энергии для поддержания устойчивости системы.

В заключение можно сделать вывод, что для эффективного использования компьютерного моделирования физических процессов от исследователя требуются глубокие теоретические знания и анализ экспериментальных данных. Компьютерный эксперимент – инструмент исследования, и усовершенствование различных типов модели исследования – позволит повысить качество полученных результатов.

#### Список литературы

1. Суворов А.Л. Дефекты в металлах. - М.: Наука, 1984. 176 с.
2. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 1978. 792 с.
3. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела. М.: Мир, 1979. 400 с.
4. Горлов Н.В. Моделирование на ЭВМ плоских дефектов в упорядоченных сплавах типа  $A_3B$ . Диссертация на соискание уч. степени к.ф.-м.наук. Томск. ТГУ, 1987.
5. Дудник Е.А., Еремеев С.В. Термоактивированная трансформация сверхструктуры тонкой пленки  $A_3B$ , содержащей антифазные границы // Тезисы научной конференции. Барнаул, 2000.



6. Ракитин В.И., Первушин В.Е. Практическое руководство по методам вычислений. М.: Высшая школа, 1998. 383 с.

7. Медведев Н.Н. Эффекты, связанные с локализацией энергии и солитонами в модельных ГЦК кристаллических решетках: Диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. Барнаул, 2014.

8. ГОСТ 19.502. ЕСПД. Описание применения. Требования к содержанию и оформлению.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЕРХСТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ В БИНАРНОМ СПЛАВЕ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО**

Е.А. Дудник, И.В. Штехман, А.М. Абросимова

*Рубцовский индустриальный институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И.Ползунова»*

**Аннотация:** Методом Монте-Карло исследуются особенности сверхструктурных превращений. В частности, рассматриваются условия процесса локализации вакансий на антифазную границу в сплаве  $A_3B$  со сверхструктурой  $L_{12}$ .

**Ключевые слова:** компьютерное моделирование, метод Монте-Карло.

## **MODELING OF SUPERSTRUCTURAL FEATURES IN A BINARY ALLOY BY MONTE-CARLO METHOD**

*E.A. Dudnik, I.V. Shtekhman, A.M. Abrosimova*

*Rubtsovsk Industrial Institute Altai State Technical named after I.I. Polzunov*

The Monte-Carlo method explores the features of the superstructural transformations. In particular are considered conditions of process of localization of vacancies on antiphase border in the alloy  $A_3B$  with superstructure  $L_{12}$ .

**Keywords:** computer modeling, Monte Carlo method.

### **Введение**

Очевидно, что результативность методов компьютерного моделирования и совершенствование математических моделей зависит от достигнутого уровня понимания физических явлений на микроскопическом уровне. Особенности структурных превращений в интерметаллидах обусловлены, прежде всего, упорядоченным расположением атомов и вакансионным механизмом диффузии, приводящим к разупорядочению и повышению свободной энергии. Вакансионный механизм диффузии происходит таким образом, что движение вакансии подчиняется целой системе обменов, которая после минимального числа перескоков должна привести к сохранению упорядоченного состояния. Образование наноструктур обусловлено стремлением системы к минимуму энергии, сохранению равновесия. Низкоразмерные структуры в упорядоченных сплавах и интерметаллидах являются генераторами структурно-энергетических фазовых превращений. Исследование механизмов самопроизвольных процессов в материалах, таких как самообразование, самообъединение и самоорганизации низкоразмерных структур, представляется важным для изучения эволюции дефектных структур и фазовых превращений.

Основной задачей исследований в данной работе является проведение анализа структурно-энергетических характеристик низкоразмерных структур в кристаллической решетке с использованием двумерной и трехмерной статистической моделей исследования, а также выявление механизмов самопроизвольных процессов в материалах.

### Методика проведение эксперимента

Серии компьютерных экспериментов проводились на модельном двумерном сплаве  $Ni_3Al$ . Первоначально атомы находились в узлах плотноупакованной атомной плоскости (111) кристаллической решетки сверхструктуры  $L1_2$ . Взаимодействие между атомами задавалось с помощью потенциала Морза.

Исследование термоактивированной структурной перестройки тонкой пленки  $A_3B$  производится с помощью метода статических испытаний, метода Монте-Карло. В качестве элементарного события рассматривается перескок атомов на места вакансий, а вероятность перескока зависит только от трех факторов: температурного, энергетического и геометрического. Вероятность того, что один из атомов, расположенных вблизи вакантного узла, займет место вакансии, рассчитывается из энергетической выгоды конфигурационной энергии атомов в исходном состоянии и в конечном состоянии, когда атом занимает место вакансии. Рассчитываются значения  $E_n$  - потенциальных энергий для каждого атома, расположенных на первых двух координационных сферах в начальном состоянии, и значения  $E_k$  - потенциальных энергий атомов, если они перескочили в вакансионный узел в конечном состоянии. Из всех разностей энергий исходного и конечного состояния  $\Delta E = E_n - E_k$  выбирается максимальное  $E_{max}$ . И тогда вероятность перескока  $i,j$ -атома на место вакансии определяется:

$$P_{ij} = Q_{ij} \cdot e^{-\frac{(E_{max} - \Delta E_{ij})}{kT}} / A,$$

где  $A$  – константа, определяется из условия нормировки:

$$Q = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^6 P_{ij},$$

где  $Q$  – вероятность того, что один из атомов, расположенных вблизи вакантного узла, перескачет на место вакансии. Полагаем, что  $Q=1$ ,  $i,j$ - индексы атомов, расположенных на первой и второй координационной сфере.

Предполагаем, что смещения и колебания атомов относительно узлов кристаллической решетки отсутствуют и влияние внутренних локальных напряжений несущественно. Температура в кристалле задается постоянная и одинаковая во всем образце. Состояние сплава может изменяться только в дискретные моменты времени, в качестве элементарного события рассматривается перескок атома на место вакансии. Такой переход требует преодоления энергетического барьера, по порядку величины равного межатомной энергии связи в конденсированной фазе. Переход происходит в результате тепловой флуктуации, с чем связана существенная температурная

зависимость скорости превращения. Движущей силой атомных перескоков является разность энергии в исходном и конечном состоянии. Вероятность перехода атома в вакантный узел тем больше, чем к большему выигрышу энергии это приводит.

### Результаты и их обсуждение

Тонкая пленка представляет собой срез кристалла в направлении (111) в сплаве стехиометрического состава  $A_3B$  сверхструктуры  $L1_2$ . Атомы сортов А и В расположены в узлах тетрагональной жесткой решетки. Чтобы учесть, что движение вакансий ограничено размером расчетного блока (108x108), накладываются периодические граничные условия, позволяющие имитировать бесконечную протяженность тонкой пленки (рис. 1).

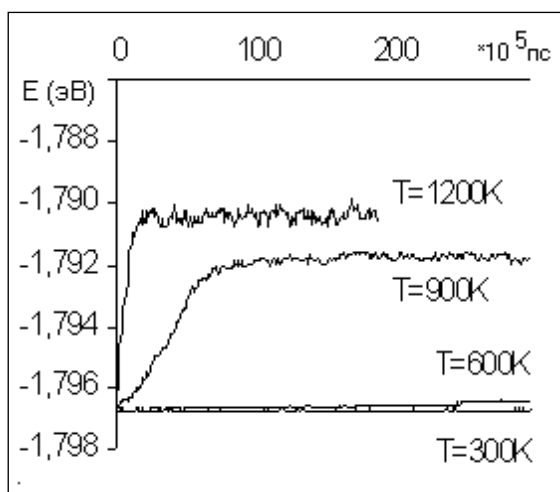


Рис.1. Зависимость конфигурационной энергии при различных температурах в относительных единицах времени счета

Плотность дефекта определяется как число дефектов в расчетном блоке, следовательно, это отношение числа атомов, образующих дефект, к общему числу атомов в расчетном блоке. Энергия образования дефектов равна разности энергий, полученной в результате эксперимента и энергии идеального кристалла с тем же числом атомов (табл.1).

Таблица1

Темпеатура, К	Энергия образования дефектов $\Delta E$ , эВ	Плотность дефектов	
		(без учета АФГ)	(с учетом АФГ)
300	1,213	1,72E-04	2,07E-02
600	4,211	2,09E-02	6,28E-02
900	58,528	2,52E-01	7,13E-01
1200	71,746	3,29E-01	8,00E-01

В процессе разупорядочения с ростом температуры увеличивается число дефектов, таким образом, энергия образования дефектов увеличивается.

Получен график температурной зависимости и плотности точечных дефектов замещения в разрезе атомных плоскостей (рис. 2).

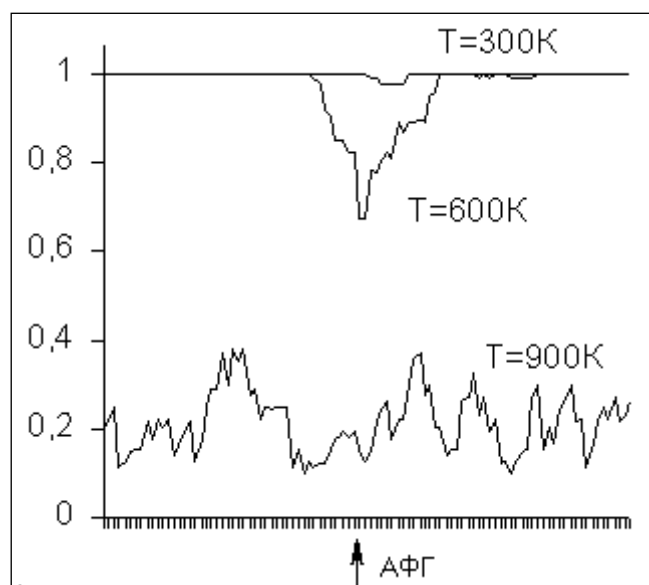


Рис.2. График зависимости температуры и плотности дефекта к общему числу атомов в каждом атомном ряду

Анализ температурной зависимости отношения числа атомов, не образующих дефект, к общему числу атомов в атомном ряду расчетного блока показал сегрегацию точечных дефектов замещения на АФГ. При относительно низких температурах  $T=300\text{K}$  доля атомов, образующих точечные дефекты замещения, мала, однако локализуется на АФГ. При  $T=600\text{K}$  ярко выраженная особенность сегрегации дефектов вблизи АФГ. При более высоких температурах доля точечных дефектов увеличивается во всем объеме кристалла.

### Выводы

Понимание единства физической природы механизмов процессов расслоения, упорядочения и образования низкоразмерных структур связано с возможностью исследования этих явлений на микроуровне.

Особая роль этих явлений связана с понятием фазового превращения, которые наиболее распространены в процессах обработки материалов и оптимизации их свойств.

### Список литературы

1. Старенченко С.В., Козлов Э.В. Термические и периодические антифазные границы и их роль в фазовом переходе дальний порядок – ближний порядок // Изв. РАН. Сер. физич. 2005. Т. 69. №9. С. 1297-1301.
2. Старенченко С.В., Козлов Э.В. Роль периодических антифазных границ в фазовом переходе порядок – беспорядок длиннопериодических сверхструктур // Изв. РАН. Сер. физич. 2006. Т. 70. №7. С. 1021-1024.
3. Старостенков М.Д., Козлов Э.В., Андрухова О.В., Ломских Н.В., Гурова Н.М. Моделирование фазовых переходов беспорядок-порядок // Вестник

Алтайского государственного технического университета им.И.И.Ползунова, приложение к журналу «Ползуновский альманах». 1999. №1. С. 45-66.

4. Хеерман Д.В. Методы компьютерного эксперимента в теоретической физике: Пер. с англ./ Под ред. С.А. Ахманова.- М.: Наука, 1990. 176 с.

5. Старостенков М.Д., Горлов Н.В. Энергии упорядочения и ориентационная анизотропия АФГ в сплавах со сверхструктурой  $L1_2$  // Теплофизика и аэромеханика. 1987. Т. 15. С. 91.

6. Царегородцев А., Горлов Н., Демьянов Б.Ф., Старостенков М.Д. Атомная структура АФГ и ее влияние на состояние решетки вблизи дислокации в упорядоченных сплавах со сверхструктурой  $L1_2$  // Физика металлов и металловедение. 1984. Т. 58. №2. С. 336.

## ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА МЕТОДИКИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ КАТАЛИТИЧЕСКОГО РИФОРМИНГА

А.М. Джамбеков

*Астраханский государственный технический университет*

**Аннотация.** Работа посвящена решению задачи эффективного управления процессом каталитического риформинга. Объектом управления является процесс в стабилизационной колонне блока стабилизации катализата установки КР. Проведенный анализ процесса как объекта управления позволил установить зависимость параметров режима процесса от такого возмущающего воздействия, как перепад температуры в стабилизационной колонне. Получена передаточная функция объекта управления с возмущениями экспоненциального типа. Для нескольких режимов процесса выполнен расчет ПИД-регуляторов и нечетких регуляторов температуры низа стабилизационной колонны. Предложен подход к выбору метода регулирования температуры низа стабилизационной колонны на основе сравнения показателей качества переходного процесса.

**Ключевые слова:** каталитический риформинг, стабилизационная колонна, лингвистическая переменная, нечеткий регулятор, производное правило.

## ESPECIALLY THE CHOICE OF MANAGEMENT TECHNIQUES CATALYTIC REFORMING PROCESS

A.M. Dzhambekov

*Astrakhan State Technical University*

**Abstract.** The work is dedicated to the task of effectively managing a catalytic reforming. The object of the control is in the process of stabilization of the stabilizer unit catalysate catalytic reforming. The analysis of the process as a control object has allowed to establish the parameters of process conditions of such disturbance as temperature drop in the stabilization column. We obtain the transfer function of the control object with perturbations of exponential type. For several modes of payment made PID temperature controllers and fuzzy bottom stabilizer column. An approach to the choice of the method of controlling the temperature of the bottom of the stabilizer column by comparing the quality indicators of the transition process.

**Keywords:** catalytic reforming, stabilizer, linguistic variable, fuzzy control, production rule.

Большинство современных промышленных объектов (установок) подвержено воздействию внешних факторов, которые в разной степени влияют на ход проведения процесса на установке. Такие объекты функционируют в

условиях неопределенности как самих объектов, так и действующих на них неконтролируемых возмущающих воздействий. Примером может служить установка каталитического риформинга (КР). Проблемной областью при построении моделей КР является учет качественной информации о процессе (качество сырья, активность катализатора, качество топливного газа, состояние трубчатых печей и пр.) [1]. Использование методов нечеткой логики позволяет формализовать качественную информацию и строить модели управления [2].

Выбор методики управления КР связан с анализом поведения системы автоматического управления (САУ) при воздействии возмущений. При поступлении на процесс КР возмущений различной величины и характера возникает необходимость в создании подхода к управлению процессом на основе анализа эффективности САУ в различных режимах.

Целью настоящего исследования является повышение эффективности процесса каталитического риформинга на основе вновь разработанного подхода к управлению процессом. Рассматриваются вопросы управления процессом в блоке стабилизации установки КР (рис.1).

*Краткое описание технологической схемы процесса.* Нестабильный катализат поступает в блок стабилизации катализата из сепаратора предыдущего блока установки КР, направляется в СК К-2 через теплообменник Т-6, обогревается стабильным катализатом из СК К-2 [3]. В поток нестабильного катализата перед теплообменником Т-6 сбрасывается газовый конденсат из сепаратора предыдущего блока. В СК К-2 происходит стабилизация катализата. С верха СК К-2 выводятся газ стабилизации, нестабильная головка стабилизации, которые после охлаждения и частичной конденсации в аппаратах воздушного охлаждения ХК-3/1, ХК-3/2 и водяном ХК-4 до температуры не выше плюс 45 °С сепарируются в емкости орошения Е-2. Газ стабилизации из емкости орошения Е-2 сбрасывается в топливную сеть комплекса. Жидкая фаза из емкости Е-2 возвращается на верхнюю тарелку СК К-2 насосами Н-10, Н-11 (1 рабочий + 1 резервный) в качестве орошения.

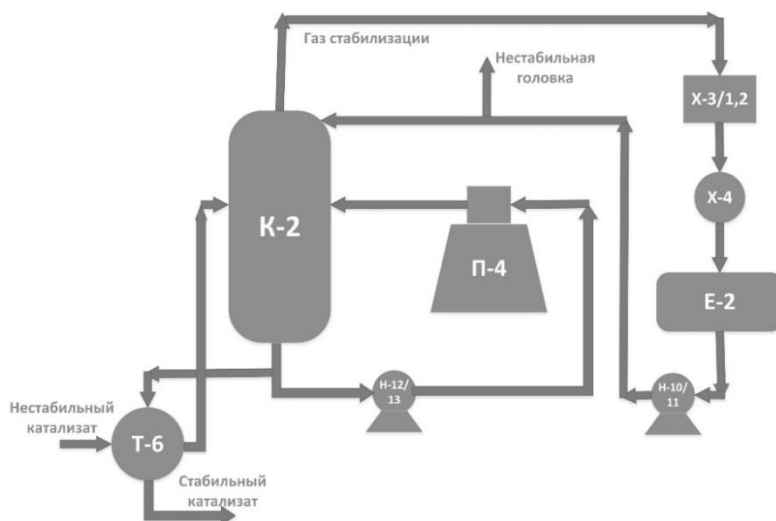


Рис. 1. Упрощенная технологическая схема процесса

Балансовое количество головки стабилизации выводится насосами Н-10, Н-11 (1 рабочий + 1 резервный) из Е-2, контролируется расходомером и передается на комбинированную установку комплекса на блок очистки и получения сжиженных газов. Температура низа СК поддерживается за счет циркуляции стабильного катализата через трубчатую печь П-4 насосами Н-12, Н-13 (1 рабочий + 1 резервный).

*Описание подхода к выбору методики управления процессом.* Для решения поставленной задачи исследования необходимо построение системы автоматического регулирования (САР) температуры низа СК установки КР. Возмущающим воздействием в САР является перепад температуры в СК  $\Delta T$ .

Объектом управления (ОУ) является процесс в СК КР.

Параметру  $\Delta T$  будет соответствовать экспоненциальная зависимость следующего вида [4]:

$$\Delta T(t) = k \cdot e^{-t/T}, \quad (1)$$

где  $k$  – начальное значение перепада температуры низа СК,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $T$  – постоянная времени, мин.

Используя приемы операционного исчисления Лапласа, получили передаточную функцию (ПФ) для ОУ с возмущениями  $\Delta T$  типа (1):

$$P(s) = \frac{1.5 \cdot (T \cdot s + 1) \cdot e^{-3s} + k \cdot (13.53 - T - 81.06/T)}{(T \cdot s + 1) \cdot (81.06 \cdot s^2 + 13.53 \cdot s + 1)}. \quad (2)$$

Для выражения (1) зададим произвольные значения  $k$  и  $T$  (табл.1) и получим характеристики различных возмущений процесса (рис.2).

Таблица 1

Значения параметров совокупности зависимостей

№	1	2	3	4	5
$k$	1.6	1.8	2	2.2	2.4
$T$	9	9.5	10	10.5	11

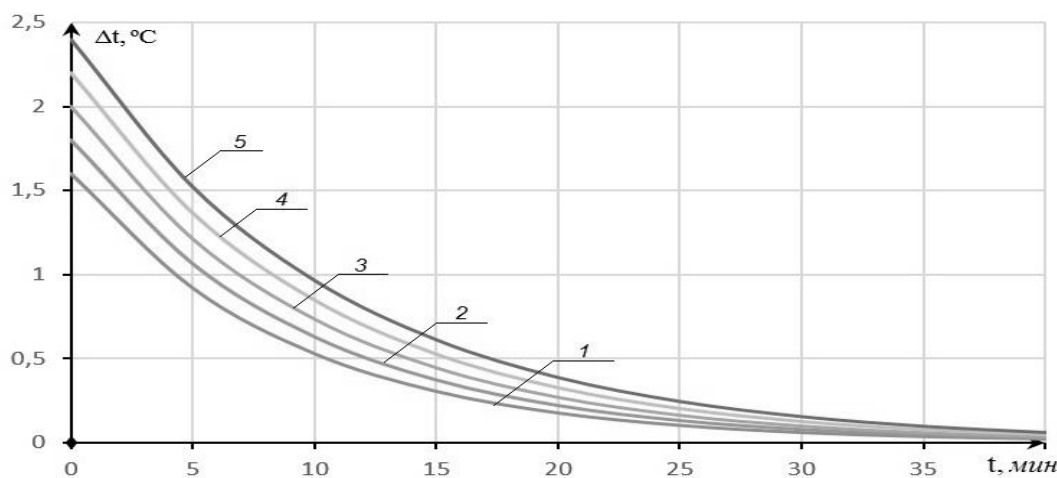


Рис. 2. Графики зависимостей для возмущений с различными параметрами

Выполним разработку САР температуры низа СК с ПИД-регулятором и нечетким регулятором (НР) [5].

При изменении параметров  $k$  и  $T$  (см. табл. 1) в выражении (2) будет изменяться та часть ПФ ОУ, которая содержит составляющую по возмущению  $\Delta T$  при неизменной составляющей по каналу регулирования. Поэтому анализ переходных процессов выполнен для ветви возмущения.

Для значений параметров (табл. 1) по формуле (2) получаем ПФ ОУ при различных режимах процесса (табл. 2).

Таблица 2

Передаточные функции при различных режимах

$P(s)$
$P_1(s) = \frac{9.152}{(10 \cdot s + 1) \cdot (81.06 \cdot s^2 + 13.53 \cdot s + 1)}$
$P_1(s) = \frac{7.16}{(9 \cdot s + 1) \cdot (81.06 \cdot s^2 + 13.53 \cdot s + 1)}$
$P_1(s) = \frac{8.1}{(9.5 \cdot s + 1) \cdot (81.06 \cdot s^2 + 13.53 \cdot s + 1)}$
$P_1(s) = \frac{10.32}{(10.5 \cdot s + 1) \cdot (81.06 \cdot s^2 + 13.53 \cdot s + 1)}$
$P_1(s) = \frac{11.61}{(11 \cdot s + 1) \cdot (81.06 \cdot s^2 + 13.53 \cdot s + 1)}$

Для полученных ПФ ОУ рассчитаны настройки ПИД-регулятора методом Циглера-Никольса [6]. Результаты расчета настроек ПИД-регулятора при различных режимах приведены в табл. 3.

Таблица 3

Настройки ПИД-регулятора при различных режимах

$H(s)$
$H_1(s) = 0.345 + 0.017 \cdot \frac{1}{s} + 1.725 \cdot s$
$H_2(s) = 0.44 + 0.025 \cdot \frac{1}{s} + 1.92 \cdot s$
$H_3(s) = 0.39 + 0.02 \cdot \frac{1}{s} + 1.83 \cdot s$
$H_4(s) = 0.31 + 0.01 \cdot \frac{1}{s} + 1.55 \cdot s$
$H_5(s) = 0.28 + 0.015 \cdot \frac{1}{s} + 1.33 \cdot s$



Структурные схемы САР температуры низа СК с ПИД-регуляторами при различных режимах представлены на рис. 3.

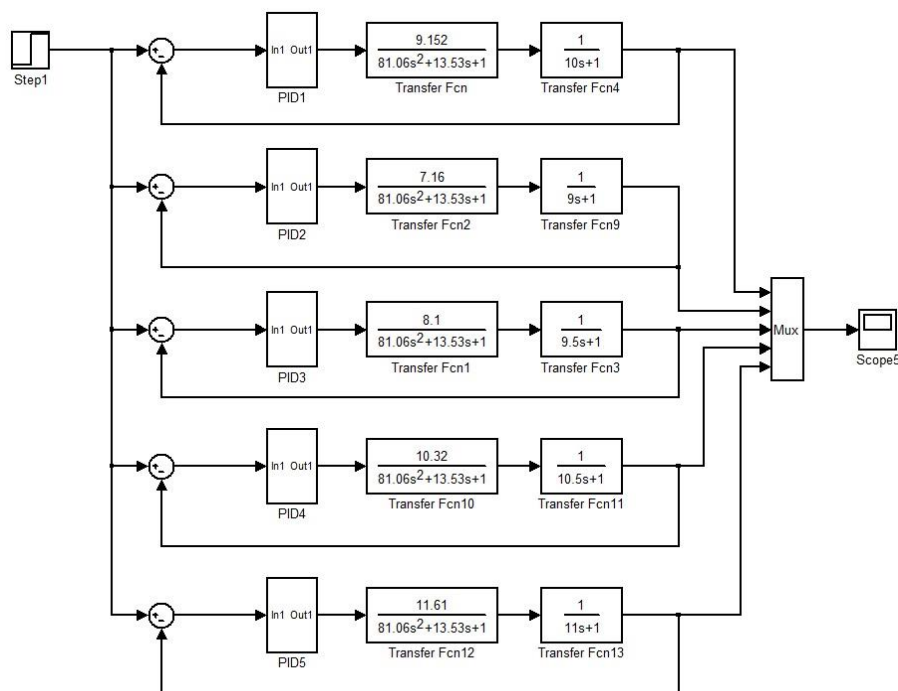


Рис. 3. Структурные схемы с ПИД-регуляторами при различных режимах в среде *MATLAB*

На основании приведенной схемы получим переходные процессы в САР. Сравнительная оценка основных показателей качества процессов в САР с ПИД-регуляторами (табл. 3) приведена в табл. 4.

Таблица 4

Оценка показателей качества переходных процессов

Перерегулирование, °C	Интегральный критерий качества, [-]
7,2	5162
8,75	5243
7,5	5186
4,5	4866
8,75	5228

Используя методику, описанную в [7], выполнили расчет НР для ПФ, приведенных в табл. 2. Для задания диапазонов лингвистических переменных (ЛП) НР были использованы результаты расчета настроек ПИД-регулятора, представленные в табл.3. Выбран тип системы нечеткого логического вывода Мамдани, для описания ЛП выбраны семь треугольных термов (*NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB*). В основу формирования базы правил НР положен способ, предложенный в [8].

Структурные схемы САР температуры низа СК с НР при различных режимах представлены на рис. 4.

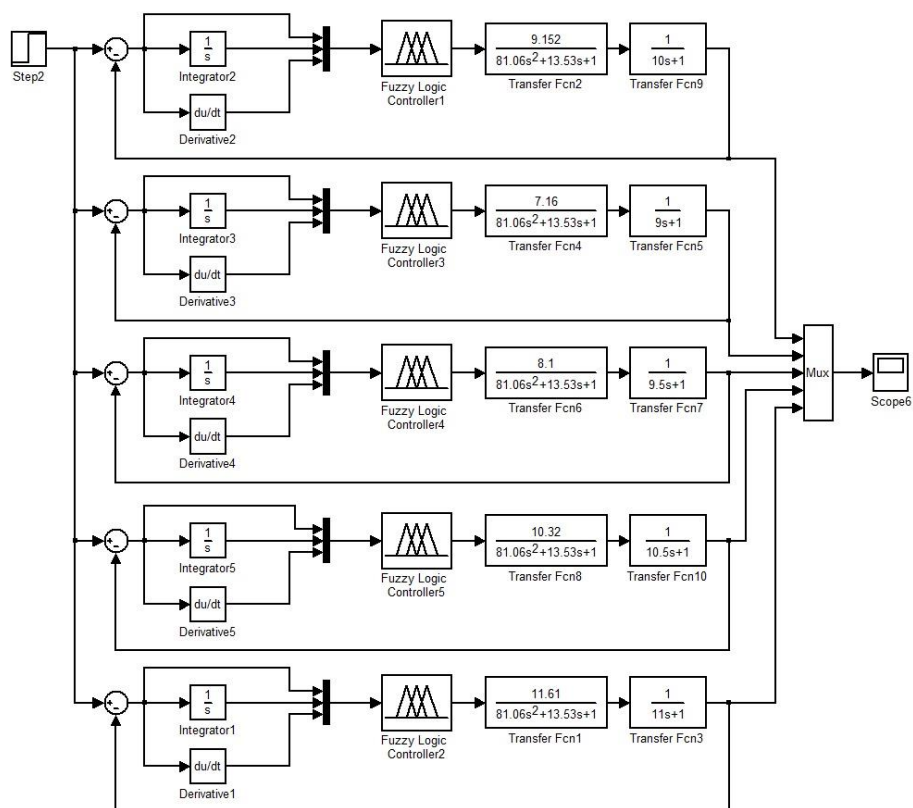


Рис. 4. Структурные схемы с НР при различных режимах в среде *MATLAB*

На основании приведенной схемы получим переходные процессы в САР. Сравнительная оценка основных показателей качества процессов в САР с НР приведена в табл.5.

Таблица 5

Оценка показателей качества переходных процессов

Время достижения максимума, сек	Интегральный критерий качества, [-]
63,2	7795
60,5	5187
61,7	6169
66,9	9806
62,75	5229

Из табл. 4 и 5 видно, что в САР температуры низа СК при определенном режиме процесса различен эффект от применения ПИД-регулятора или НР. Поэтому необходим учет эффективности конкретного метода регулирования при определенном режиме процесса.

Предлагается алгоритм выбора метода регулирования температуры низа СК при определенном режиме процесса (рис. 5).

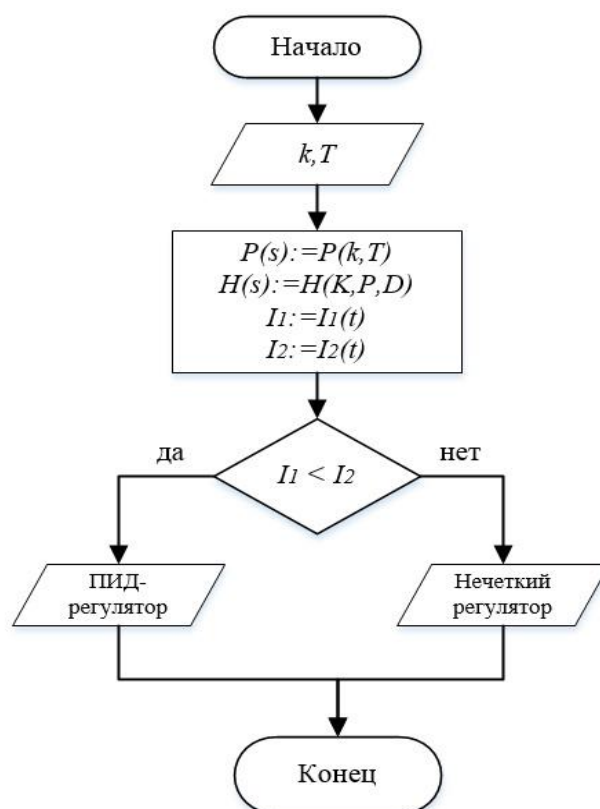


Рис. 5. Алгоритм выбора метода регулирования температуры низа СК

Сначала необходим ввод параметров режима  $k$  и  $T$ . Затем по формуле (2) получаем ПФ ОУ  $P(s)$ . Для полученной  $P(s)$  необходимо рассчитать настройки ПИД-регулятора  $K$ ,  $P$ ,  $D$  и получить ПФ ПИД-регулятора  $H(s)$ . После этого выполняется расчет НР, используем для задания границ ЛП НР рассчитанные коэффициенты  $K$ ,  $P$  и приведенную выше методику расчета НР. При построении переходных процессов в пакете *Simulink* среды *MATLAB* в САУ температуры низа СК с ПИД-регулятором и НР получаем соответствующие значения комплексного интегрального показателя качества  $I_1$  и  $I_2$ . Сравнивая значения показателей, делаем вывод об эффективности метода регулирования.

Таким образом, в работе предложен подход к управлению процессом КР на основе оценки эффективности применения методики управления при определенном режиме. На основе данного подхода возможна разработка эффективной САУ процессом КР.

#### Список литературы

1. Антонов О.В. Оптимальное управление процессом каталитического риформинга с использованием гибридной математической модели: дис. ... канд. технич. наук. Астрахань, 2003.
2. Джамбеков А.М., Щербатов И.А. Разработка нечеткой системы управления процессом вторичной переработки бензина // Геология, география и глобальная энергия. 2014, № 3(54). С. 89-93.
3. Кондрашева Н.К., Кондрашев Д.О., Абдульминев К.Д. Технологические расчеты и теория каталитического риформинга бензина: Учебное пособие. Уфа: ООО «Монография», 2008. 160 с.

4. Джамбеков А.М. Управление процессом каталитического риформинга на основе экспертной информации / А.М. Джамбеков, И.А. Щербатов // Системы. Методы. Технологии. 2014, № 4 (24). С. 103-111.

5. Edwin Vijay Kumar. Chaturvedi Reliability Estimation of Complex Technical Systems with Dependency Modelling. A Fuzzy Approach // Journal of Uncertain Systems. 2008. Vol. 2. № 4. S. 280–288.

6. Ярошук Я.Д., Бондаренко Ю.Г., Гончаренко С.Н. Имитационное моделирование процессов каталитического крекинга // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2014, №1. С. 46-58.

7. Гостев В.И. Проектирование нечетких регуляторов для систем автоматического управления. СПб.: БХВ - Петербург, 2011. 416 с.

8. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. М.: Горячая линия - Телеком, 2007. 288 с.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИСТЕРЕЗИСНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ФЕРРОМАГНЕТИКЕ С УЧЕТОМ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ 1-ГО И 2-ГО РОДА**

З.Р. Зайнутдинова, Д.Ф. Нерадовский

*Тюменский государственный нефтегазовый университет*

**Аннотация.** На сегодняшний день известно очень много математических моделей, позволяющих описать форму петли гистерезиса. Однако большинство моделей требуют введения дополнительных коэффициентов и не имеют физического смысла. Выбор той или иной математической модели для материалов с различными магнитными свойствами может быть неоднозначен. В работе исследована модель магнитного гистерезиса Такаги с учетом зависимости коэрцитивной силы от внешних напряжений.

**Ключевые слова:** петли гистерезиса, механические напряжения, коэрцитивная сила, модель Такаги, намагниченность.

## **MODELING OF HYSTERESIS PHENOMENA IN FERROMAGNETS WITH REGARD TO MECHANICAL STRESSES OF THE 1-ST AND 2-ND KIND**

Z.R. Zainutdinova, D.F. Neradovsky

*Tyumen State Oil and Gas University*

**Annotation.** Today known a lot of mathematical models that describe the shape of the hysteresis loop. However, most models require the introduction of additional factors and have not physical meaning. The choice of a mathematical model for materials with different magnetic properties can be ambiguous. We have studied the model of magnetic hysteresis Takagi based on the dependence of the coercive force of external stresses.

**Key words:** *hysteresis loop, mechanical stresses, coercive force, model Takagi, magnetization.*

В магнитных методах неразрушающего контроля измеряют различные петли гистерезиса, такие характеристики как остаточная намагниченность  $M_r$ , коэрцитивная сила  $H_c$ , релаксационная коэрцитивная сила  $H_{rc}$ , площадь петли, равная потерям энергии на перемагничивание [2]. Все перечисленные величины находятся в корреляционной зависимости с характеристиками материала

(твёрдость, ударная вязкость, усталостная прочность) и служат так называемыми параметрами контроля [3]. При этом важно отметить, что все остальные точки петли, которых множество, остаются без внимания. Также не используются геометрические характеристики петли, например, кривизна участков петли гистерезиса, степень асимметрии, точки перегиба участков петли. Возникают вопросы – каков физический смысл этих дополнительных величин и точек петли и какова их связь со свойствами материала, с его внутренней структурой. Ответить на этот вопрос могут экспериментальные исследования, направленные на установление корреляционных зависимостей между указанными особенностями петли и структурными параметрами материала, а также математическое моделирование гистерезисных явлений с учетом внутреннего устройства ферромагнетиков и их структурных особенностей. С учетом сказанного, построение математической модели магнитного гистерезиса [1] достаточно простое и в то же время здесь учитываются механические напряжения, возникающие в ферромагнетике, это актуальная задача.

Как известно, в работе Такаги [4], исходя из общего принципа минимизации суммы энергий (энергии магнитной кристаллографической анизотропии, магнитоупругой энергии, энергии взаимодействия намагниченности с магнитным полем и др.), получены выражения для кривой намагничивания с учетом влияния упругих напряжений для кристаллографических направлений [100], [110], [111]:

$$j_{100} = \frac{sh(M')}{ch(M') + 2 \exp(-\tau)}; \quad (1)$$

$$j_{110} = \frac{\frac{1}{\sqrt{2}} sh\left(\frac{M'}{\sqrt{2}}\right)}{ch\left(\frac{M'}{\sqrt{2}}\right) + \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{\tau}{2}\right)}; \quad (2)$$

$$j_{111} = \frac{1}{\sqrt{3}} th\left(\frac{M'}{\sqrt{3}}\right), \quad (3)$$

$$\text{где } j = \frac{I}{I_s}, \quad M' = \frac{3\chi_0 H'}{I_s}, \quad \tau = \frac{9\chi_0 \lambda_{100} \sigma}{2\mu_0 I_s^2}, \quad (4)$$

$I, I_s$  - намагниченность и намагниченность насыщения,  $\chi_0$  - дифференциальная магнитная восприимчивость при  $H = H_c$ ,  $H'$  - напряженность внутреннего магнитного поля,  $\lambda_{100}$  - константа магнитострикции,  $\sigma$  - величина одноосного упругого напряжения,  $\mu_0$  - магнитная постоянная в системе СИ.

В работе [5] на основании упомянутой модели Такаги получили выражения для намагниченности, описывающие симметричную петлю

магнитного гистерезиса при наличии внешних напряжений. Этот результат достигается искусственным введением коэрцитивной силы в формулы модели Такаги. Например, для направления [100] выражение для безразмерной намагниченности  $j = \frac{I}{I_s}$  имеет вид:

$$j_{100}^{00} = \frac{sh(M \mp M_c)}{ch(M \mp M_c) + 2exp(-\tau)} \pm \frac{I}{2} \Delta j_{100}^0. \quad (5)$$

$$\text{Здесь } \Delta j_{100}^0 = \frac{sh(M_{max} + M_c)}{ch(M_{max} + M_c) + 2exp(-\tau)} - \frac{sh(M_{max} - M_c)}{ch(M_{max} - M_c) + 2exp(-\tau)}. \quad (6)$$

Добавочное слагаемое  $\Delta j_{100}^0$  вводится, как это было сделано в работе [6], с целью обеспечения «стыковки» верхней и нижней частей петли гистерезиса. Аналогичным образом в работе [5] записаны выражения и для намагниченности вдоль направления [110] и [111].

В работе Такаги [4] намагниченность поликристаллического материала рассчитывается по формуле:

$$j^0 = i \cdot j_{100}^{00} + k \cdot j_{110}^{00} + l \cdot j_{111}^{00}, \quad (7)$$

где  $i$ ,  $k$ ,  $l$  - коэффициенты, определяющие вклад в намагниченность ее составляющих, для основных кристаллографических направлений. При этом выполняется условие:  $i + k + l = 1$ .

Важно отметить, что, например, для направления [100] в формуле 6 зависимость от механических напряжений обеспечивается членом вида:

$$exp(-\tau), \text{ где } \tau \sim \frac{\chi_0 \lambda_{100} \sigma}{2\mu_0 I_s^2}, \text{ а коэрцитивная сила, пропорциональная } M_c, \text{ не}$$

зависит от внешних напряжений.

В работе [7] исследована зависимость коэрцитивной силы  $H_c$  от величины одноосных напряжений для конструкционных сталей и показано, что коэрцитивная сила зависит как от вида нагружения, так и от марки стали.

В работах [8-10] получены выражения, описывающие зависимость коэрцитивной силы от величины напряжений с учетом перестройки доменной структуры и увеличения локальных напряжений или напряжений 2-го рода при упругой деформации ферромагнетика. Так, например, выражения в [10], описывающие зависимость  $H_c''(\sigma)$  и  $H_c^\perp(\sigma)$  коэрцитивной силы, измеряемой соответственно вдоль и поперек действия одноосных растягивающих напряжений, имеют вид:

$$H_c''(\sigma) = (H_c^0 - A_3(1 - e^{-\beta_3 \sigma}))(1 + m_3 \sigma); \quad (8)$$

$$H_c^\perp(\sigma) = (H_c^0 - A_4(1 - e^{-\beta_4 \sigma}))(1 + m_4 \sigma). \quad (9)$$

Коэффициенты  $A_i$ ,  $\beta_i$  и  $m_i$  находятся путем аппроксимации экспериментальных зависимостей  $H_c(\sigma)$  для различных сталей.

В данной работе рассматривается модель Такаги магнитного гистерезиса согласно [5], для электротехнической стали 3413 с учетом действующих внешних напряжений (1-го рода).

Величина  $H_c$  в модели Такаги предполагает зависимость от внешних растягивающих напряжений. Соответствующие экспериментальные зависимости, взятые из работы [11], были получены для образцов  $150 \times 5 \times 0,35$  мм<sup>3</sup>, вырезанных из листа стали 3413 вдоль направления прокатки (рис.1). Значит, направление длины образца было близко к кристаллографическому направлению [100]. Тем самым обеспечивается применимость модели Такаги, справедливой для монокристаллов в случае стали марки 3413. В работе [11] также приведены экспериментальные зависимости  $H_c(\sigma)$  стали 3413 вдоль направлений [110] и [111] (рис.1). Как видно из графика (рис.1), зависимость  $H_c(\sigma)$  для [100] можно считать приближенно линейной и представить ее в следующем виде:

$$H_{(\sigma)}^{[100]} = H_c^0 + \left( \frac{\Delta H_c}{\Delta \sigma} \right) \sigma, \quad (10)$$

где  $H_c^0 = H_c(0)$  - коэрцитивная сила материала в ненагруженном состоянии.

Для  $\frac{\Delta H_c}{\Delta \sigma}$  можно сделать оценку:

$$\frac{\Delta H_c}{\Delta \sigma} = \operatorname{tg} \alpha \approx \frac{H_c(\sigma) - H_c^0}{\sigma} \approx 0,2 \frac{A}{\text{МПа} \cdot \text{м}}. \quad (11)$$

Зависимость коэрцитивной силы  $H_c(\sigma)$  для направления [110] будем искать в виде:

$$H_c^{[110]} = H_c^0 \left( 1 - \delta H_c^0 (1 - e^{-\beta \sigma}) + \frac{1}{H_c^0} \frac{\Delta H_c}{\Delta \sigma} \sigma \right), \quad (12)$$

где  $\frac{\Delta H_c}{H_c^0} = \delta H_c^0$ .

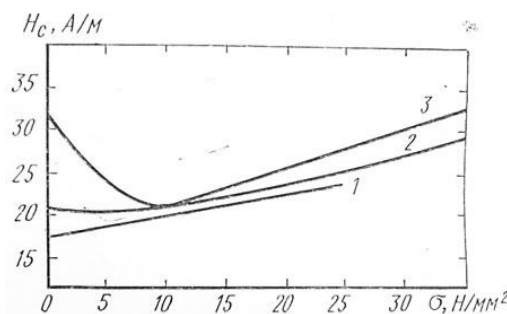


Рис. 1. Зависимости коэрцитивной силы образцов электротехнической стали марки 3413 от внешних растягивающих напряжений [11]

Зависимости, аналогичные (12), приведены в монографии [5], однако в этих формулах числовые коэффициенты рассматривались лишь как эмпирические параметры, не имеющие физического смысла.

В выражении (12)  $H_c(0)$  - коэрцитивная сила образца в отсутствии нагрузки,  $\Delta H_c^0$  - параметр, определяемый из экспериментального графика,  $\frac{\Delta H_c}{\Delta \sigma}$  - угловой коэффициент линейной части графика зависимости (рис. 2),

соответствующий напряжениям  $\sigma > \sigma_0 \approx 10$  МПа. Для величины  $\beta$  примем оценку, исходя из следующих соображений:

$$\beta = \frac{\chi_0 \lambda_{100}}{\mu_0 I_s^2} . \quad (13)$$

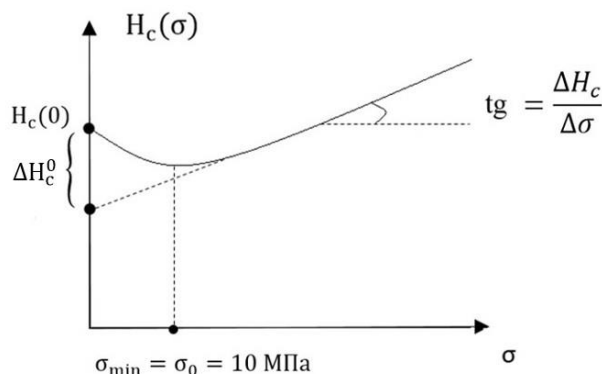


Рис. 2. Зависимость коэрцитивной силы от механических напряжений для кривой для кристаллографического направления [110]

Величина  $\beta\sigma$  в показателе степени  $e^{-\beta\sigma}$ , являясь безразмерной, представляет собой отношение двух энергий:  $\lambda_{100}\sigma = W_{\text{м.упр}}$  - характерное значение магнитоупругой энергии и  $\mu_0 I_s^2 = W_{\text{магн.}}$  - характерное значение магнитостатической энергии. Таким образом, функция  $e^{-\beta\sigma}$  определяет «конкуренцию» двух механизмов коэрцитивной силы – перестройка доменной структуры и действие локальных напряжений при упругой деформации ферромагнетика. Так, при  $\sigma \leq \sigma_0$  преобладают процессы смещения и вращения междоменных границ, а при  $\sigma \gg \sigma_0 = 10$  МПа основной вклад вносят действующие внешние напряжения, определяющие локальные микронапряжения. Вклад магнитной энергии в этом случае несущественен.

Используя экспериментальные зависимости  $H_c(\sigma)$ , приведенные на рисунке 1, получим численные оценки для следующих параметров:

$$H_c(0) \approx 30 \frac{\text{А}}{\text{м}} \quad \frac{\Delta H_c}{\Delta \sigma} \approx 0,04 \frac{\text{А}}{\text{м}} \quad \Delta H_c^0 \approx 14 \frac{\text{А}}{\text{м}} . \quad (14)$$

Оценить величину  $\beta$  можно из условия минимума  $H_c(\sigma)$  при  $\sigma = \sigma_0 \approx 10$  МПа, а именно:

$$\left( \frac{dH_c}{d\sigma} \right)_{\sigma=\sigma_0} = 0. \quad (15)$$

Отсюда получаем трансцендентное уравнение:

$$\beta e^{-\beta\sigma_0} = \frac{1}{\Delta H_c^0} \cdot \left( \frac{\Delta H_c}{\Delta \sigma} \right). \quad (16)$$

Решив уравнение (16), находим  $\beta \approx 3,17 \cdot 10^{-9} \text{Па}^{-1}$ . Заметим, что расчет теоретического значения величины  $\beta$  по формуле (13), где  $\chi_0$ ,  $\lambda_{100}$  и  $I_s$  взяты для типичной электротехнической стали, приводит к значению



$\beta_{\text{теор}} \approx 4,01 \cdot 10^{-8} \text{ Па}^{-1}$ , что лишь на один порядок больше значения, найденного экспериментально.

Выражения (10) и (12) коэрцитивной силы подставляются в формулы Такаги для безразмерных намагниченностей вдоль направлений [100] и [110].

Для сформулированной модели магнитного гистерезиса Такаги выполнена программная реализация в среде Turbo Delphi. Пример типичной петли магнитного гистерезиса, полученной в программе, для направления [100] приведен на рисунке 3.

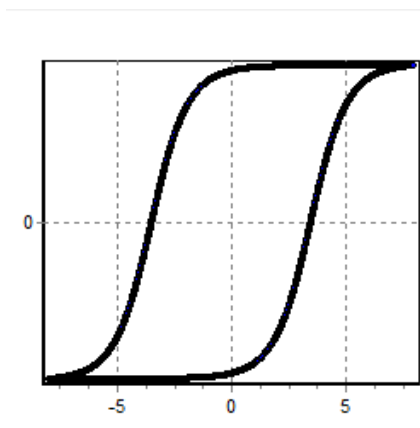


Рис. 3. Петля магнитного гистерезиса для направления [100]

Для анализа построенных петель в зависимости от приложенной внешней нагрузки в программе реализованы стандартные процедуры дискретного преобразования Фурье [12].

Предварительно была осуществлена «развертка» петель гистерезиса. Вид полученного сигнала приведен на рисунке 4.

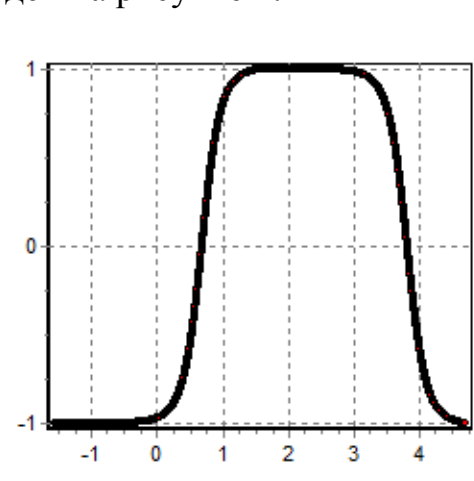


Рис. 4. «Развертка» петли гистерезиса по оси H

С использованием разработанной программы исследованы амплитуды нечетных гармоник «развернутой» петли магнитного гистерезиса в зависимости от приложенных внешних растягивающих и сжимающих напряжений для кристаллографических направлений [100] и [110]. Полученные зависимости приведены на рисунках 5, 6, 7, 8.

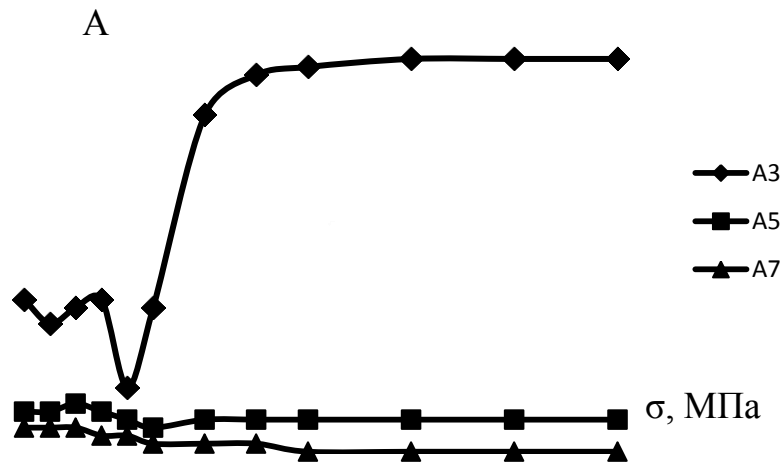


Рис. 5. Зависимость амплитуды третьей, пятой, седьмой гармоник от механических напряжений для кристаллографического направления [100] без учета зависимости коэрцитивной силы от механических напряжений

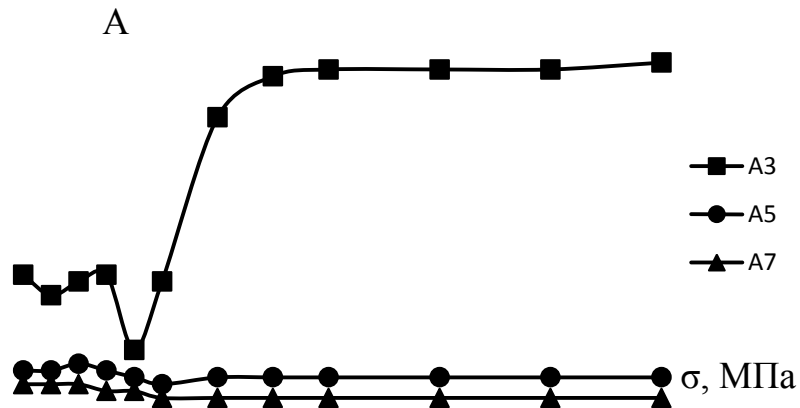


Рис. 6. Зависимость амплитуды третьей, пятой, седьмой гармоник от механических напряжений для направления [100] в модели Такаги с учетом зависимости коэрцитивной силы от механических напряжений

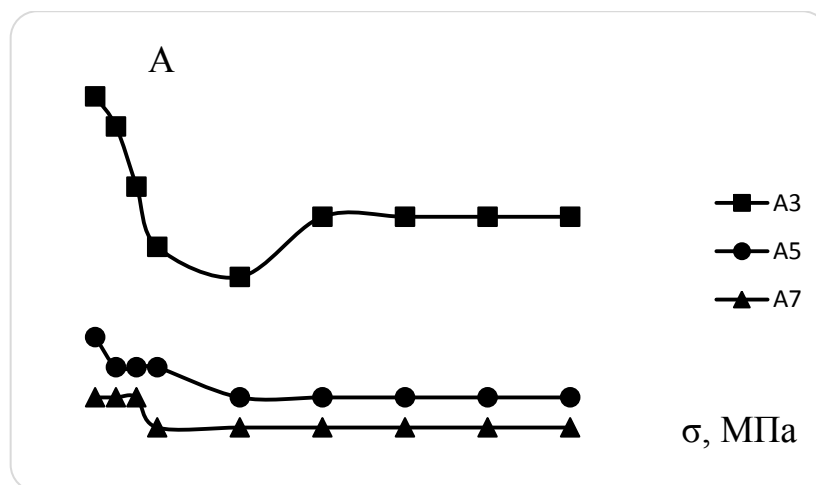


Рис. 7. Зависимость амплитуды третьей, пятой, седьмой гармоник от механических напряжений для направления [110] без учета зависимости коэрцитивной силы от механических напряжений

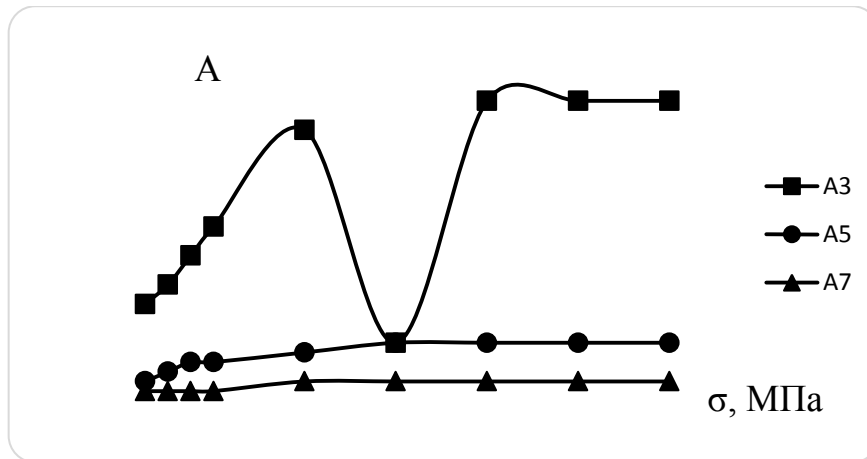


Рис. 8. Зависимость амплитуды, третьей, пятой, седьмой гармоник от механических напряжений для направления [110] с учетом зависимости коэрцитивной силы от механических напряжений

Из полученных зависимостей (рис. 8) видно, что по мере увеличения механического напряжения значения амплитуд пятой, седьмой гармоник увеличиваются, достигнув затем постоянных значений амплитуд. При увеличении механических напряжений значения амплитуды третьей гармоники возрастают, достигая при значении механического напряжения  $\sigma = 2$  МПа первого пика, затем с возрастанием механического напряжения идет спад амплитуды третьей гармоники, достигая минимального значения при  $\sigma = 4$  МПа. Данная точка является точкой локального минимума. Потом снова идет резкое возрастание значений амплитуды, достигнув при значении  $\sigma = 6$  МПа второй пик. При дальнейшем увеличении механического напряжения значения амплитуд третьей гармоники остаются постоянными.

В области отрицательных значений механических напряжений для кристаллографического направления [110] с учетом зависимости коэрцитивной силы от механических напряжений значения амплитуды гармоник возрастают, а без учета зависимости коэрцитивной силы от механических напряжений значения амплитуды гармоник уменьшаются (см. рис. 7, 8). Среднее значение амплитуды гармоник увеличивается.

Из приведенных результатов видно, что учет зависимости коэрцитивной силы от механических напряжений более существенно влияет на поведение третьей гармоники для направления [110], чем для направления [100], то есть третья гармоника является структурно-чувствительной.

В то же время известно, что намагничивание вдоль оси [100] (ребро куба) происходит легче, чем, например, вдоль [111] (пространственная диагональ) и [110] (диагональ грани куба).

Учет зависимости коэрцитивной силы от механических напряжений для петли гистерезиса в направлении [100] практически не влияет на поведение третьей гармоники.

В области значения механического напряжения  $\sigma = (2 \div 6)$  МПа амплитуда третьей гармоники петли гистерезиса, полученной для направления

[110], испытывает скачок при учете зависимости коэрцитивной силы от механических напряжений. Без учета этой зависимости такого скачка не наблюдается. Одновременное и соосное действие магнитного поля и напряжений делает распределение намагниченности более анизотропным, в этом случае намагничивание идет более трудно [13]. При этом происходит перераспределение магнитных фаз и дробление доменов. Это и приводит к появлению глубокого минимума амплитуды третьей гармоники.

Таким образом, амплитуда третьей гармоники оказывается чувствительной к изменению энергии анизотропии ферромагнетика вследствие действия внешних одноосных напряжений на ферромагнетик в модели Такаги.

#### Список литературы

1. Матюк, В.Ф., Осипов А.А. Математические модели кривой намагничивания и петель магнитного гистерезиса. Часть I. Анализ моделей. – Неразрушающий контроль и диагностика. 2011, №2. С. 3-36.
2. Михеев, М.Н., Горкунов, Э.С. Магнитные методы структурного анализа и неразрушающего контроля. – М.: Наука, 1993. – 252 с.
3. Бида, Г.В., Ничипурук, А.П. Магнитные свойства термообработанных сталей. Екатеринбург: УрО РАН, 2005.
4. Takagi M. On a statistical domain theory of ferromagnetic crystals., Part II // Sci. Rep. Tohoku Imp. Univ. 1939 Vol 28, p.85-127.
5. Новиков, В.Ф., Проботюк, В.В., Осташков В.Н. Влияние переменных механических напряжений на гармонический спектр магнитоупругого преобразователя. – Тюмень: Издательство «Вектор-Бук», 2005. – 52 с.
6. Зацепин, Н.Н. Аналитическая функция, описывающая ход симметричной петли магнитного гистерезиса. //Изв. АН БССР, сер. физ-техн.наук, 1973, №4. С. 29-31.
7. Захаров, В.А., Боровкова, М.А., Бабкин, С.Э. О связи коэрцитивной силы с механическими напряжениями в конструкционных сталях // Неразрушающие физические методы и средства контроля материалов и изделий. Тезисы докладов. Ижевск, 1981. С. 62-64.
8. Новиков, В.Ф., Яценко, Т.А., Бахарев, М.С. Зависимость коэрцитивной силы малоуглеродистых сталей от одноосных напряжений (Часть 1)// Дефектоскопия, 2001. - №11. – С. 51-57.
9. Новиков, В.Ф., Яценко, Т.А., Бахарев, М.С. Зависимость коэрцитивной силы малоуглеродистых сталей от одноосных напряжений (Часть 2)// Дефектоскопия, 2002. - №4. – С.11-17.
10. Новиков, В.Ф., Бахарев, М.С. Магнитная диагностика механических напряжений в ферромагнетиках. Тюмень.: Вектор Бук, 2001. – 220 с.
11. Мишин, Д.Д. Магнитные материалы: учеб. пособие. – М.: Высшая школа, 1981. – 335 с.
12. Денисова, Э.В. Основы вычислительной математики: учеб. пособие / Э.В Денисова, А.В.Кучер; СПб ГУ ИТМО, 2010. – 164 с.

13. Новиков, В.Ф. Физические основы методов неразрушающего контроля качества изделий: учебное пособие / под ред. В.Ф. Новикова. – 2-е изд., доп. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2012. – 106 с.

## РЕШЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ОДНОРОДНЫХ СИСТЕМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ MAPLE

М.С. Кожевятов

Научный руководитель к.ф.-м.н., доцент Е.В. Никитенко

*Рубцовский индустриальный институт*

**Аннотация:** решение линейных однородных систем дифференциальных уравнений методом исключения, Эйлера, матричной экспоненты с использованием математического пакета Maple.

**Ключевые слова:** матричная экспонента, линейные однородные системы дифференциальных уравнений, метод Эйлера, метод исключения.

## SOLUTION OF LINEAR HOMOGENEOUS SYSTEMS OF DIFFERENTIAL EQUATIONS USING

M.S. Kozhevyatov

Scientific supervisor: candidate of physico-mathematical Sciences, associate

Professor E. V. Nikitenko

*Rubtzovsk Industrial Institute*

**Annotation:** solution of linear homogeneous systems of differential equations by the elimination method, Euler, matrix exponent using the mathematical package Maple.

**Keywords:** *matrix exponent, a linear homogeneous system of differential equations, Euler method, method of matrix exponential.*

Научное программное обеспечение и математические пакеты играют важную роль в современном естествознании и технике. Такие пакеты, как Axiom, Derive, Macsyma, Maple[4], MatLab, MathCAD, Mathematica, хорошо себя зарекомендовали в университетах, исследовательских центрах и компаниях развитых стран. Владение одним или несколькими математическими пакетами и регулярное использование их в работе, будь то исследовательская или преподавательская задача, быстро становится нормой для специалиста. Об этом можно судить по росту числа журнальных и книжных публикаций, освещающих применение данных пакетов для решения разнообразных проблем.

Целью данной работы является решение систем линейных дифференциальных уравнений средствами математического пакета Maple.

Однородная система линейных дифференциальных уравнений первого порядка с постоянными коэффициентами в матричной форме записи может быть представлена следующим образом:

$$(1) \quad \frac{dy}{dt} = Ay, t \in (a, b) \quad \frac{dy}{dt} = Ay, t \in (a, b),$$

где  $A$  – матрица размера  $n \times n$ .

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix} \quad (2)$$

$\psi$  – функции [3]

Общее решение системы (1) можно записать в виде:

$$y(t) = e^{tA} C y(t) = e^{tA} C, \quad (3)$$

где  $e^{tA}$  – матричная экспонента,  $C = (C_1, C_2, \dots, C_n)^T$  – произвольный  $n$ -мерный вектор.

Напомним, что матричная экспонента является суммой следующего степенного ряда:

$$e^{tA} = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{t^k}{k!} A^k = E + \frac{t}{1!} A^2 + \frac{t^2}{2!} A^3 + \dots + \frac{t^k}{k!} A^k + \dots$$

$$e^{tA} = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{t^k}{k!} A^k = E + \frac{t}{1!} A^2 + \frac{t^2}{2!} A^3 + \dots + \frac{t^k}{k!} A^k + \dots \quad (4)$$

Используя так называемые  $\psi$ -функции, мы можем матричную экспоненту ( $n \times n$ ) матрицы  $A$  представить в виде полинома степени  $n-1$ :

$$+ \psi(t, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n) (A - \lambda_n E) \dots (A - \lambda_{n-1} E)$$

$$e^{tA} = \psi(t, \lambda_1) E + \psi(t, \lambda_1, \lambda_2) (A - \lambda_1 E) + \dots +$$

$$+ \psi(t, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n) (A - \lambda_n E) \dots (A - \lambda_{n-1} E), \quad (5)$$

где  $\lambda_1, \lambda_2$  – собственные значения матрицы  $A$ ,

$$\psi(t, \lambda_1) = e^{\lambda_1 t} \psi(t, \lambda_1) = e^{\lambda_1 t}, \quad (6)$$

$$\psi(t, \lambda_1, \dots, \lambda_j) = \int_0^t e^{\lambda_j(t-s)} \psi(s, \lambda_1, \dots, \lambda_{j-1}) ds, j = 2, \dots, n.$$

$$\psi(t, \lambda_1, \dots, \lambda_j) = \int_0^t e^{\lambda_j(t-s)} \psi(s, \lambda_1, \dots, \lambda_{j-1}) ds, j = 2, \dots, n. \quad (7)$$

Например, пусть  $\lambda_1, \lambda_2$  – собственные значения матрицы  $A$  размером ( $2 \times 2$ ), тогда:

$$\psi(t, \lambda_1) = e^{\lambda_1 t} \quad (8)$$

$$\psi(t, \lambda_1, \lambda_2) = \begin{cases} \frac{e^{\lambda_1 t} - e^{\lambda_2 t}}{\lambda_1 - \lambda_2}, \lambda_1 \neq \lambda_2, \\ te^{\lambda_1 t}, \lambda_1 = \lambda_2 \end{cases}$$

$$\Psi(t, \lambda_1, \lambda_2) = \begin{cases} \frac{e^{\lambda_1 t} - e^{\lambda_2 t}}{\lambda_1 - \lambda_2}, \lambda_1 \neq \lambda_2 \\ te^{\lambda_1 t}, \lambda_1 = \lambda_2 \end{cases} \quad (9)$$

$$e^{tA} = \Psi(t, \lambda_1)E e^{tA} = \Psi(t, \lambda_1)E + \Psi(t, \lambda_1, \lambda_2)(A - \lambda_1 E), \quad (10)$$

### Метод исключения [2]

Для решения, например, нормальной системы двух дифференциальных уравнений 1-го порядка, т.е.

$$\begin{cases} \frac{dy}{dx} = f(x, y, z) \\ \frac{dz}{dx} = g(x, y, z) \end{cases} \quad \begin{cases} \frac{dy}{dx} = f(x, y, z) \\ \frac{dz}{dx} = g(x, y, z) \end{cases}, \quad (11)$$

разрешенной относительно производных от искомых функций  $y$  и  $z$ , дифференцируем по  $x$  одной из них.

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{\partial f}{\partial x} + \frac{\partial f}{\partial y} f + \frac{\partial f}{\partial z} g \frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{\partial f}{\partial x} + \frac{\partial f}{\partial y} f + \frac{\partial f}{\partial z} g, \quad (12)$$

определяя  $z$  из первого уравнения системы (11) и подставляя найденное выражение

$$z = \varphi(x, y, \frac{dy}{dx}) \quad z = \varphi(z, y, \frac{dy}{dx}) \quad (13)$$

в уравнение (12), получим уравнение с одной неизвестной функцией  $y$ . Решая его, находим:

$$y = \Psi(x, C_1, C_2) \quad y = \Psi(x, C_1, C_2). \quad (14)$$

Подставляя функцию (14) в формулу (13), определяем функцию  $z$ . Совокупность формул (13) и (14), дает общее решение системы.

### Метод Эйлера[1]

Ищем решение уравнения (1) в виде

$$y = Be^{\lambda t} \quad y = Be^{\lambda t}, \quad (15)$$

где  $B$  – постоянный вектор.

Тогда из (1) получаем уравнение:

$$F(\lambda)B = 0, \text{ где } F(\lambda) = A - \lambda E \quad F(\lambda)B = 0, \text{ где } F(\lambda) = A - \lambda E, \quad (16)$$

$$\det F(\lambda) = 0 \quad \det F(\lambda) = 0, \quad (17)$$

это характеристическое уравнение,  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  – его простые корни. Тогда соответствующие им решения будут

$$y_1 = B_1 e^{\lambda_1 t}, y_2 = B_2 e^{\lambda_2 t}, \dots, y_n = B_n e^{\lambda_n t} \\ y_1 = B e^{\lambda_1 t}, y_2 = B e^{\lambda_2 t}, \dots, y_n = B e^{\lambda_n t}. \quad (18)$$

Векторы  $B_k$ , являются решениями уравнений

$$F(\lambda_k)B_k = 0 \quad F(\lambda_k)B_k = 0. \quad (19)$$

Произвольная комбинация векторов (18)

$$y = \sum_{i=1}^n C_i B_i e^{\lambda_i t} \quad y = \sum_{i=1}^n C_i B_i e^{\lambda_i t}, \quad (20)$$

где  $C_i$  – постоянные, есть общее решение уравнения (1).



## Список литературы

1. Боярчук А. К. Дифференциальные уравнения в примерах и задачах. Справочное пособие/М.: Эдиториал УРСС, 2001. 384 с.
2. Годунов С.К. Обыкновенные дифференциальные уравнения с постоянными коэффициентами. Учебное пособие/Н.: Издательство новосибирского университета, 1994. 264 с.
3. Демиденко Г.В. Обыкновенные дифференциальные уравнения в задачах. Учебное пособие/Н.: Издательство Новосибирского университета, 2014. 192 с.
4. Матросов А.В. Maple 16. Решение задач высшей математики и механики/СПб.: ВHV-Санкт-Петербург, 2011. 528 с.

## ПРИВЕДЕНИЕ КРИВОЙ ВТОРОГО ПОРЯДКА К КАНОНИЧЕСКОМУ ВИДУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАКЕТА MAPLE

О.А. Копылова

Научный руководитель к.ф.- м.н., доцент Е.В. Никитенко

*Рубцовский индустриальный институт*

**Аннотация.** В статье рассматривается приведение кривой второго порядка к каноническому виду с помощью математического пакета Maple.

**Ключевые слова:** *кривые второго порядка, каноническое уравнение, Maple, ортогональные преобразования.*

## BRINGING QUADRATIC CURVE TO THE CANONICAL FORM USING THE PACKAGE MAPLE

O.A. Kopilova, E.V. Nikitenko

*Rubtsovsk Industrial Institute of Altai State (branch) Technical University after I.I. Polzynov*

**Annotation:** The article discusses the reduction curve of the second order to the canonical form using mathematical package Maple.

**Keywords:** *second-order curves, canonical equation, Maple, orthogonal transformation.*

В наше время различные математические пакеты хорошо зарекомендовали себя в практической деятельности. Они могут использоваться в различных сферах, в которых требуется производить расчеты. Пакет Maple в последнее время широко используется для создания демонстрационного материала в различных математических дисциплинах. В нем имеется множество встроенных математических функций и широко представлена графическая визуализация. Используя средства данного математического пакета, можно привести кривую второго порядка к каноническому виду, построить ее, а также вычислить ортогональные инварианты, не затрачивая на это много времени.

Напомним, что кривая второго порядка в некоторой прямоугольной системе координат может быть задана следующим уравнением второй степени:

$$F(x, y) = a_{11}x^2 + 2a_{12}xy + a_{22}y^2 + 2a_1x + 2a_2y + a_0 = 0.$$

При этом числа  $a_{11}, a_{12}, a_{22}$  одновременно не равны нулю. На практике может случиться, что вовсе нет точек  $(x, y)$  с действительными координатами, удовлетворяющих этому уравнению. В этом случае говорят, что уравнение определяет мнимую кривую второго порядка.

Общее уравнение кривой второго порядка поворотом системы координат ОХУ на угол  $\varphi$  приводится к уравнению, где коэффициент  $a_{12}$  равен нулю.

Величина  $\varphi$  определяется из соотношения

$$\operatorname{ctg} 2\varphi = \frac{A - C}{2B}.$$

Переход к новой системе координат осуществляется по известным формулам:

$$\begin{cases} x = x' \cdot \cos \varphi - y' \cdot \sin \varphi, \\ y = y' \cdot \sin \varphi + x' \cdot \cos \varphi. \end{cases}$$

Значения  $\sin \varphi$  и  $\cos \varphi$  вычисляются по формулам:

$$\sin \varphi = \sqrt{\frac{1 - \cos 2\varphi}{2}},$$

$$\cos \varphi = \sqrt{\frac{1 + \cos 2\varphi}{2}},$$

$$\text{где } \cos 2\varphi = \frac{\operatorname{ctg} 2\varphi}{\sqrt{1 + \operatorname{ctg}^2 2\varphi}}.$$

Затем уравнение кривой можно упростить введением новой системы координат  $O''X''Y''$ , которое получается из системы координат  $O'X'Y'$  параллельным переносом координатных осей, т.е.

$$\begin{cases} x' = x'' + x_0, \\ y' = y'' + y_0; \end{cases}$$

Любая кривая второго порядка путем вышеприведенных ортогональных преобразований может быть приведена к одному из следующих видов (называемых каноническими уравнениями):

1.  $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$ , эллипс;

2.  $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = -1$ , мнимый эллипс;

3.  $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 0$ , пара пересекающихся мнимых прямых;

4.  $\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$ , гипербола;

5.  $\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 0$ , пара пересекающихся прямых;

6.  $y^2 = 2px$ , парабола;

7.  $y^2 - a^2 = 0, a > 0$ , пара параллельных прямых;
8.  $y^2 + a^2 = 0, a > 0$ , пара параллельных мнимых прямых;
9.  $y^2 = 0$ , пара совпадающих прямых.

Замечание. Определить вид канонического уравнения можно также, воспользовавшись ортогональными инвариантами (см., например, [1]).

#### Список литературы

1. Садовничий Ю.В., Федорчук В.В. Аналитическая геометрия. Курс лекций с задачами. - М.: Экзамен, 2009. - 350 с.
2. Киркинский А.С. Линейная алгебра и аналитическая геометрия: Учебное пособие. - М.: Академический проспект, 2006. - 256 с.
3. Сдвижков О.А. Математика на компьютере: Maple 8. - М.: СОЛОН-Пресс, 2003. - 176 с.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ РОСТА КЛАСТЕРОВ МЕДИ: ТОПОЛОГИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ, СТАБИЛЬНОСТЬ И РЕАЛИЗУЕМОСТЬ В ИНТЕРМЕТАЛЛИДАХ

В.С. Мясниченко<sup>1</sup>, А.А. Эссер<sup>2</sup>, П.М. Ершов<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова*

<sup>2</sup> *Межвузовский научно-исследовательский центр по теоретическому материаловедению (МНИЦТМ), Самарский национальный исследовательский университет им. С.П. Королева*

<sup>3</sup> *Тверской государственный университет*

**Аннотация.** В работе проведено моделирование структуры кластеров меди размером до 100 атомов. На основе расчета внутренней потенциальной энергии для всех глобальных минимумов найдены претенденты на «магические» кластеры, которые отвечают наиболее стабильным конфигурациям. Топологический анализ при помощи комплекса программ ToposPro позволил выделить определённые типы внутренних полиэдрических ядер, встречающихся в кластерах Cu<sub>4</sub>-Cu<sub>100</sub>. С увеличением размера кластеров наблюдается последовательное снижение их встречаемости в структурах интерметаллидов. Последовательный топологический рост нанокластеров меди с внутренним икосаэдром реализуется только в определённых диапазонах размеров.

**Ключевые слова:** кластер, интерметаллид, структура, топология.

### MODELLING OF THE COPPER CLUSTER'S GROWTH: TOPOLOGICAL DESCRIPTION, STABILITY AND OCCURRENCE IN INTERMETALLICS

V.S Myasnichenko<sup>1</sup>, A.A Esser<sup>2</sup>, P.M Ershov<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Altay State Technical University named after I.I. Polzunov*

<sup>2</sup> *Samara Center for Theoretical Materials Science (SCTMS), Samara National Research University named after academician S.P. Korolev*

<sup>3</sup> *Tver State University*

**Annotation:** In this paper, we study the structure of the modeled copper clusters with up to 100 atoms. Based on the calculated internal potential energy for all GM, we can identify “magic” clusters that correspond to the most stable states. Using ToposPro we have performed the topological analysis of the Cu<sub>4</sub>-Cu<sub>100</sub> clusters, as a result one can see that the modeled clusters have the certain types of internal polyhedral cores. With increase of the size of the nanoclusters their

occurrence in intermetallics monotonically decreases. The sequential topological growth of copper nanoclusters with internal icosahedron realized only in certain size ranges.

**Keywords:** *cluster, intermetallic compound, structure, topology.*

Сегодня известно несколько сотен тысяч кристаллических структур интерметаллидов. Одним из наиболее распространенных методов их описания является использование терминологии кластеров как строительных блоков. В настоящей работе используются топологические методы, позволяющие автоматизировать описание структур интерметаллидов любой сложности, а также метод классической молекулярной динамики.

С использованием программного обеспечения ClusterEvolution, апробированного в работе [1], провели молекулярно-динамическое моделирование кластеров  $\text{Cu}_N$  ( $N = 4-100$ ). Начальные конфигурации соответствовали кластерам Леннарда-Джонса [2]. Межатомное взаимодействие задавалось многочастичным потенциалом Клери-Розато [3], построенном в рамках модели сильной связи. Температуру в процессе моделирования определяли из средней кинетической энергии атомов. Кинетическая энергия каждого атома рассчитывалась по алгоритму Верле [4-5] в его скоростной форме, с временным шагом  $\Delta t = 1.0$  фс. Конечные структуры кластеров меди были получены путем постепенного охлаждения частиц меди различного размера от 100 К до 0.5 К с шагом 0.5 К/пс. Дополнительно проводили релаксацию полученных структур при нулевой температуре в течение 10 пс. Процесс релаксации нанокластеров проводили при постоянной энергии (микроканонический ансамбль).

Полученные локальные минимумы медных кластеров поатомно сохранялись в базу данных структур, вместе с рассчитанными значениями потенциальной энергии. Это позволило найти глобальные минимумы (GM) для каждого размера. Для следующего этапа исследования GM были выгружены из БД в текстовом формате XYZ.

Автоматизированный геометрический и топологический анализ глобальных минимумов для кластеров  $\text{Cu}_4\text{-Cu}_{100}$  показал, что модельные нанокластеры могут иметь следующие типы внутренних полиэдрических ядер: 0@3 (треугольник), 0@4 (тетраэдр), 0@5 (треугольная бипирамида), 0@6 (октаэдр), 0@7 (пятиугольная бипирамида), 1@12 (икосаэдр и кубооктаэдр). В ряде случаев наблюдается последовательный топологический рост нанокластеров с определенным типом внутреннего ядра, что приводит к формированию двух- и трехоболочечных кластеров (рис. 1). Под последовательным топологическим ростом мы подразумеваем увеличение размеров нанокластера на один атом с сохранением топологии предыдущего атомного фрагмента. Топологический анализ выполнялся при помощи комплекса программ ToposPro [6], включающего в себя базу данных по топологическим типам полиоболочечных нанокластеров.

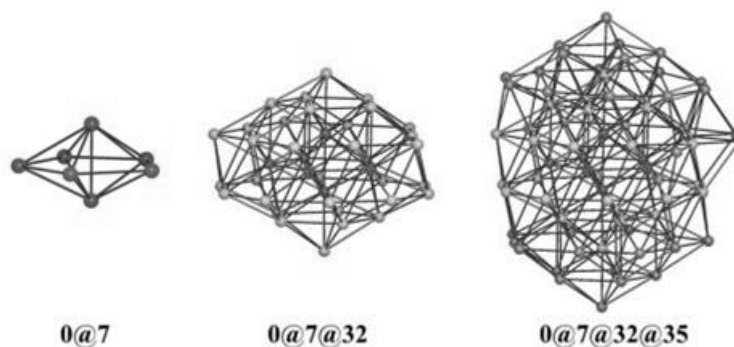


Рис. 1. Последовательный рост нанокластеров над внутренним ядром в виде пятиугольной бипирамиды с образованием двух- и трехблочечного нанокластеров

На основе расчета внутренней потенциальной энергии всех GM установлены претенденты на «магические» кластеры, которые отвечают наиболее стабильному состоянию; их поведение выделяется на соответствующих размерных зависимостях: термодинамических и структурных характеристик (температура плавления, теплота плавления, теплоемкость, площадь поверхности). Проведено моделирование процесса нагревания до 800 К для отдельных кластеров меди ( $N = 55, 73, 75, 77, 79$ ). На полученных калорических кривых (рис. 2), в непосредственной близости от температуры плавления, наблюдаются единичные осцилляции, что может свидетельствовать о наличии области предплавления, предсказанной, в частности, в работе [7].

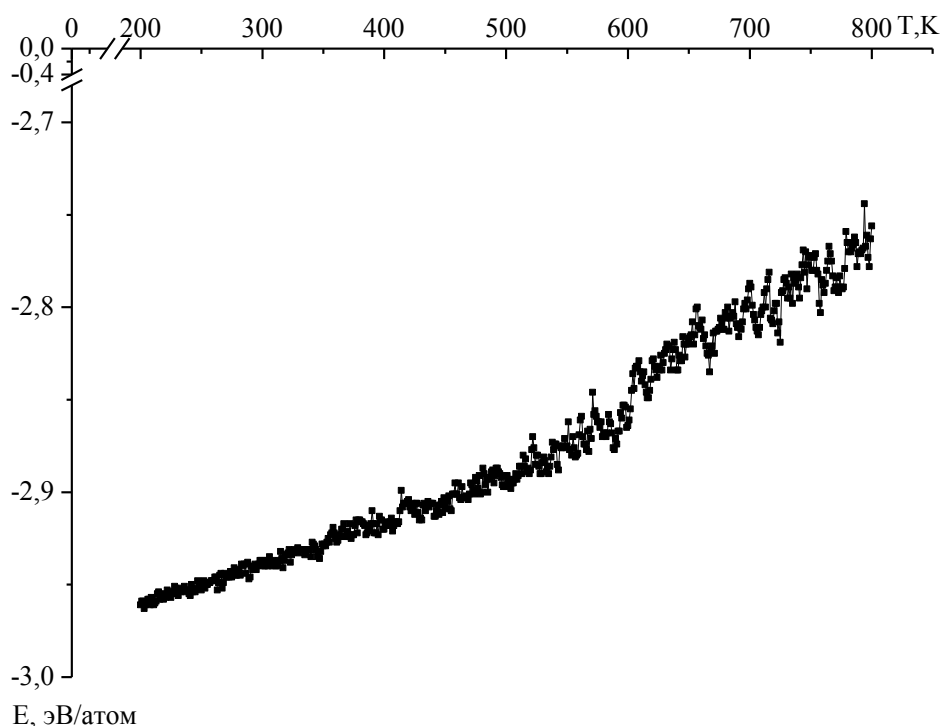


Рис. 2. Калорическая кривая потенциальной части внутренней энергии для нанокластера меди ( $N = 73$ ) с использованием потенциала сильной связи

Рассчитанные нами структуры GM для кластеров  $Cu_4-Cu_{100}$  частично согласуются с предыдущими результатами, которые представлены в Cambridge Cluster Database [8]. Модельные нанокластеры, взятые из Cambridge Cluster Database, могут быть представлены как результат последовательного топологического роста нанокластеров с внутренним икосаэдрическим ядром.

В то же время наши расчеты показывают, что последовательный топологический рост нанокластеров меди с внутренним икосаэдром реализуется только при  $N = 13-26$  и  $55-68$ . Кластеры указанных размеров содержат полиэдрическое ядро типа  $1@12$ . Изменения количественных параметров и встречаемости кластеров в структурах интерметаллидов в процессе роста приведены в таблице 1.

Таблица 1

Свойства кластеров  $Cu_N$  с внутренним ядром  $1@12$

Кол-во атомов, N	Количество вершин			Количество ребер			Количество граней			Встречаемость в интерметаллидах
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
13	12			30			20			7911
14	12	1		30			20			7791
15	12	2		30	1		20	1		7672
16	12	3		30	2		20	1		7603
17	12	4		30	3		20	1		7499
18	12	5		30	5		20	2		5944
19	12	6		30	10		20	6		5707
20	12	7		30	11		20	6		5649
21	12	8		30	12		20	6		5564
22	12	9		30	16		20	9		4480
23	12	10		30	19		20	11		4433
24	12	11		30	22		20	13		4240
25	12	12		30	24		20	14		3664
26	12	13		30	27		20	16		3572
55	12	42		30	120		20	80		192
56	12	42	1	30	120		20	80		192
57	12	42	2	30	120	1	20	80	1	192
58	12	42	3	30	120	3	20	80	2	192
59	12	42	4	30	120	4	20	80	2	189
60	12	42	5	30	120	6	20	80	3	189
61	12	42	6	30	120	8	20	80	4	136
62	12	42	7	30	120	9	20	80	4	136
63	12	42	8	30	120	11	20	80	5	131
64	12	42	9	30	120	13	20	80	6	126

65	12	42	10	30	120	16	20	80	8	0
66	12	42	11	30	120	18	20	80	9	0
67	12	42	12	30	120	20	20	80	10	0
68	12	42	13	30	120	23	20	80	12	0
75	12	42	20	25	100	20	15	60	2	0
76	12	42	21	25	100	24	15	60	5	0
77	12	42	22	25	100	25	15	60	5	0
79	12	42	24	24	96	24	14	56	2	3270

Интересно, что нанокластеры  $\text{Cu}_{13}$ ,  $\text{Cu}_{19}$ ,  $\text{Cu}_{23}$  и  $\text{Cu}_{26}$  имеют соответственно структуры икосаэдра, двух вложенных икосаэдров, трех вложенных икосаэдров и четырех вложенных икосаэдров (кластер  $\gamma$ -латуни) соответственно (рис. 3).

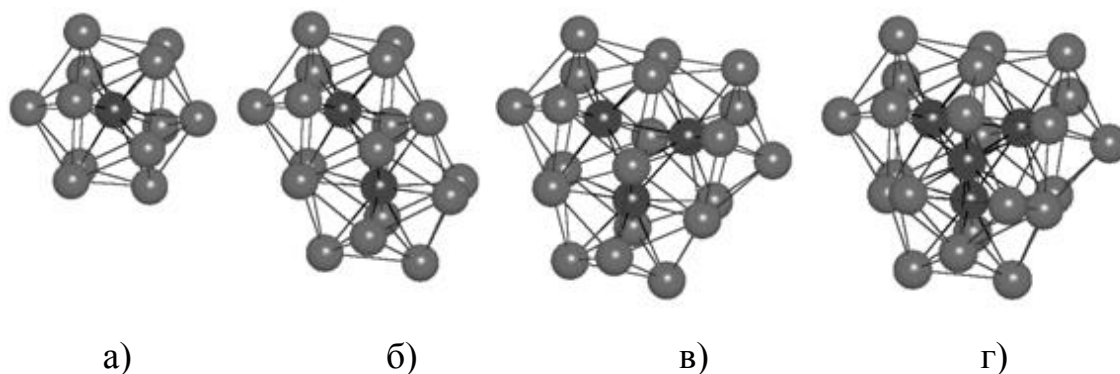


Рис. 3. Нанокластеры меди в виде икосаэдра (а), двух вложенных икосаэдров (б), трех вложенных икосаэдров (в) и четырех вложенных икосаэдров (г)

Среди рассмотренных 576 интерметаллидов, содержащих первичные нанокластеры в виде 26-атомных кластеров  $\gamma$ -латуни, найден монометаллический нанокластер  $\gamma$ -латуни  $\text{Cu}_{26}$  в структуре  $\text{Cu}_{40.5}\text{Sn}_{11}$  [9]. Для сравнения нами также было проведено моделирование нанокластера  $\text{Ag}_{26}$ , однако глобальный минимум энергии монометаллического нанокластера  $\text{Ag}_{26}$  соответствует двухслойной гексагональной упаковке атомов (**hcp**), а не структуре кластера  $\gamma$ -латуни.

Кроме того, в реальных структурах интерметаллидов нами не найден нанокластер  $\text{Ag}_{26}$ , соответствующий конфигурации  $\gamma$ -латуни. Таким образом, полученные оптимальные конфигурации нанокластеров меди и серебра подтверждают правильность использования нами нанокластерного моделирования.

Встречаемость в структурах интерметаллидов атомных конфигураций, топологически эквивалентных модельным нанокластерам  $\text{Cu}_N$ , приведена на рис. 4. В качестве иллюстрации на рис. 5 представлены атомные конфигурации  $\text{Cu}_{13}$ ,  $\text{Cu}_{19}$  и  $\text{Cu}_{85}$  в структурах некоторых интерметаллидов.

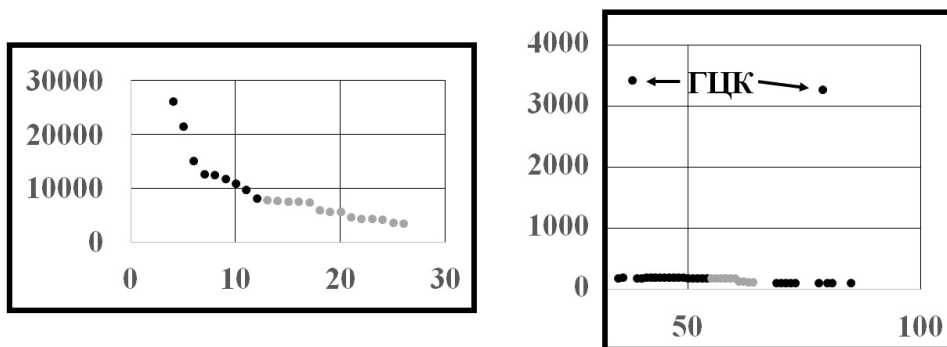


Рис. 4. Встречаемость в структурах интерметаллидов атомных конфигураций, топологически эквивалентных модельным нанокластерам  $Cu_N$ , в зависимости от их размера; серым цветом выделены точки, соответствующие нанокластерам с внутренним икосаэдрическим ядром

В рамках механизма последовательного топологического роста нанокластеров с определенным типом внутреннего ядра наблюдается снижение встречаемости нанокластеров в структурах интерметаллидов с увеличением их размеров. Для иллюстрации указанного вида зависимости на рис. 4 мы выделили серым цветом точки, соответствующие встречаемости нанокластерных конфигураций с внутренним икосаэдром. Кроме того, установлено, что выбросы на распределении соответствуют нанокластерам с  $N = 38$  и  $79$  и ГЦК структурой. Модельные нанокластеры, содержащие  $27-34$  и  $86-100$  атомов, в структурах интерметаллидов не реализуются.

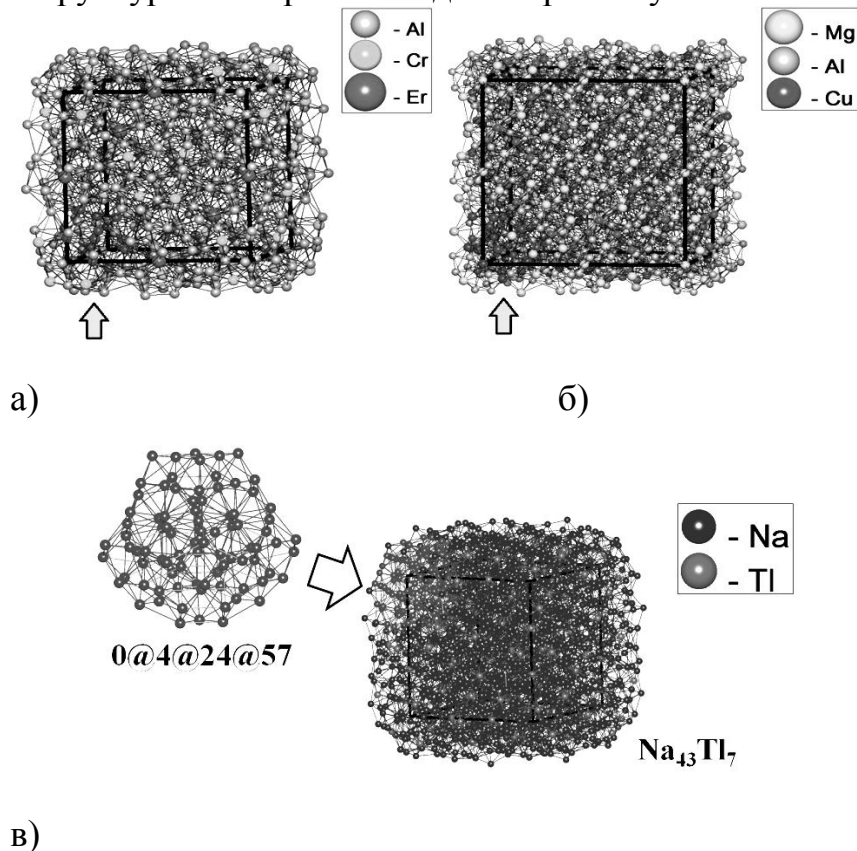


Рис. 5. Атомные конфигурации в структурах интерметаллидов (выделены цветом): а –  $Cu_{13}$  в  $Al_{20}Cr_2Er$ ; б –  $Cu_{19}$  в  $Al_{12}Cu_6Mg_{11}$ ; в –  $Cu_{85}$  в  $Na_{43}Tl_7$



*Работа частично поддержана грантом Правительства РФ № 14.В25.31.0005. Авторы благодарят проф. В. А. Блатова и доцента Н.Ю. Сдобнякова за полезные замечания по результатам исследования.*

#### Список литературы

1. Myasnichenko V.S., Starostenkov M.D. // Appl. Surf. Sci.. 2012. V. 260. P. 51-53.
2. Leary R.H. Global Optima of Lennard–Jones Clusters // Journal of Global Optimization. 1997. 11. 1. P. 35–53. Cleri F., Rosato V. // Phys. Rev. B. 1993. V. 48, №1. P. 22–33.
3. Cleri F., Rosato V. // Physical Review B. 1993. V. 48, №1. P. 22–33.
4. Verlet L. Computer «experiments» on classical fluids. I. Thermodynamical properties of Lennard-Jones molecules// Phys. Rev. 1967. V. 159. P. 98.
5. Verlet L. Computer «experiments» on classical fluids. II. Equilibrium correlation functions// Phys. Rev. 1967. V. 165. P. 201.
6. Blatov V.A., Shevchenko A.P., Proserpio D.M. // Crystal Growth and Design. 2014. V. 14. P. 3576-3586; URL <http://topospro.com>.
7. Сдобняков Н.Ю., Репчак С.В., Самсонов В.М. и др. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2011. №5. С. 109-112.
8. The Cambridge Cluster Database, D. J. Wales, J. P. K. Doye, A. Dullweber, M. P. Hodges, F. Y. Naumkin F. Calvo, J. Hernández-Rojas and T. F. Middleton; URL <http://www-wales.ch.cam.ac.uk/CCD.html>.
9. Pankova A. A., Blatov V. A., Ilyushin G. D., Proserpio D. M.  $\gamma$ -Brass Polyhedral Core in Intermetallics: The Nanocluster Model // Inorg. Chem. 2013. V. 52, №22. P. 13094-13107.

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ВСЕРЕЖИМНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ «МВТУ»**

С.Г. Пархоменко

*Азово – Черноморский инженерный институт Федеральное  
государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования «Донской государственный аграрный  
университет» в г. Зернограде,*

Г.Г. Пархоменко

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо –  
Кавказский научно – исследовательский институт механизации  
и электрификации сельского хозяйства»*

**Аннотация.** Представлена математическая модель дизельного двигателя с всережимным регулятором. Приведена методика моделирования в программном комплексе «МВТУ» и результаты расчетов работы двигателя Д–240.

**Ключевые слова:** *дизельный двигатель, всережимный регулятор частоты вращения, моделирование.*

# MODELLING OF OPERATION OF THE DIESEL ENGINE WITH THE ALL-SPEED GOVERNOR IN THE SOFTWARE PACKAGE MBTY

S. G. Parkhomenko

*Azov-Black Sea Engineering Institute FSBEI HPE «Don State Agrarian University»  
in Zernograd*

G. G. Parkhomenko

*Federal State Budgetary Scientific Institution Northern-Caucasian Scientific  
Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture*

**Annotation.** The mathematical model of the diesel engine with the all-speed governor is presented. The modeling technique is given in the software package MBTY and results of calculations of operation of the engine D-240.

**Keywords:** diesel engine, all-speed governor, modeling.

В равновесном режиме работа двигателя внутреннего сгорания характеризуется постоянством угловой скорости коленчатого вала при заданной нагрузке. Поддержание такого режима возможно при условии равенства крутящего момента двигателя  $M_\delta$  моменту сопротивления на коленчатом валу  $M_c$  [1]:

$$M_\delta = M_c. \quad (1)$$

В неравновесном режиме (в случае неравенства момента двигателя и момента сопротивления) возникают инерционные силы.

$$J_\delta \cdot \dot{\omega}_\delta = M_\delta - M_c, \quad (2)$$

где  $J_\delta$  – приведенный к коленчатому валу момент инерции двигателя.

$\omega_\delta$  – угловая скорость вала двигателя.

Характеристики крутящего момента двигателя и удельного расхода топлива (согласно [2, 3, 4]) могут быть представлены уравнениями регрессии:

$$M_\delta = a_0 + a_1 \cdot \omega_\delta + a_2 \cdot \omega_\delta^2 + a_3 \cdot h_p + a_4 \cdot \omega_\delta \cdot h_p + a_5 \cdot h_p^2, \quad (3)$$

$$g_e = b_0 + b_1 \cdot \omega_\delta + b_2 \cdot \omega_\delta^2 + b_3 \cdot h_p + b_4 \cdot \omega_\delta \cdot h_p + b_5 \cdot h_p^2, \quad (4)$$

где  $a_i, b_i$  – коэффициенты регрессии;

$h_p$  – отклонение рейки топливного насоса от положения, соответствующего номинальной подаче топлива.

Движение рейки топливного насоса, снабженного регулятором прямого действия, определяется движением муфты регулятора. Согласно [2], отклонение рейки топливного насоса УТН-5 определяется зависимостью:

$$h_p = 3,57 \cdot z, \quad (5)$$

где  $z$  – перемещение муфты регулятора.

Без учета инерционных сил движение муфты регулятора описывается системой уравнений [5]:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_p \cdot \dot{z} + c_p \cdot z &= \frac{A(z)}{i_p^2} \cdot \omega_d^2 - F(\gamma), \text{ при } z \geq z_n \\ \alpha_p \cdot \dot{z} + c_k \cdot z &= \frac{A(z)}{i_p^2} \cdot \omega_d^2 - F_{k0}, \text{ при } z < z_n \end{aligned} \right\}, \quad (6)$$

где  $z_n$  – положение муфты регулятора, соответствующее номинальной подаче топлива;

$\alpha_p$  – коэффициент вязкого трения в регуляторе;

$c_p, c_k$  – приведенные к муфте жесткости пружин регулятора и корректора;

$A(z)$  – коэффициент поддерживающей силы;

$i_p$  – передаточное число привода вала регулятора;

$F(\gamma)$  – усилие затяжки пружины регулятора, зависящее от угла поворота рычага управления регулятором  $\gamma$ ;

$F_{k0}$  – начальное усилие затяжки пружины корректора.

Совместное решение уравнений (2) и (6) представляет определенную сложность. Для решения обычно используются численные методы интегрирования.

Программный комплекс «Моделирование в технических устройствах» (ПК «МВТУ»), разработанный на кафедре «Ядерные реакторы и ядерные энергетические установки» Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, предназначен для исследования и анализа переходных и установившихся процессов в любых динамических системах, в том числе и в автоматических системах, с использованием визуальных средств структурного моделирования [6, 7, 8, 9].

В программном комплексе «Моделирование в технических устройствах» (ПК «МВТУ») использован метод структурного моделирования, базирующийся на математических моделях систем автоматического регулирования в виде их структурных схем.

В ПК «МВТУ» принята графическая форма ввода исходных данных в компьютер в виде структурной схемы моделирования, которую составляют с использованием соответствующих блоков, имеющихся в библиотеках программного комплекса. По внешнему виду структурная схема моделирования полностью повторяет исходную структурную схему с добавлением специальных блоков для формирования внешних воздействий на систему (задающего и возмущающих воздействий) и регистрации переходных процессов. Возможность графического ввода исходных данных обеспечивается наличием в ПК «МВТУ» графического и текстового редакторов, а также библиотеки графических представлений функциональных блоков и диалоговых средств обучения пользователя.

Графически представленная математическая модель в виде ее структурной схемы, введенная в компьютер посредством программных средств ПК

«МВТУ», автоматически преобразуется в систему уравнений в форме Коши и решается численными методами интегрирования [6, 7].

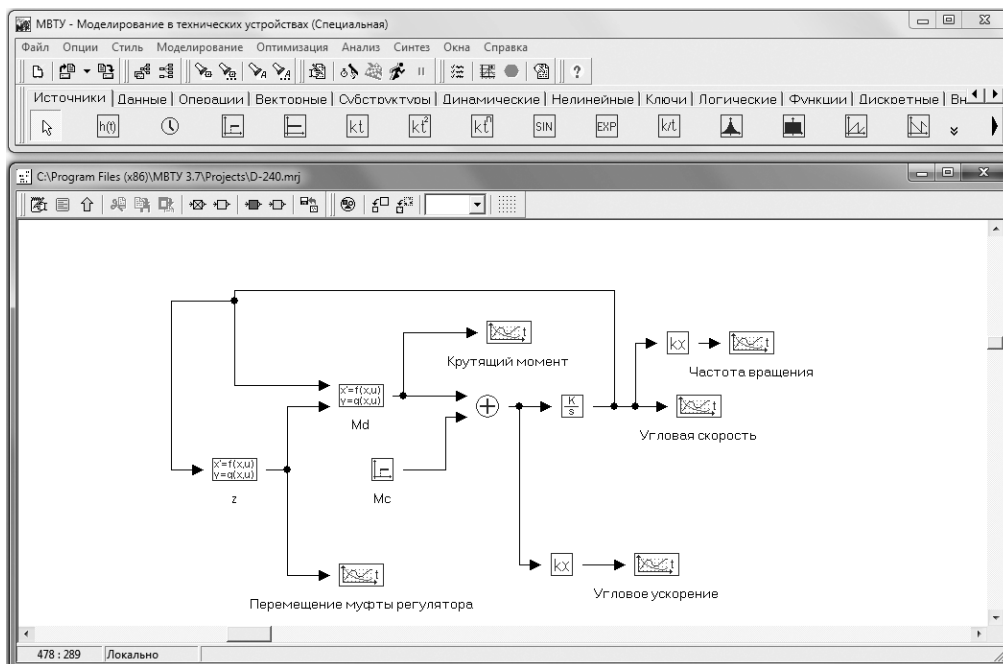


Рис. 1. Структурная схема дизельного двигателя с регулятором частоты вращения в ПК «МВТУ»

Структурная схема дизельного двигателя с регулятором частоты вращения в программном комплексе «МВТУ» представлена на рис. 1. Перемещение муфты регулятора определяется в «новом» блоке  $z$  (рис. 2) по формулам (6). Крутящий момент двигателя рассчитывается в «новом» блоке  $M_d$  (рис. 3) на основе частоты вращения и положения муфты регулятора по формуле (3). Сопротивление на коленчатом валу задается блоком «Ступенчатое воздействие»  $M_c$ . Сигналы из блоков  $M_d$  и  $M_c$  поступают на блок «сумматор», выход из которого идет на блок «интегратор». На выходе из интегратора получается угловая скорость коленвала двигателя. Этот сигнал подается на блоки  $M_d$  и  $z$ . Для расчета углового ускорения и частоты вращения используются блоки «Усилитель».

```

Редактор интерпретатора математических функций
1  input  wd;
2  init  z=-0.4;
3  z1=(1/2.5)*((0.0195+0.0011*z)*wd^2/4-257.8875-28.7*z);
4  z2=(1/2.5)*((0.0195+0.0011*z)*wd^2/4-257.8875-282*z);
5  z'=if(z,z2,z1,z1)
6  output z;

```

Рис. 2. Блок  $z$  – перемещение муфты регулятора

```

Редактор интерпретатора математических функций
1  input  wd, z;
2  Md=a0+a1*wd+a2*wd^2+a3*3.57*z+a4*wd*3.57*z+a5*(3.57*z)^2;
3  output Md;

```

Рис. 3. Блок  $M_d$  – крутящий момент двигателя

Для просмотра результатов расчета угловой скорости, частоты вращения, углового ускорения, момента двигателя, перемещения муфты регулятора используются блоки «Временной график».

Результаты расчета показателей работы двигателя Д-240 с регулятором частоты вращения показаны на рис. 4...6. В начале двигатель разгоняется без нагрузки с частоты 1625 об/мин и выходит на режим холостого хода. Затем на 5 секунде работы ступенчато увеличивается момент сопротивления. Далее двигатель работает при постоянной нагрузке.

Для решения других задач вместо блока «Ступенчатое воздействие»  $M_c$  присоединяется другой блок из библиотеки «Источники входных сигналов» или цепочка блоков, моделирующих трансмиссию трактора и т.п.

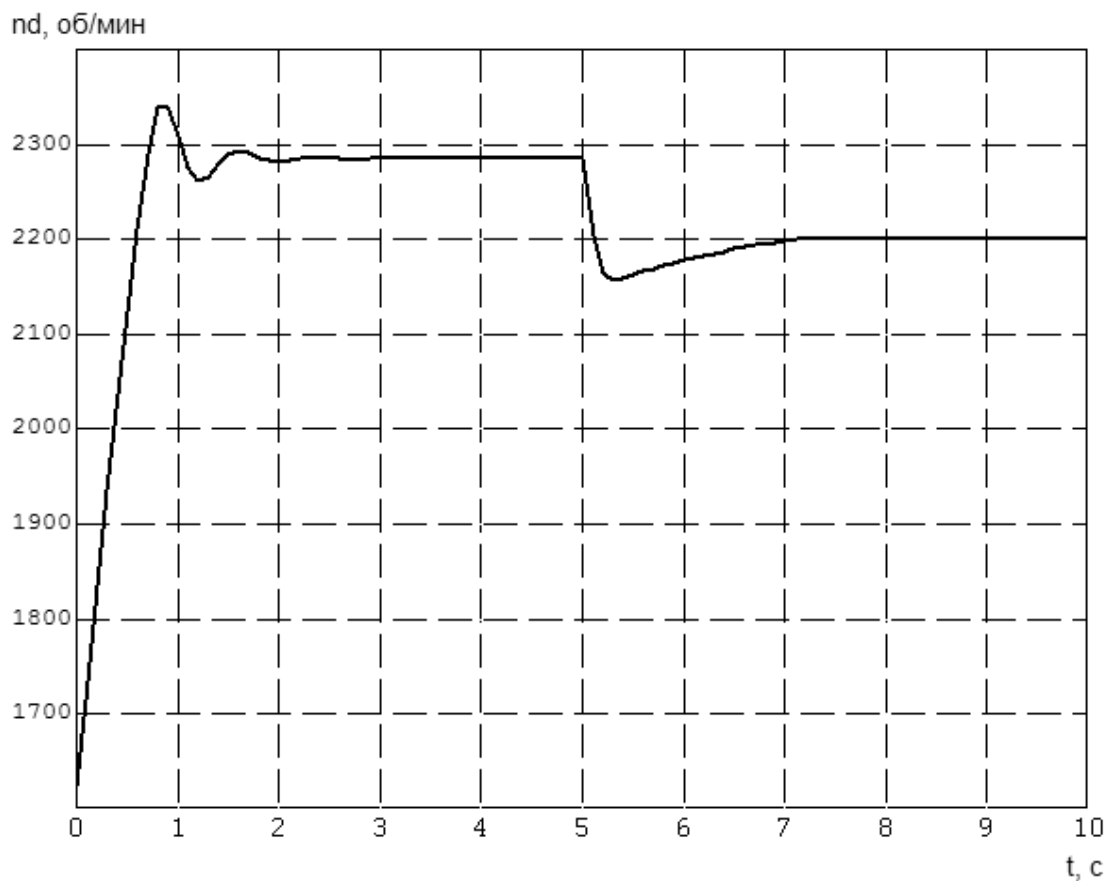


Рис. 4. Частота вращения коленчатого вала двигателя

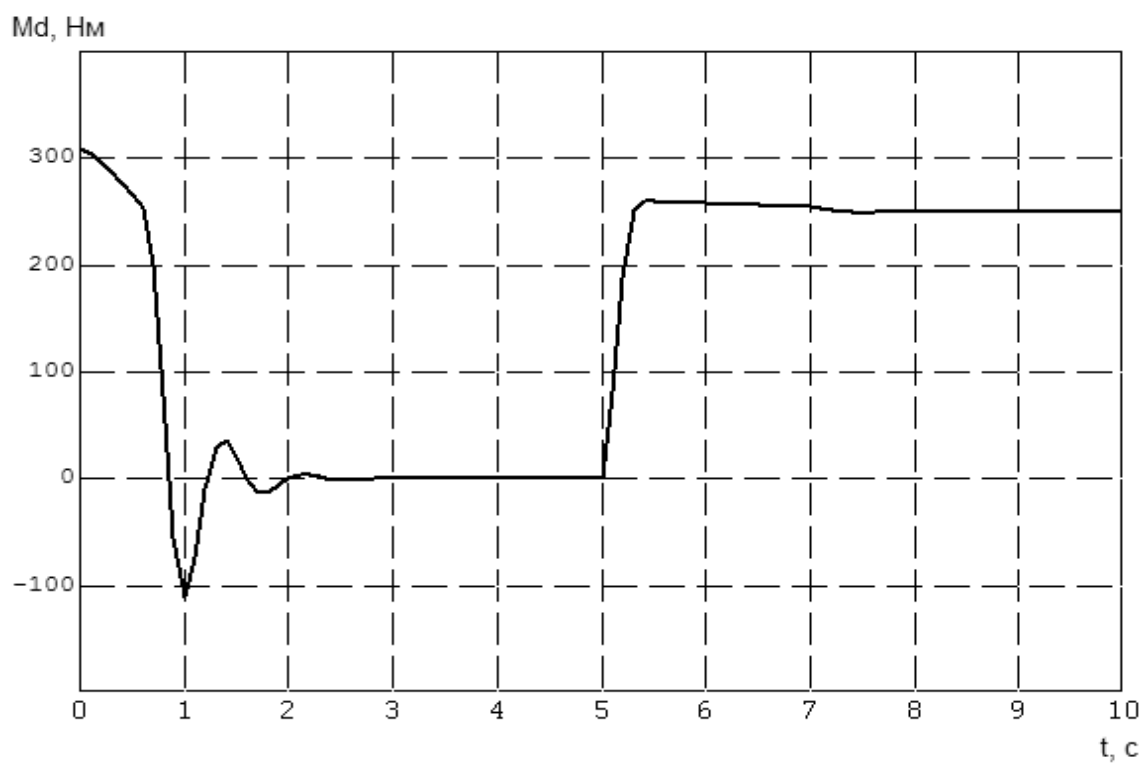


Рис. 5. Крутящий момент двигателя

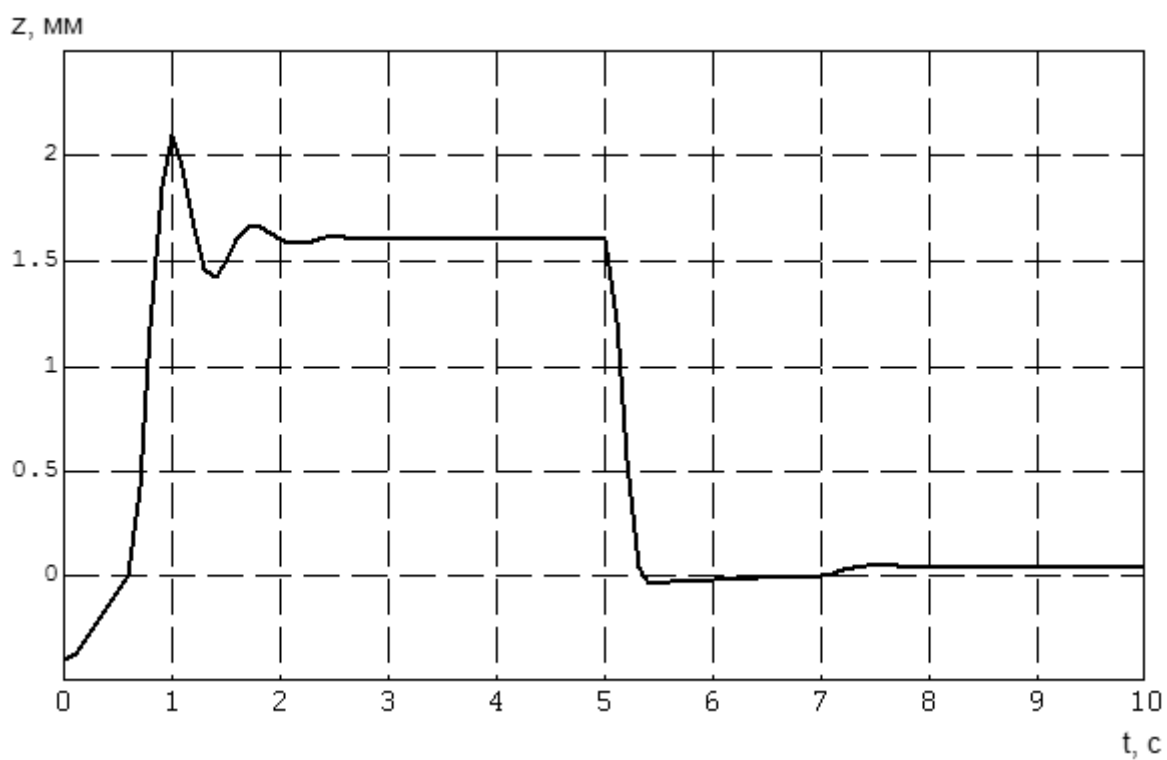


Рис. 6. Перемещение муфты регулятора

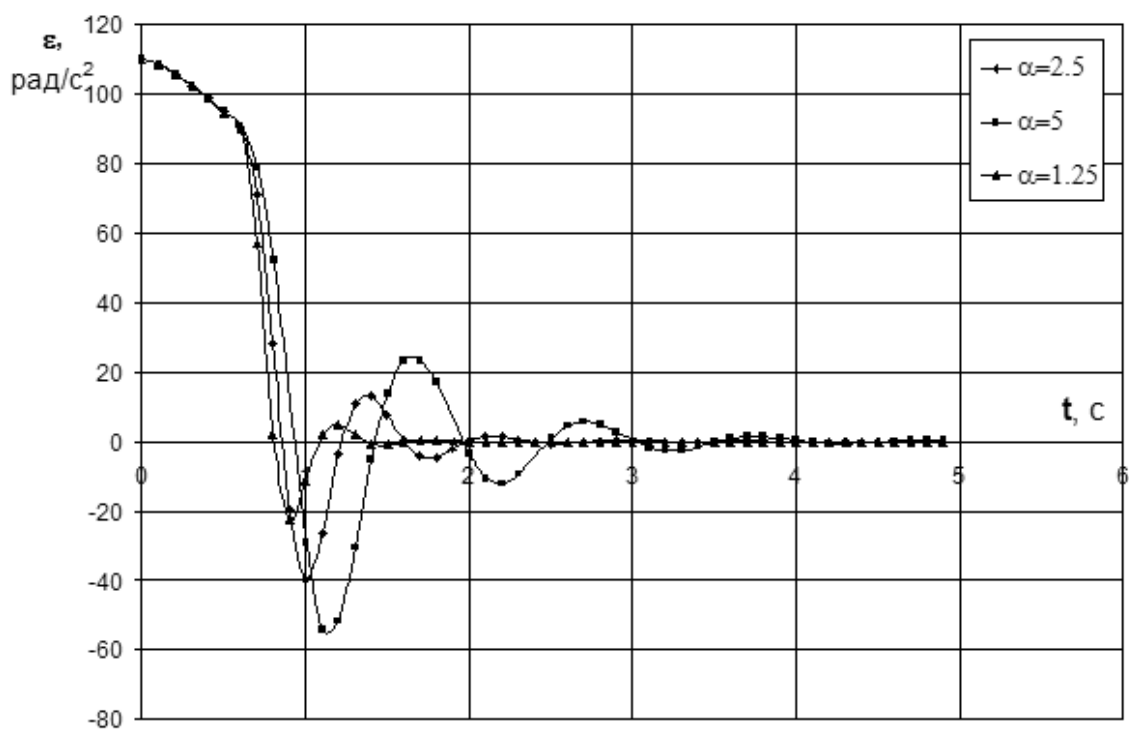


Рис. 7. Угловое ускорение коленчатого вала двигателя при различных коэффициентах вязкого трения в регуляторе

На рис. 7 показаны угловые ускорения коленчатого вала при разгоне двигателя без нагрузки для различных коэффициентов вязкого трения в регуляторе. Моделирование с использованием ПК «МВТУ» позволяет анализировать работу дизельного двигателя с регулятором на различных режимах, совершенствовать работу регулятора и т.д.

#### Список литературы

1. Кутьков Г.М. Тяговая динамика тракторов / Г.М. Кутьков – М.: Машиностроение, 1980. – 215 с.
2. Ксенович И.П. Системы автоматического управления ступенчатыми трансмиссиями тракторов / И.П. Ксенович, В.П. Тарасик – М.: Машиностроение, 1979. – 280 с., ил.
3. Тарасик В.П. Проектирование колесных тягово-транспортных машин / В.П. Тарасик – Минск.: Вышэйш. шк., 1984. – 163 с., ил.
4. Тракторы. Проектирование, конструирование и расчет. Учеб. для студентов машиностроительных специальностей вузов / Под общ. ред. И.П. Ксеновича. – М.: Машиностроение, 1991. – 544 с.: ил.
5. Пархоменко, С.Г. Совершенствование функционирования МТА с колесным трактором класса 1,4 на основе оптимизации параметров пневматических шин / Пархоменко Сергей Геннадьевич // Дисс. ... канд. техн. наук: 05.20.01 – зерноград, 1999. – 156 с.
6. Практикум по автоматике. Математическое моделирование систем автоматического регулирования/ Б.А. Карташов, А.Б. Карташов, О.С. Козлов, Г.С. Пархоменко, С.Г. Пархоменко; под ред. Б.А. Карташова. – М.: КолосС, 2004.

– 184 с.

7. Системы автоматического регулирования: практикум по математическому моделированию / Б.А. Карташов, А.Б. Карташов, О.С. Козлов, Г.С. Пархоменко, С.Г. Пархоменко; под ред. Б.А. Карташова. – Ростов н/Д: Феникс, 2015. – 458 с.

8. Пархоменко, С.Г. Параметрическая оптимизация комбинированной следяще – силовой системы автоматического регулирования пахотного агрегата / С.Г. Пархоменко, Г.Г. Пархоменко // Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства: Сборник научных докладов XVIII Международной научно-практической конференции, 23 – 24 сентября 2015 года, г. Тамбов. – Тамбов: Изд-во Першина Р.В., 2015. – С. 18-22.

9. Пархоменко, Г.С. Моделирование на ПЭВМ следящей системы с нелинейным колебательным объектом регулирования / Г.С. Пархоменко, С.Г. Пархоменко, Г.Г. Пархоменко // Матер. XLV Междунар. научно-технич. конф. ФГОУ ВПО "Челябинский государственный агроинженерный университет". – 2006. – С. 34-38.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ 3D-ОБЪЕКТА МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ**

О.С. Ситник, А.Н. Цыганков, Е.А. Дудник

*Рубцовский индустриальный институт (филиал)*

*ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет  
им. И.И. Ползунова»*

Данная статья посвящена методу получения трехмерной модели объекта с помощью лазерного сканирования. Для получения данных об объекте была разработана математическая модель. В итоге разработана программа для получения компьютерного 3D-объекта.

**Ключевые слова:** 3D -сканирование, трехмерная модель, лазер, OpenCV.

## **MODELING 3D-OBJECT BY METHOD OF LASER SCANNING**

O.S. Sitnik, A.N. Tsygankov, E.A. Dudnik

*Rubtsovsk Industrial Institute Altai State Technical named after I.I. Polzunov*

This article about the method receiving 3D model of object with using laser. For data acquisition about object was created mathematical model. The program was written in Qt Creator.

**Keywords:** 3D scanning, 3D model, laser, OpenCV.

### *Введение*

Моделирование 3D-объектов на сегодняшний момент является актуальной задачей, т.к. компьютерные модели применяются во многих областях науки и не только. Имея компьютерную модель реального объекта, можно производить различного рода опыты и испытания над объектом, также 3D-модели



используют в киноиндустрии, строительстве, горной промышленности, компьютерных играх и других областях.

Модель реального объекта можно получить различными способами, но одним из быстрых и эффективных способов является лазерное сканирование, т.к. иногда требуется получить точную копию за короткое время.

На сегодняшний момент есть много аналогов, которые успешно применяются в мире, например отечественная компания *RangeVision*, но они имеют большую стоимость, поэтому было принято решение исследовать эту область и получить более дешевый и не менее точный вариант.

#### *Методика проведения эксперимента*

Дана трехмерная сцена (рис.1) с началом координат в точке  $O(0,0,0)$ . На сцене расположен объект (Т), а также камера (С) и генератор лазерного луча (L).

Камера расположена в точке  $D(0,0,r_c)$  и направлена в точку  $O$ . Фокусное расстояние камеры равно  $f_c$ . Точка фокусировки для изображенной сцены, формируемая камерой, имеет координату  $F(0,0,f_c+r_c)$ .

Генератор луча формирует плоскость сканирования  $p(x,y,z)$  изображения, проходящую через начало координат, перпендикулярную плоскости  $OXY$ , под углом  $\varphi_p$ .

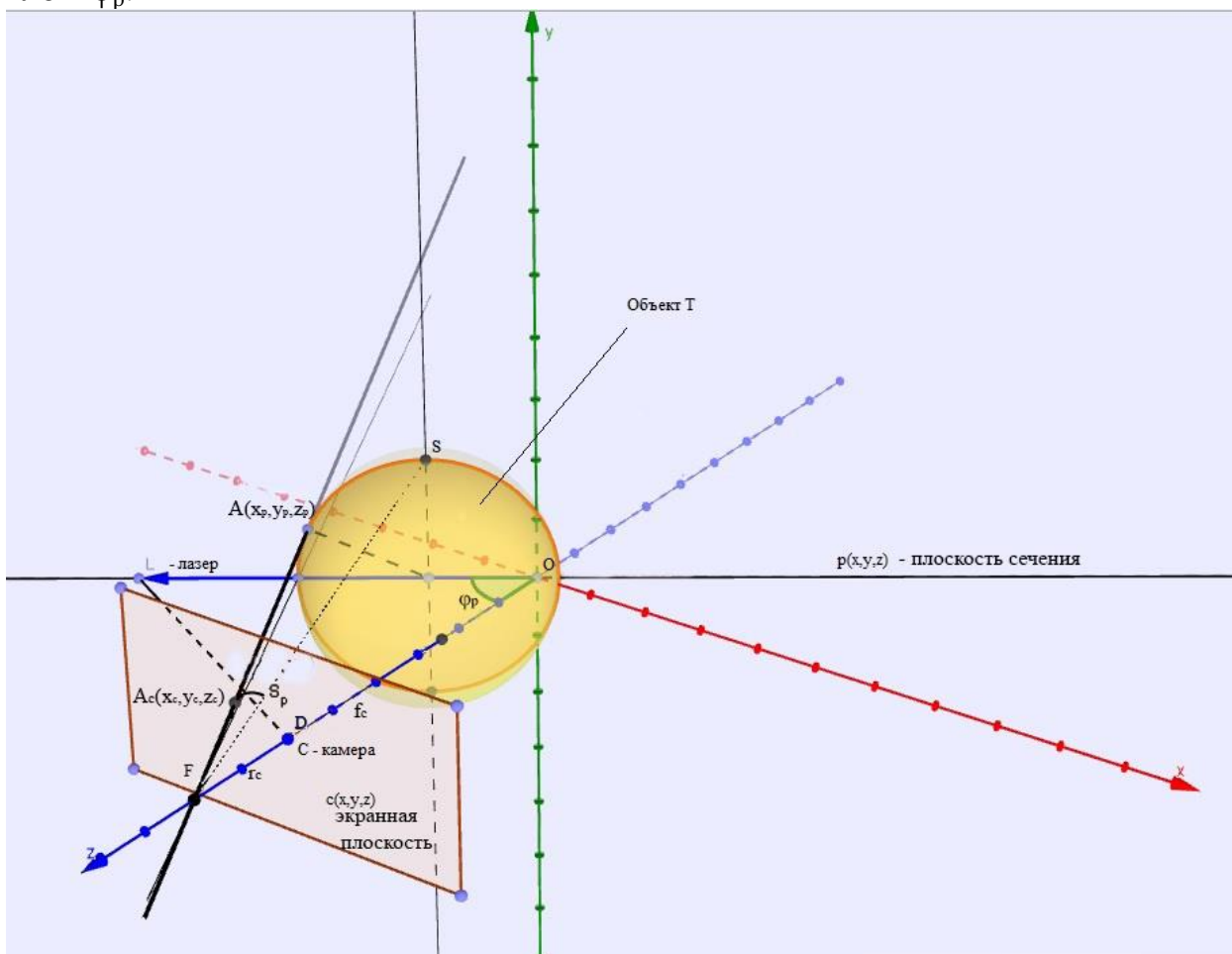


Рис. 1. Трехмерная сцена

Экранная плоскость  $s(x,y,z)$  для изображения проходит через точку  $D$ , перпендикулярно оси  $OZ$ .

Сечение объекта ( $T$ ) плоскостью сканирования  $p(x,y,z)$  формирует кривую  $S$ , изображение данной кривой на экранной плоскости  $s(x,y,z)$  дает кривую  $Sp$ .

Возьмем произвольную точку  $A(x_p, y_p, z_p) \in S$ , для нее на экранной плоскости эквивалентной точкой будет точка  $A_c(x_c, y_c, z_c)$ . Точка  $A_c$  образуется пересечением вектора и экранной плоскости  $s(x,y,z)$ .

Луч, исходящий из точки  $F$ , проходящий через плоскость  $s(x,y,z)$  в точке  $A$ , дает точку  $A_c$ .

Исходя из построения сцены, известны уравнения: экранной плоскости  $s(x,y,z)$ , плоскости сечения  $p(x,y,z)$ , координаты точек  $F$  и  $A_c$ , следовательно, можем вычислить координаты для точки  $A$ .

Плоскость сечения имеет следующую форму:

$$p(x, y, z) = a_p x + b_p y + c_p z = 0. \quad (1)$$

Плоскость изображения имеет следующую форму:

$$s(x, y, z) = a_c x + b_c y + c_c z = d. \quad (2)$$

Выведем формулы для получения координат точки  $A(x, y, z)$ :

$$S = \frac{x_1 - x}{x_1 - x_2} = \frac{y_1 - y}{y_1 - y_2} = \frac{z_1 - z}{z_1 - z_2};$$

$$S = \frac{x}{x_p} = \frac{y}{y_p} = \frac{r_c + f_c - z}{r_c + f_c - r_c};$$

$$S = 1 + \frac{r_c - z}{f_c}.$$

В итоге у нас получилась система с тремя неизвестными:

$$\begin{cases} a_p x + b_p y + c_p z = 0 \\ \frac{x}{x_p} = \frac{y}{y_p} = 1 + \frac{r_c - z}{f_c} \end{cases}. \quad (3)$$

Выразим неизвестные:

$$y = x \frac{y_p}{x_p}$$

$$z = \frac{-x f_c}{x_p} + f_c + r_c.$$

$$a_p x + b_p x \frac{y_p}{x_p} + \left( f_c + r_c - x \frac{f_c}{x_p} \right) c_p = 0.$$

$$x \left( a_p + b_p \frac{y_p}{x_p} - c_p \frac{f_c}{x_p} \right) = -c_p (f_c + r_c).$$

$$x = \frac{c_p (f_c + r_c)}{c_p \frac{f_c}{x_p} - b_p \frac{y_p}{x_p} - a_p} = \frac{x_p c_p (f_c + r_c)}{c_p f_c - x_p a_p - b_p y_p}. \quad (4)$$

$$y = \frac{y_p c_p (f_c + r_c)}{c_p f_c - x_p a_p - b_p y_p}. \quad (5)$$

$$z = f_c + r_c - \frac{f_c c_p (f_c + r_c)}{c_p f_c - x_p a_p - b_p y_p} = (f_c + r_c) \left( 1 - \frac{f_c c_p}{c_p f_c - x_p a_p - b_p y_p} \right). \quad (6)$$

Вычисление точек  $A_c(x_c, y_c, z_c)$  выполняется за счет дискретного разбиения экранной плоскости с поиском на ней точек с повышенной яркостью. Шаг разбиения зависит от физических особенностей камеры.

#### *Результаты и их обсуждение*

Для нахождения точек от лазерной линии использовалось два снимка с веб-камеры и библиотека компьютерного зрения *OpenCV*.

Путем вычитания одного снимка (рис. 2, а) из другого (рис. 2, б) получаем более выраженную линию (рис. 2, в).

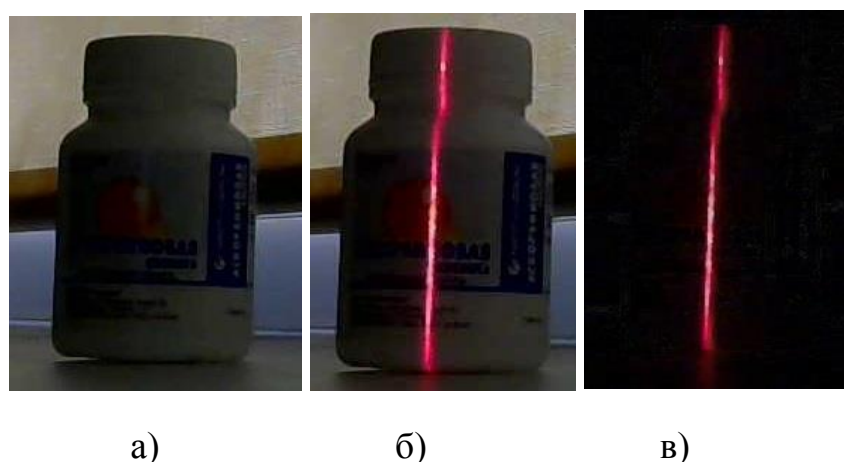


Рис. 2. Снимки с веб-камеры а) объект; б) объект с линией лазера; в) вычитание изображений объекта и объекта с линией лазера

После этого можем практически однозначно определить цвет лазера и выделить его для последующего считывания точек (рис. 3).

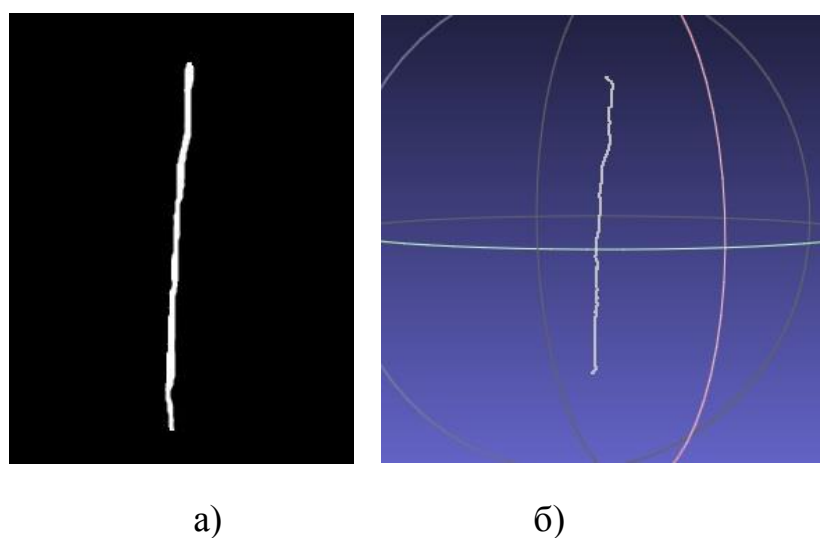


Рис. 3. Результаты работы программы: а) область лазера – выделена белым цветом; б) результат области лазера после преобразования

Методом 3D-сканирования была получена неполная 3D-модель. Можно заметить, что модель (рис. 3, б) получилась неполная и неточная, лазер имеет слишком большую ширину и объект не вращался. При расчетах были использованы константы, зависящие от конкретной веб-камеры, которые сильно влияют на получаемый результат. На данном этапе алгоритм выделения лазерной линии захватывает шумы, которые мешают расчетам, для проведения сканирования желательно иметь определенную освещенность комнаты и однотонный, желательно белый, фон.

#### *Выводы*

После проделанной работы можно сделать вывод: этот метод достоин внимания и дальнейшей работы над ним. Усовершенствование алгоритма для более точного распознавания линии лазера, добавления специальной площадки, которая будет вращать объект во время сканирования, даст полноценную 3D-модель.

#### Список литературы

1. Вежнев А., Барина О. Методы сегментации изображений: автоматическая сегментация / Графика и мультимедиа: офиц. сайт. – URL: <http://cgm.computergraphics.ru/content/view/147> (дата обращения: 25.07.2015);
2. Гонсалес Р.С., Вудс Р.Э. Цифровая обработка изображений: пер. с англ. – М.: Техносфера, 2005. – 1070 с.
3. Желтов С.Ю. и др. Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения. — М.: Физматкнига, 2010. — 672 с.
4. Тыртышников Е.Е. Матричный анализ и линейная алгебра, М., 2004-2005. – 372 с.
5. Умнов А.Е., Аналитическая геометрия и линейная алгебра: учеб. пособие / А.Е. Умнов. -3-е изд., испр. и доп. – М.:Э МФТИ, 2011. – 544с.
6. Л. Шапиро, Дж. Стокман. Компьютерное зрение = Computer Vision. — М.: Бинوم. Лаборатория знаний, 2006. — 752 с.
7. John Canny. A computational approach to edge detection // IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence. – 1986. – V. 8, № 6. – P. 679–698.
8. Otsu, N. A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. – 1979. – V. 9, № 1. – P. 62–66.

## **МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ОСНОВНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ КАСКАДНОГО ОБМЕННИКА ДАВЛЕНИЯ**

Ю.В.Сторчеус, А.А. Данилейченко, М.А. Брянцев, А.С. Ковтун  
*Луганский университет имени Владимира Даля*

В статье рассмотрен рабочий процесс каскадного обменника давления и предложена методика расчета его производительности и основных геометрических размеров для заданных параметров сжимающего газа и требуемой напорности его работы.

**Ключевые слова:** каскадный обменник давления, массообмен.

# METHODOLOGY OF CALCULATION OF THE PRODUCTIVITY AND BASIC GEOMETRICAL SIZES OF CASCADE EXCHANGER OF THE PRESSURE

Y.V. Starcheous, A.A. Danileychenko, M.A. Bryantsev, A.S.Kovtun  
*Luhansk University named after Vladimir Dahl*

In article the working process of a cascade exchanger of pressure was considered and the method of calculation of its productivity and the basic geometrical sizes for the set parameters of compressing gas and demanded pressure its works was offered.

**Key words:** cascade pressure exchanger, mass exchange.

Новое направление совершенствования теплосиловых установок широкого назначения связывается с созданием устройств каскадно-рекуперативного сжатия газоздушных сред. К разновидностям таких устройств относятся агрегаты каскадно-теплого сжатия (КТС) и каскадные обменники давления (КОД), представляющие собой принципиально новую разновидность нагнетательных устройств, основанных на прямом обмене энергией между сжимающей и сжимаемой газоздушными средами. [1].

Известные с 50-х годов прошлого столетия волновые обменники давления (ВОД), получившие ограниченное применение в системах наддува ДВС «Сотрпех» наряду с высокой скоростью обменных процессов и способностью обеспечивать удовлетворительное воздухообеспечение по скоростной характеристике работы ДВС, имеют ряд недостатков, обусловленных волновым характером обменных процессов [2-3]. Отклонения режима работы ВОД от расчетных условий по частоте вращения ротора, расходу и температуре активной среды сопровождаются резким ухудшением показателей его работы как вследствие рассогласования моментов подключения ячейки к окнам высокого давления с фазами движения первичных волн, так и вследствие увеличения неполноты вытеснения сжатого воздуха из ячеек ротора. Кроме того, неизбежные диссипативные явления в процессах формирования и взаимодействия сильных ударных волн ограничивают КПД лучших образцов ВОД на расчетных режимах значениями 0,55...0,56 [4, 5].

Рабочий цикл КОД, построенный на регенеративном использовании потенциальной энергии остаточного давления сжимающей среды для осуществления основного сжатия воздуха в процессе каскадного энергообмена с преимущественно стационарным характером прямого взаимодействия сред, отличается высоким КПД (до 85...87%), а также невысокой чувствительностью агрегата к неполноте вытеснения воздуха из ячеек ротора. Относительно невысокая частота вращения ротора КОД обуславливает существенно большую надежность и менее жесткие технологические требования к изготовлению каскадных обменников относительно турбокомпрессоров и ВОД.

Типичная конструкция обменника (рис. 1.) представляет собой ротор с продольными напоробменными ячейками, вращающийся в статоре, в одной из торцевых крышек которого (А) расположены массообменные каналы, а также окна подвода и отвода сжимающего газа, в другой (Б) – окна подвода и отвода

сжимаемого воздуха. Ротор приводится во вращение с частотой 2000...3000 мин<sup>-1</sup> при помощи электродвигателя или другого привода незначительной мощности.

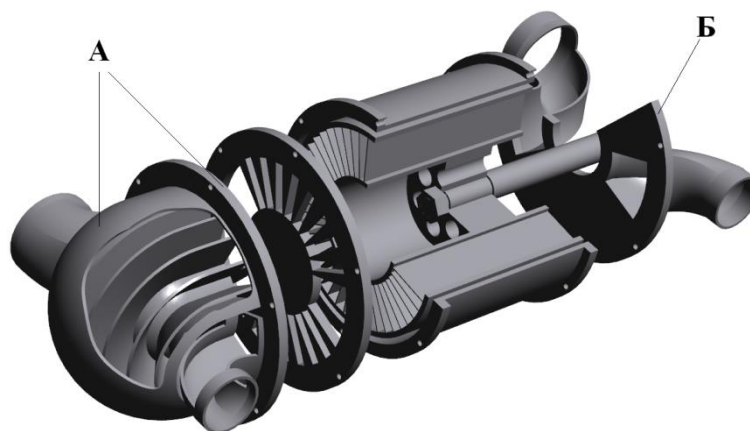


Рис. 1. Общий вид каскадного обменника давления

Принцип действия КОД иллюстрируется рис. 2, где схематизирована развертка ячеек ротора относительно газораспределительных окон и напорообменных каналов. Поступающий через окно ПВД сжимающий газ «досжимает» предварительно сжатый в ячейке воздушный заряд и вытесняет его через окно ОВД к потребителю. Потенциальная энергия сжимающего газа, заполняющего ячейку после её разобширения с окнами высокого давления, полезно расходуется на предварительное сжатие свежего заряда в ячейках в процессе каскадного массообмена через напорообменные каналы, периодически сообщающие смежные ячейки ротора участков сжатия и расширения.

Продувка ячеек свежим зарядом осуществляется принудительным вентилированием в период их подключения к окнам низкого давления (ПНД и ОНД).

Моделирование рабочего процесса КОД с достаточно высокой степенью точности может быть выполнено посредством математической модели, заимствованной из расчета ВОД. Основные положения уточненной модели подробно изложены в работе [4]. Модель основана на описании неустановившегося движения сжимаемых сред интегральными законами сохранения масс, импульсов и энергии с численным решением модернизированным методом «распад произвольного разрыва».

На этапе предварительного поиска исходных данных уточненного расчета целесообразно использование менее трудоемкого инженерного метода расчета, приемлемо отражающего основные закономерности рабочего процесса КОД.

Ниже приводятся основные положения такого расчета.

Задачей упрощенного расчета является определение производительности и основных геометрических размеров КОД для заданных параметров сжимающего газа и требуемой напорности его работы.

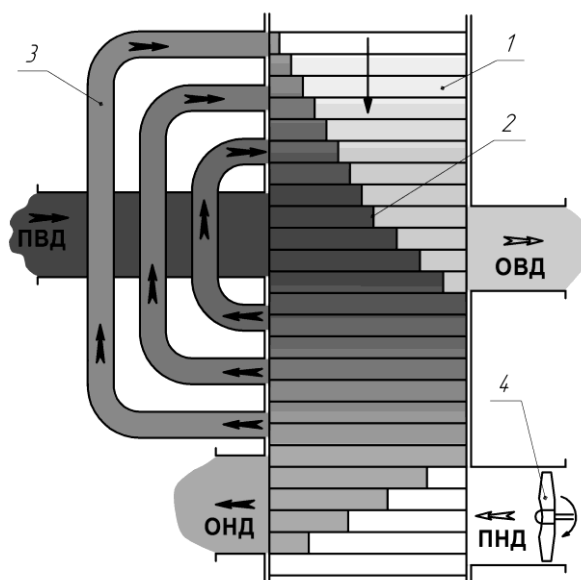


Рис. 2. Схема развертки ротора КОД относительно окон и каналов статора:  
 1 – ячейки ротора; 2 – условная контактная граница сжимающей и сжимаемой сред; 3 – массообменные каналы статора;  
 4 – продувочный вентилятор

Согласно особенностям организации рабочего процесса КОД расчет выполняется в два этапа.

На первом этапе определяется давление предварительного сжатия воздуха в ячейках в процессе каскадного массообмена.

При моделировании каскадного массообмена принимается допущение о выравнивании давлений в смежных ячейках за период их сообщения посредством соответствующих напоробменных каналов. Кроме того, полагается отсутствующим влияние теплообмена и трения газов, а также параметров состояния среды в напоробменных каналах. Последнее допущение, в свою очередь, базируется на предположении незначительности колебаний давления в напоробменных каналах на установившемся режиме работы КОД.

Для вывода расчетных уравнений рассмотрим произвольную пару смежных ячеек в процессе их сообщения с напоробменным каналом (рис. 3). В момент, предшествующий их сообщению с напоробменным каналом, в ячейке 1 участка предварительного сжатия (поз. А) в объеме  $V_{g_i}$  содержится недорасширенный сжимающий газ и в объеме  $V_{air_i}$  – сжимаемый воздух с общим давлением  $P_i^c$ .

Смежная ячейка 2, расположенная на участке расширения в идеализированном цикле (по условию полного вытеснения сжатого воздуха в контуре высокого давления) заполнена расширяющимися газами с давлением  $P_i^e$ .

В результате сообщения ячеек 1 и 2 посредством канала 3 в ячейках 1 и 2 устанавливается общее давление  $P'_i$  (поз. В).

Очевидно, что работа расширения газов в ячейке 2 расходуется на сжатие рабочего тела в ячейке 1  $L_e = L_c$ .

Тогда, используя известное выражение работы идеального газа в адиабатическом процессе, можно записать:

$$\frac{k_g}{k_g - 1} \cdot P_i^e \cdot V_{cl} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{P'_i}{P_i^e} \right)^{\frac{k_g - 1}{k_g}} \right] =$$

$$= P_i^c \left( \frac{k_g}{k_g - 1} \cdot V_{gi} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{P'_i}{P_i^c} \right)^{\frac{k_g - 1}{k_g}} \right] + \frac{k_{air}}{k_{air} - 1} \cdot V_{airi} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{P'_i}{P_i^c} \right)^{\frac{k_{air} - 1}{k_{air}}} \right] \right),$$

где  $k_g$  – показатель адиабаты сжимающего газа;

$k_{air}$  – показатель адиабаты сжимаемого воздуха.

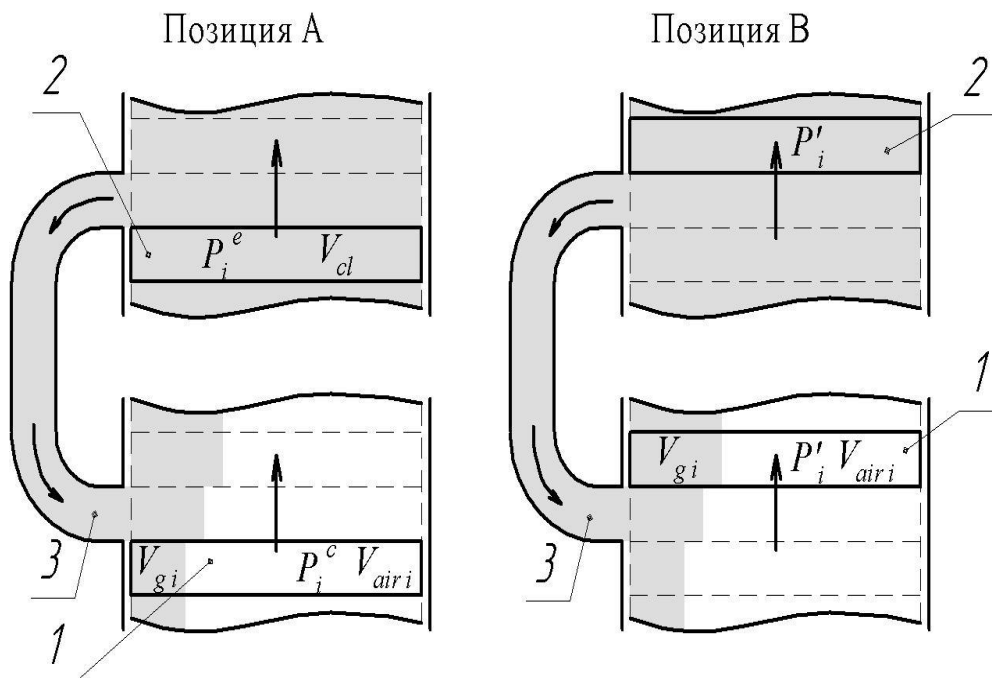


Рис. 3. Расчетная схема процесса одной ступени каскадного массообмена  
 1 – ячейка участка сжатия; 2 – ячейка участка расширения;  
 3 – массообменный канал статора



Составляя аналогичные уравнения для всех пар смежных ячеек каскадного массообмена легко получить приведенную ниже систему:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \frac{k_g}{k_g - 1} \cdot P_1^e \cdot \left[ 1 - \left( \frac{P'_i}{P_1^e} \right)^{\frac{k_g - 1}{k_g}} \right] = \frac{k_c}{k_c - 1} \cdot P_1^c \cdot \left[ \left( \frac{P'_1}{P_1^c} \right)^{\frac{k_{air} - 1}{k_{air}}} - 1 \right] \\
 \dots \\
 \frac{k_g}{k_g - 1} \cdot P_i^e \cdot \left[ 1 - \left( \frac{P'_i}{P_i^e} \right)^{\frac{k_g - 1}{k_g}} \right] = \\
 = P_i^c \cdot \left\{ \frac{k_g}{k_g - 1} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{P_a}{P'_i} \right)^{\frac{1}{k_{air}}} \right] \cdot \left[ \left( \frac{P'_i}{P_i^c} \right)^{\frac{k_g - 1}{k_g}} - 1 \right] + \frac{k_{air}}{k_{air} - 1} \cdot \left( \frac{P_a}{P'_i} \right)^{\frac{1}{k_c}} \cdot \left[ \left( \frac{P'_i}{P_i^c} \right)^{\frac{k_{air} - 1}{k_{air}}} - 1 \right] \right\} \\
 \dots \\
 \frac{k_g}{k_g - 1} \cdot P_{Zk}^e \cdot \left[ 1 - \left( \frac{P'_{Zk}}{P_{Zk}^e} \right)^{\frac{k_g - 1}{k_g}} \right] = \\
 = P_{Zk}^c \cdot \left\{ \frac{k_g}{k_g - 1} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{P_a}{P'_{Zk}} \right)^{\frac{1}{k_{air}}} \right] \cdot \left[ \left( \frac{P'_{Zk}}{P_{Zk}^c} \right)^{\frac{k_g - 1}{k_g}} - 1 \right] + \frac{k_c}{k_c - 1} \cdot \left( \frac{P_a}{P'_{Zk}} \right)^{\frac{1}{k_{air}}} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{P'_{Zk}}{P_{Zk}^c} \right)^{\frac{k_{air} - 1}{k_{air}}} \right] \right\}, \quad (1)
 \end{array} \right.$$

где  $i=1...Z_k$  – номер напоробменного канала, сообщающего рассматриваемую пару смежных ячеек;

$P_1^c = P_a$  – давление в ячейке в конце процесса наполнения;

$P'_i = P_r$  – остаточное давление газов в ячейке в момент, предшествующий сообщению с окном ГНД;

$P_{Zk}^e = P_k$  – давление в ячейке после разобшения ее с окном ВВД;

$P_{Zk}^c = P_c$  – давление в ячейке в момент, предшествующий сообщению ее с окном ГВД (т.н. давление предварительного сжатия).

Решение системы уравнений (1) позволяет определить численное значение  $P_c$ .

На втором этапе расчета находятся размеры окон высокого давления и параметры рабочих сред в сечениях этих окон.

Сечение окна ГВД рассчитывается из условия реализации заданного расхода активной среды. При этом следует иметь в виду, что в начальный период сообщения ячейки с окном ГВД часть активной среды расходуется на досжатие рабочего тела в ячейке до уровня давления в окне ВВД. Таким образом, контур окна ГВД условно можно разделить на два сегмента, первый из которых (сегмент А рис. 4) охватывает участок досжатия рабочего тела в ячейке, и второй (сегмент В) – вытеснение воздуха через окно ВВД к потребителю.

Для определения соответствующих затрат активной среды на досжатие  $G_{g1A}$  и вытеснение  $G_{g1B}$  (рис. 4) обратимся к следующим преобразованиям.

Масса активной среды, поступающей в одну ячейку в процессе предварительного поджата  $m_A$ , определяется выражением:

$$m_A = \frac{V_{cl}}{R_g \cdot T_{g1}} \left[ \frac{P_{air2}}{\left(\frac{P_{air2}}{P_{g1}}\right)^{\frac{k_g-1}{k_g}}} \cdot \left(1 - \left(\frac{P_a}{P_{air2}}\right)^{\frac{1}{k_{air}}}\right) - \frac{P_c}{\left(\frac{P_c}{P_{air2}}\right)^{\frac{k_g-1}{k_g}}} \cdot \left(1 - \left(\frac{P_a}{P_c}\right)^{\frac{1}{k_{air}}}\right) \right] \quad (2)$$

Масса активной среды, поступающей в ячейку в процессе вытеснения воздушного заряда сжатого воздуха к потребителю  $m_B$ , зависит от последовательности разобщения ячейки с окнами высокого давления.

В случае первичного разобщения ячейки с окном ВВД в ячейке устанавливается давление, близкое значению  $P_{g1}$ , в случае первичного разобщения ячейки с окном ГВД – близкое к значению  $P_{air2}$ . Например, для последнего условия искомая масса  $m_B$  при рассмотрении идеального цикла КОД может быть представлена в виде:

$$m_B = \frac{V_{cl}}{R_g \cdot T_{g1}} \cdot \frac{P_{air2}}{\left(\frac{P_{air2}}{P_{g1}}\right)^{\frac{k_g-1}{k_g}}} \cdot \left(\frac{P_a}{P_{air2}}\right)^{\frac{1}{k_{air}}} \quad (3)$$

Имея в виду  $\frac{G_{g1A}}{G_{g1B}} = \frac{m_A}{m_B}$ , а также (2) и (3), получим соотношение:



В рамках инженерного расчета допустимым упрощением является представление средней скорости потока в сегменте “А” следующей зависимостью для стационарного истечения:

$$U_{1A} = \sqrt{2 \cdot R_g \cdot T_{g1} \cdot \frac{k_{g1}}{k_{g1} - 1} \left[ 1 - \left( \frac{P_m}{P_{g1}} \right)^{\frac{k_g}{k_{g1} - 1}} \right]},$$

где  $P_m = (P_{air2} + P_c) / 2$  – среднее линеаризованное давление в ячейке в процессе «досжатия».

Проходное сечение сегмента “А” окна ГВД определяется по формуле:

$$F_{1A} = \frac{G_{g1A}}{U_{1A}} \cdot \frac{R_g \cdot T_{air2} \left( \frac{P_m}{P_{g1}} \right)^{\frac{k_g - 1}{k_g}}}{P_m}.$$

Определение расходов рабочих сред в граничных сечениях ячейки ротора на участке вытеснения сжатого воздуха к потребителю базируется на допущении об одномерности течений в окне ВВД и сегменте “В” окна ГВД.

Следует заметить, что с точки зрения оценки кинематических характеристик движения рабочих тел в ячейке на участке стационарного течения с определенной степенью упрощения возможно рассмотрение неоднородных газов в ячейке как однородного.

Отмеченное обуславливает возможность использования известных уравнений, описывающих установившееся движение газа в канале с трением для заданного отношения давлений на входе и выходе в граничных сечениях

$$\frac{P_{g1}}{P_{air2}} \quad [6].$$

Записанные с помощью известных газодинамических функций  $q(\lambda)$ ,  $y(\lambda)$  уравнения неразрывности и движения имеют вид:

$$\frac{P_{01} \cdot f_1 \cdot q(\lambda_1)}{\sqrt{T_{01}}} = \frac{P_2 \cdot f_2 \cdot y(\lambda_2)}{\sqrt{T_{02}}}, \quad (4)$$

$$\left( \frac{1}{\lambda_1^2} + 2 \cdot \ln(\lambda_1) \right) - \left( \frac{1}{\lambda_2^2} + 2 \cdot \ln(\lambda_2) \right) = \chi, \quad (5)$$

здесь  $P_{01} = P_{g1}$  и  $P_2 = P_{air2}$ ,  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  – полное давление и коэффициенты скорости соответственно в граничных сечениях ячейки;  $f_1$  и  $f_2$  – площадь входного и выходного сечений ячейки;  $\chi = \frac{2 \cdot k_g}{k_g + 1} \cdot \xi \frac{L_R}{d_r}$  – приведенная длина

канала, где  $\xi$  – коэффициент трения;  $d_r$  – приведенный диаметр ячейки;  $L_R$  – длина ячейки ротора.

Для адиабатического течения однородного газа в канале постоянного сечения  $T_{01} = T_{02}$  и  $f_1 = f_2$  уравнение (4) сводится к виду:

$$y(\lambda_2) = \frac{P_{01}}{P_2} \cdot q(\lambda_1). \quad (6)$$

Решением системы уравнений (5) и (6) находятся коэффициенты скорости  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  в граничных сечениях ячейки. Принятое выше допущение об одномерности течений в окне ВВД и сегменте “В” окна ГВД, по существу, отражает условие стационарности и идентичности параметров течения во всех ячейках на участке вытеснения сжатого воздуха к потребителю. Для определения параметров потока в окнах высокого давления по найденным значениям  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  в граничных сечениях ячеек, в рамках упрощенного расчета, дополнительно пренебрегаем потерями, связанными с: 1) расширением живого сечения потока ввиду загромождения окна ВВД радиальными перемычками ячеек; 2) возможными отрывными явлениями при повороте вектора абсолютной скорости потока во входных участках ячеек в процессе вращения ротора.

Таким образом, абсолютные скорости рабочих сред в сегменте “В” окна ГВД и окне ВВД определяются по формулам:

$$U_{1B} = \frac{\lambda_1}{1 + \Theta} \sqrt{\frac{k_g}{k_g - 1} R_g T_{g1}} \quad \text{и} \quad U_2 = \frac{\lambda_2}{1 + \Theta} \sqrt{\frac{k_g}{k_g - 1} R_g T_{g1}},$$

где  $\Theta$  – относительная степень загромождения окна радиальными перемычками между ячейками.

Площадь проходного сечения сегмента “В” окна ГВД:

$$F_{1B} = \frac{G_{g1B} \cdot R_g \cdot T_{g1}}{U_{1B} \cdot P_{g1}}.$$

Минимальный угловой размер сегмента “В” окна ГВД определяется условием размещения в створке окна не меньше 3...4 ячеек ротора с целью минимизации зоны перемешивания сжимающей и сжимаемой сред.

В свою очередь угол раскрытия окна ВВД  $\varphi_2$  примерно соответствует значению  $\varphi_{1B}$  ввиду целесообразности исключения обратных течений рабочей среды в выходных сечениях ячеек в зоне их взаимодействия с окнами высокого давления. Таким образом:

$$F_2 \approx F_{1B}.$$

Производительность КОД может быть найдена по формуле:

$$G_{air2} = U_2 \cdot \frac{P_{air2}}{R_{air} \cdot T_{air2}} \cdot F_2.$$

Геометрические размеры ротора выбираются из условия соответствия массовой пропускной способности ротора расходу сжатого воздуха в окне ВВД

$$k \cdot f_{\Sigma} \cdot L_R \cdot \frac{P_{air2}}{R_{air} \cdot T_{air2}} \cdot \frac{n_R}{60} = G_{air2},$$

где  $k = 0,7 \dots 0,9$  – коэффициент полноты вытеснения сжатого воздуха из ячеек ротора;  $f_{\Sigma}$  – суммарная площадь проходных сечений ячеек ротора;  $n_R$  – частота вращения ротора КОД;  $L_R$  – длина ротора.

С учетом взаимосвязи между осевым размером ротора  $L_R$  с угловым размером окна ВВД  $\varphi_2$  и частотой вращения ротора  $n_R$ , имея в виду  $f_{\Sigma} = 360 \cdot F_2 / \varphi_2$ , например, можно записать:

$$L_R = \varphi_2 \cdot \frac{G_{air2} \cdot R_{air} \cdot T_a}{60 \cdot n_R \cdot P_a \cdot F_2} \cdot$$

Доводочные испытания опытной установки КОД в составе системы наддува двигателя 6ЧН12/14 подтвердили приемлемую точность выбора основных размерных соотношений использованием приведенной методики по критерию реализации напорности и производительности обменника. На режиме номинальных параметров сжимающего газа ( $n_R = 2800 \text{ мин}^{-1}$ ) расход нагнетаемого воздуха отличается от расчетного в сторону меньших значений на 5...7%, что связано с пренебрежением теплообмена и утечек рабочего тела через зазоры торцевых сопряжений ротора.

#### Список литературы

1. Крайнюк, А.И., Крайнюк, А.А. Каскадный обменник давления/ Крайнюк А.И., Крайнюк А.А. Патент UA №77261, F02B 33/00, опубл. 15.11.2006, Бюл.11.
2. Myslowski J. Doladowanie silnikow spalnowych typu Comprex // Politehnika Szczecinska. - Szczecin, - 1991.
3. Mystowski J. Dotadowanie silnikow // Wydawnictwa komunikacji i lacznosco. – Warszawa, - 2002, - 174 p.
4. Крайнюк, А.И., Сторчеус, Ю.В. Системы газодинамического наддува/ Крайнюк А.И., Сторчеус Ю.В. Монография. Луганск: Изд-во Восточноукр.гос.ун-та, 2000. 224 с.
5. Крайнюк, А. И., Крайнюк, А.А. Особенности организации рабочего процесса агрегатов каскадного сжатия и некоторых направлений их применения/ Крайнюк, А. И., Крайнюк, А.А. Луганск: Весник Восточноукр. нац. ун-та имени Владимира Даля. 2005. № 8(90). С. 169-173.
6. Абрамович, Г.Н. Прикладная газовая динамика/ Абрамович Г.Н. М.: Наука, 1969. 824с.

## КОНСТРУКТОРСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ МИКРОСБОРОК С УЧЕТОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Р.Г. Фэйсал, О.Ш. Хади, В.Я. Баннов, А.Н. Литвинов

*Пензенский государственный университет*

**Аннотация:** В статье рассматриваются вопросы анализа конструкций микросборок замкнутого типа, имеющих прямоугольную форму и подверженных действию внешнего избыточного давления. Выполнено математическое моделирование напряженно-деформированного состояния корпуса микросборки и ее структуры. Даны рекомендации по

оптимальному проектированию микросборок рассматриваемого типа с использованием метода конечных элементов (пакет прикладных программ ANSYS).

**Ключевые слова:** микросборка, гетерогенная структура, плата, давление, моделирование напряженно-деформированного состояния, проектирование.

## CONSTRUCTION MICROASSEMBLAGES DESIGN TAKING INTO ACCOUNT TECHNOLOGICAL EFFECTS

R.Gh. Faysal, A.Sh. Hadi, V.Y. Bannov, A.N. Litvinov.

*Penza State University*

**Abstract:** The article deals with the analysis of structures microassemblages closed type, having a rectangular shape and subjected to the action of external overpressure. Mathematical modeling of the stress-strain state of the body and its micro-structure was performed. The given recommendations for optimal design of micro assembly of this type using the finite element method (software package ANSYS).

**Keywords:** microassembly, heterogeneous structure, board, pressure, modeling of stress-strain state, design.

Одной из важнейших задач развития научных основ конструирования и технологии изготовления изделий различного назначения является создание адекватных математических моделей, описывающих поведение и состояние конструкций и их отдельных элементов в процессе их производства, испытаний, транспортировки, хранения и эксплуатации.

В радиоэлектронике широкое применение имеют микросборки различного назначения, выполненные в виде полого прямоугольного корпуса, внутри которого на одной или нескольких гранях размещаются платы и резистивные элементы, обеспечивающие требуемые выходные параметры микросборки. К таким микросборкам можно отнести микросхемы, датчики для измерения давления и др. Для проверки герметичности при изготовлении они подвергаются технологической опрессовке внешним избыточным давлением, под действием которого происходит деформация граней корпуса и плат с резистивными элементами, что вызывает изменение их выходных электропараметров. Величина этого давления устанавливается в конструкторской документации либо назначается технологической службой, причем очень часто без предварительного анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) микросборки и её элементов. Это в ряде случаев приводит к возникновению пластических деформаций граней корпуса, его короблению, а также растрескиванию плат уже на стадии изготовления микросборки. Наличие пластических деформаций приводит к отказам или нарушению работоспособности микросборок в процессе воздействия на них внешних эксплуатационных нагрузок [1].

Нарастающая сложность конструкций изделий различного назначения приводит к серьезным экономическим потерям в производстве и эксплуатации [2]. Анализ отказов изделий и их составных частей позволяет утверждать, что одной из основных причин снижения их надежности, полных или частичных отказов являются процессы, происходящие в соединениях разнородных материалов под действием внешних и внутренних дестабилизирующих

факторов. При этом основными являются статические, динамические и тепловые воздействия, возникающие на всех стадиях жизненного цикла изделия: технологические операции в производстве, испытания, хранение, транспортировка и эксплуатация [3].

Анализ конструктивных особенностей современных изделий приборостроения и их составных частей показывает, что большинство из них предоставляет собой гетерогенные структуры, сочетающие в себе материалы с различными физико-механическими свойствами, обеспечивающими требуемую надежность и безопасность изделия в заданных режимах эксплуатации [4]. Для исследования процессов, происходящих в структурах этих изделий под действием внешних факторов, необходима разработка математических моделей и комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительных экспериментов, позволяющих адекватно описывать НДС микросборки и её элементов на всех этапах их жизненного цикла.

Рассмотрим это на примере микросборок прямоугольного типа, имеющих широкое практическое применение в приборостроении и изделиях радиоэлектроники. Моделирование НДС таких структур является достаточно сложной задачей, поэтому для анализа их НДС обычно используют приближенные методы [5], которые часто не вполне адекватно описывают НДС элементов реальной конструкции в условиях внешних воздействий.

На рис. 1 показана типовая конструкция полой микросборки прямоугольного типа с платой, которая связана с основанием клеевыми или паяными швами. Замкнутый прямоугольный корпус с размерами  $2a \times 2b \times H$  подвергается воздействию внешнего избыточного давления  $p$ .

В работе [5] показано, что наиболее нагруженным элементом корпуса при действии внешнего давления является крышка, где при опрессовке могут образовываться пластические деформации. Предложен приближенный метод расчета предельно допустимого давления опрессовки  $p_*$ , который не учитывает взаимного влияния граней корпуса на их НДС. В соответствии с этим методом  $p_*$  определяется соотношением

$$p_* = 2\sigma_m \gamma \left(\frac{h}{2b}\right)^2, \quad (1)$$

где:  $\sigma_m$  - предел текучести материала крышки;  $h$  - её минимальная толщина;  $\gamma$  - безразмерный коэффициент, величина которого зависит от отношения  $a/b \geq 1$ .

Здесь  $2a \times 2b$  - размеры крышки в плане по осям  $x, z$  (рис. 1).

Для оценки точности приближенного метода определения предельно допустимого внешнего давления нами был проведен численный анализ НДС различных типоразмеров корпусов микросборок с использованием программного комплекса ANSYS, основанного на методе конечных элементов. В качестве основных выходных параметров приняты:

- $max W$  - максимальный прогиб в центре крышки корпуса (мм);
- $\sigma_{экв}$  - максимальные эквивалентные напряжения в крышке, рассчитанные по критерию Мизеса (МПа).



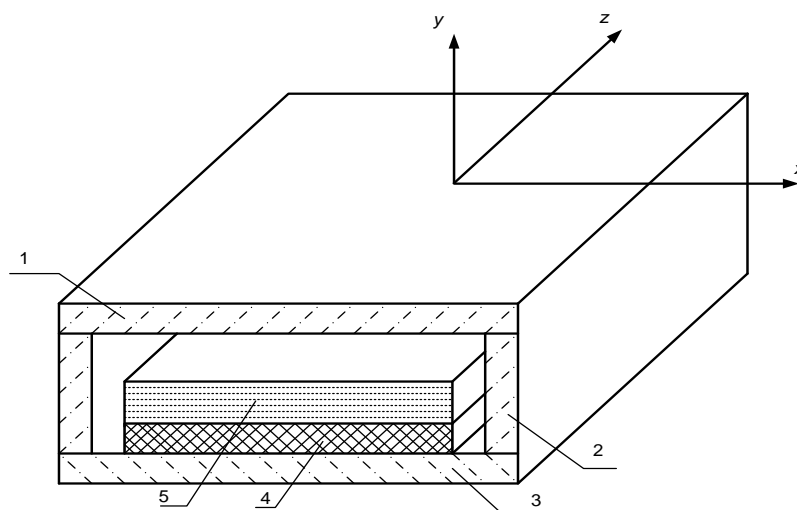


Рис. 1. Корпус микросборки:  
1-крышка, 2-стенка, 3-основание, 4-клеевой шов , 5- плата

Для удобства численного анализа введены параметры:

$\max \bar{W} = \max W/p$  и  $\bar{\sigma}_{экр} = \sigma_{экр}/p$ , где  $p$  - внешнее давление опрессовки (МПа).

В этом случае предельное давление опрессовки  $p_*$ , соответствующее началу образования пластической деформации в наиболее нагруженных зонах крышки, определяется выражением

$$p_* = \sigma_m / \bar{\sigma}_{экр}, \quad (2)$$

где  $\bar{\sigma}_{экр}$  - безразмерная функция параметров, зависящая от их материалов и геометрических размеров:  $a; b; H$ - высота корпуса;  $h_k, h_o, h_c$  -толщины крышки, основания и стенок соответственно.

В качестве примера приведем некоторые результаты численного моделирования НДС элементов микросборки при действии избыточного внешнего давления  $p$ .

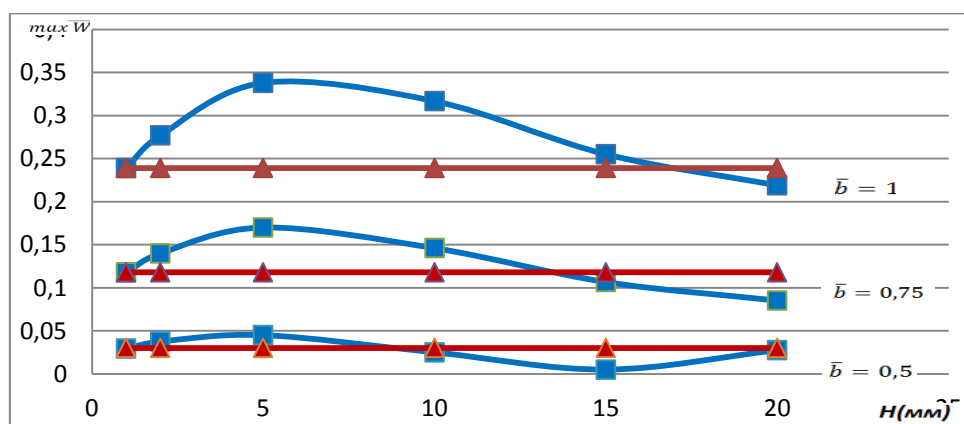
На рис. 2-3 представлены некоторые результаты исследований для корпусов, изготовленных из сплава 29НЖ при  $h_k=h_o=0,4$  мм и  $a=10$  мм для различных значений  $H$  при  $\bar{h} = h_c/h_k$ ;  $\bar{b} = b/a$ .

Анализ полученных результатов показывает, что НДС крышки существенно зависит от жесткостей боковых стенок и применение приближенного метода возможно при достаточно существенных ограничениях. В частности, расчет максимальных прогибов крышки ( $\max W$ ) по приближенному методу может давать как верхнюю, так и нижнюю оценку в зависимости от жесткости боковых стенок, соотношения сторон ( $b/a$ ) и высоты корпуса (рис. 2), что связано с взаимным влиянием граней корпуса на их НДС.

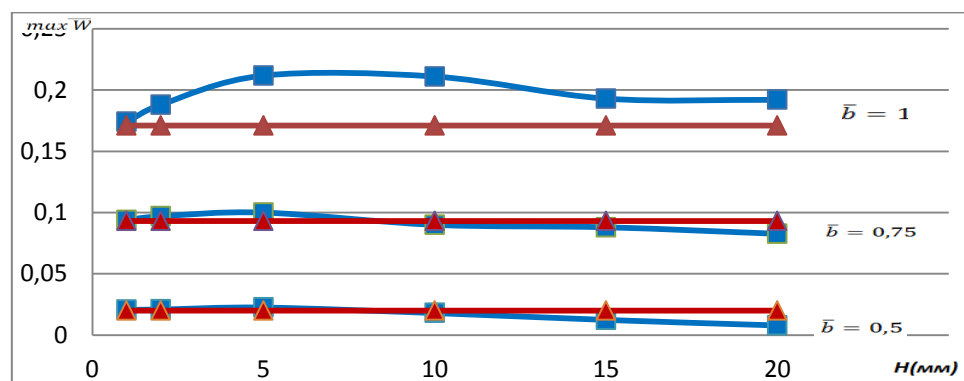
Анализ проведенных исследований показывает, что с погрешностью не более 10% величину максимального прогиба крышки можно оценивать по приближенному методу [5] для корпусов, у которых выполняется условие

$H/2a < 0,25$ . Погрешность расчета уменьшается при возрастании параметра  $\bar{h}$ , т.к. в этом случае жесткость боковых стенок увеличивается и взаимное влияние граней на НДС крышки уменьшается.

Результаты, представленные на рис. 3, показывают, что приближенный метод в зависимости от параметров  $\bar{h}$  и  $\bar{b}$  дает для  $\bar{\sigma}_{экр}$  и, соответственно, для предельно допустимого значения давления опрессовки  $p_*$  либо верхнюю, либо нижнюю оценку, что также объясняется взаимным влиянием граней на НДС крышки корпуса микросборки.



а)



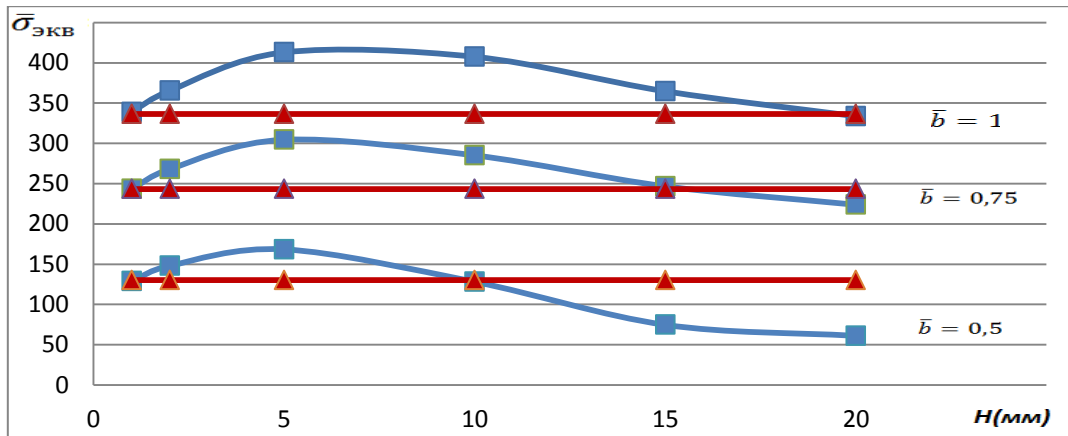
б)

Рис. 2. Максимальный прогиб крышки микросборки:

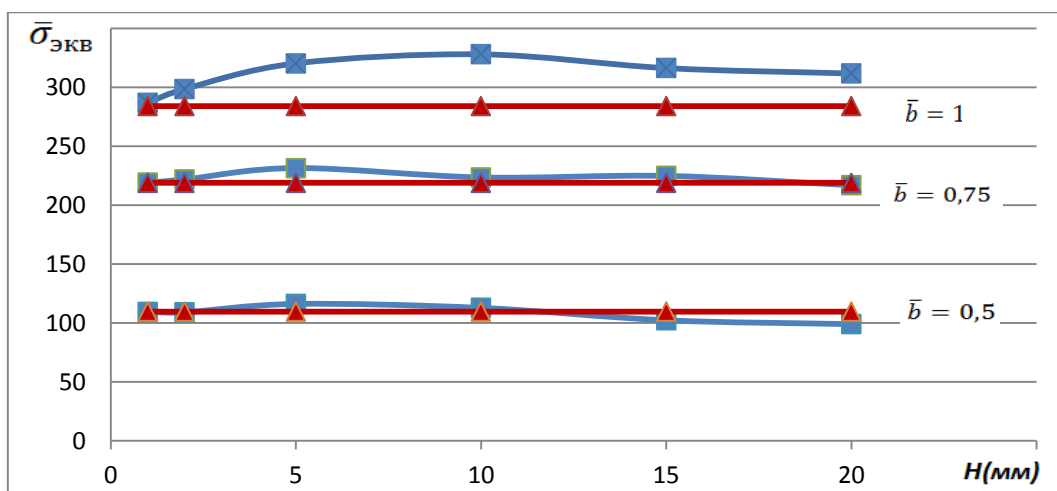
—▲— приближенный метод; —■— точный метод; а) при  $\bar{h} = 1$ ; б) при  $\bar{h} = 2$

Из анализа проведенных численных исследований следует, что с погрешностью не более 10% предельное значение давления опрессовки  $p_*$  можно определять приближенным методом по формуле (1) при выполнении условий  $H/2a \leq 0,25$  и  $\bar{h} < 2$ . При этом так как  $\bar{\sigma}_{экр}$ , определенное приближенным методом, дает оценку снизу, то при вычислении предельного значения давления опрессовки (2)  $p_*$  получим оценку сверху, что является достаточно удобным для практических инженерных расчетов предельно допустимого давления опрессовки корпусов микросборки.

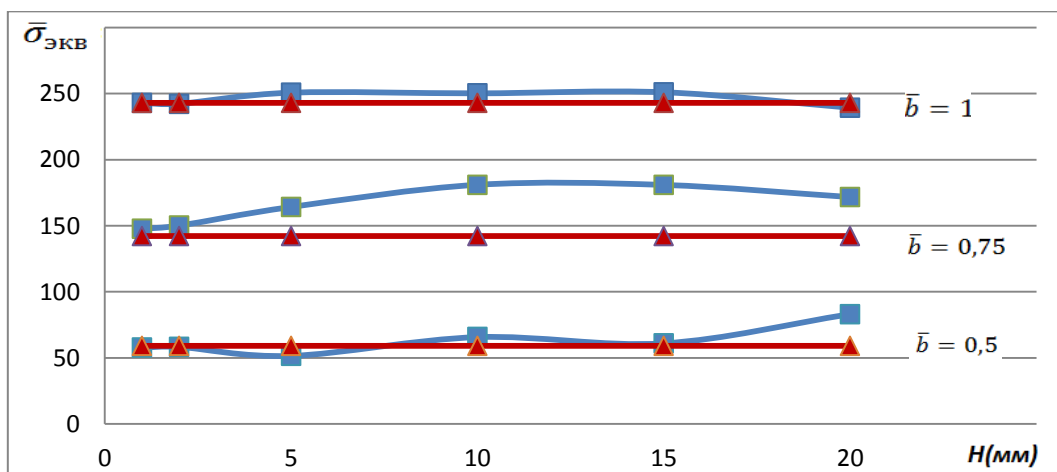
При увеличении параметра  $\bar{h} > 2$ , характеризующего жесткость боковых стенок корпуса (рис. 3), область применения приближенной формулы (1) расширяется и её можно применять для корпусов с  $H/2a < 1$ .



а)



б)



в)

Рис. 3. Максимальные эквивалентные напряжения для крышки микросборки:  
 ▲ — приближенный метод; ■ — точный метод; а) при  $\bar{h} = 1$ ;  
 б) при  $\bar{h} = 2$ ; в) при  $\bar{h} = 5$

Таким образом, приближенная формула имеет достаточно широкую область практического применения для корпусов реальных микросборок, у

которых, как правило, выполняются условия  $H/2a < 1$  и  $\bar{h} > 1$ . Во всех остальных случаях при расчете  $p_*$  по формуле (2) эквивалентные напряжения  $\bar{\sigma}_{экв}$  следует вычислять с использованием программного комплекса ANSYS, позволяющего моделировать НДС корпусов и их элементов с учетом взаимного влияния граней и наличия внутри корпуса платы.

Предлагаемый подход является наиболее общим и позволяет создать адекватную модель, описывающую НДС всех элементов микросборки с учетом её конструктивных особенностей, что позволяет оптимизировать конструкцию в соответствии с заданными эксплуатационными воздействиями, а также научно обоснованно назначать режим технологической операции опрессовки при производстве микросборки конкретного типоразмера и определить предельно допустимое избыточное эксплуатационное давление с учетом расположения одной или нескольких плат на его гранях.

Обобщая проведенный анализ, укажем на то, что разработка и применение математических моделей и программно - ориентированных вычислительных комплексов позволяет на ранних этапах конструирования и разработки технологических процессов изготовления обеспечивать требуемую надежность и безопасность проектируемых конструкций. Выбор расчетной математической модели и уровня её сложности (одномерная, двумерная, трехмерная, учет гетерогенности и других конструктивных особенностей) определяется свойствами конструкции и требуемой точностью анализа НДС проектируемой конструкции.

#### Список литературы

1. Литвинов А.Н. Обеспечение надежности и качества микросхем в полых корпусах при изменении давления / А.Н. Литвинов, А.Н. Лугин // Актуальные проблемы анализа и обеспечения надежности и качества приборов, устройств и систем: Сб.докл. междунар.техн.конф. - Пенза, 1998. - С. 241-242.

2. Гладкий С.Л. Интеллектуальное моделирование физических проблем [Текст] /С.Л. Гладкий, Н.А. Степанов, Л.Н. Ясницкий; Под.общ. ред. А.Н. Ясницкого. - М.; Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", Институт компьютерных исследований, 2006. – 200 с.

3. Литвинов А.Н. Прикладные модели механики гетерогенных структур изделий приборостроения: монография [Текст] /А.Н. Литвинов, М.А. Литвинов, В.В. Смогунов. - Пенза: Изд-во ПГУ, 2009. – 320 с.

4. Литвинов А.Н. Моделирование процессов в слоистых структурах для повышения безопасности сложных технических систем [Текст] / А.Н. Литвинов, Н.К. Юрков. Фундаментальные проблемы системной безопасности и устойчивости. Материалы IV междунар.научн.конф. Тверь. 2013. С. 32-35.

5. Хади О.Ш. Моделирование напряженно-деформированного состояния корпусов микросборок в процессе их изготовления и эксплуатации [Текст] / О. Ш. Хади, А.Н. Литвинов// Динамика и прочность(глава 1). Избранные труды всеросс. научн. конф. по проблемам науки и технологий. – М.: РАН, 2013. - С. 3-26.

## СЕКЦИЯ 2. ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Председатель секции: кандидат технических наук, заведующий кафедрой  
«ТиТМиП» Гриценко Вячеслав Владимирович

### ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖУЩИХ СВОЙСТВ АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА НА КЕРАМИЧЕСКОЙ И БАКЕЛИТОВОЙ СВЯЗКАХ ПРИ ШЛИФОВАНИИ МИКРОПОРИСТЫХ ПОКРЫТИЙ

Н.С. Алексеев, В.А. Капорин, С.В. Иванов

*Рубцовский индустриальный институт (филиал) федерального  
государственного бюджетного образовательного учреждения высшего  
образования «Алтайский государственный технический университет  
им. И.И. Ползунова»*

**Аннотация:** В статье представлены результаты исследований режущей способности кругов из электрокорунда и карбида кремния на керамической и бакелитовых связках при черновом шлифовании микропористых покрытий на никелевой и железной основе. Установлены периоды стойкости кругов и производительность обработки, исследованы силовая напряженность шлифования, энергозатраты и другие показатели.

Комплексная оценка результатов испытаний показала, что наибольшей эффективностью при круглом наружном шлифовании микропористых покрытий на никелевой основе обладает абразивный круг из электрокорунда на керамической связке, а при шлифовании покрытий на железной основе – абразивный круг из карбида кремния также на керамической связке.

**Ключевые слова:** *плазменные покрытия, абразивная обработка, шлифовальные круги, связка, силы резания, износ инструмента, шероховатость*

### Study cutting properties of abrasive tools on ceramic and bakelite bond in grinding microporous coating

N.S. Alekseev, V.A. Kaparin, S.V. Ivanov

*Rubtsovsky Industrial Institute (branch) of the federal government's budget  
educational institution of higher education "Altai State Technical University named  
after I.I. Polzunova"*

**Abstract:** The article presents research findings regarding a cutability of ceramic/bakelite bonded silicon carbide and electrocorundum wheel during rough grinding nickel/iron based microporous coatings. An effort has been made to determine a grinding wheel resistance life and grinding output power stress of grinding and energy expenditure.

A comprehensive assessment of the test results showed that an electrocorundum ceramic bonded abrasive wheel is the most effective for cylindrical grinding microporous nickel-based coatings and for grinding iron-based coatings a ceramic bonded silicon carbide abrasive wheel.

**Keywords:** *plasma coatings, abrasive tool, bond, grinding wheels, cutting forces, tool wear out, surface roughness.*

Основным методом черновой обработки микропористых износостойких покрытий на никелевой и железной основе<sup>1</sup> является шлифование [1]. При этом работоспособность абразивного инструмента (АИ), интенсивность съема материала, качество изделий после обработки и экономичность шлифования во

многим определяется видом связки [2]. Поэтому выбору связки придают важное значение.

При изготовлении АИ из традиционных шлифовальных материалов – электрокорунда и карбида кремния - наиболее распространенными являются керамическая, бакелитовая и вулканитовая связки [3]. Довольно редко используются силикатовые, магнезиальные и другие связки.

При выборе связки для шлифования компактных (однородных) материалов основное внимание обращают на вид и характер операций абразивной обработки и на условия работы инструмента. Вулканитовые связки обычно используются при изготовлении кругов для отрезки, шлифования пазов и фасонных поверхностей, отделочного шлифования и полирования. Для размерной черновой и чистовой абразивной обработки деталей используются преимущественно круги на керамической и бакелитовой связке [4].

Однако в технической литературе отсутствуют рекомендации и систематизированные данные о влиянии вида связки на основные показатели процесса чернового шлифования покрытий кругами из электрокорунда и карбида кремния.

В статье представлены результаты экспериментальных исследований, выполненных в целях сравнительной оценки работоспособности ШК на керамической и бакелитовой связке при черновом шлифовании покрытий.

Для определения влияния вида связки на основные показатели процесса шлифования покрытий было проведено комплексное исследование работоспособности опытных кругов. Опыты проводились на экспериментальной установке на базе круглошлифовального полуавтомата мод. 3М152МВФ2 с ЧПУ по схеме круглого наружного продольного шлифования с выхаживанием по методике [5]. Шлифовали образцы - втулки из стали 45 диаметром  $60 \pm 0,1$  мм и высотой 70 мм с плазменно-напыленными покрытиями на никелевой (покрытие ПВ) и железной (покрытие ПЖ) основе.

Обрабатывали покрытия серийными кругами из электрокорунда нормального (14А) на керамической (V) и бакелитовой (B) связках с характеристикой 14AF46N6 формы 1 600x25x305 ГОСТ P52781-2007. Для сравнения испытывались круги из карбида кремния черного 54CF46N6 также на связках V и B тех же геометрических размеров. Выбор типоразмера и характеристики кругов для проведения экспериментов был обусловлен их широким применением в промышленности [6].

Параметры режима резания, подобранные на основании рекомендаций [7], поддерживались неизменными: скорость резания 35 м/с, скорость вращения детали 18,84 м/мин, скорость продольной подачи 425 мм/мин и глубина резания 10 мкм.

Экспериментальная установка была оснащена системами подачи СОЖ поливом в зону шлифования и очистки ее от шлифовального шлама с помощью магнитного сепаратора и бака-отстойника. В качестве СОЖ применялся 3%-й водный раствор эмульсола «ЭПМ-1шп», который подавали поливом в зону шлифования свободно падающей струей с расходом 12 л/мин.

Для оценки работоспособности АИ использовали перечисленные ниже критерии.

1. Период стойкости  $T$  кругов, определяемый по появлению следов дробления или прижогов на шлифованной поверхности, мин.

2. Удельная производительность,  $\text{мм}^3/\text{мм}^3$ :

$$q = Q_m/Q_a,$$

где  $Q_m$  – объем материала, снятого с заготовки (образца) за период стойкости ШК,  $\text{мм}^3$ ;  $Q_a$  – объем рабочего слоя ШК, израсходованного за тот же период,  $\text{мм}^3$ .

3. Коэффициент режущей способности абразивного круга,  $\text{мм}^3/\text{мин} \cdot \text{Н}$ :

$$K_p = Q_m/T \cdot P_y,$$

где  $P_y$  – среднее значение радиальной составляющей силы резания за период стойкости ШК, Н.

4. Удельная мощность шлифования,  $\text{Вт} \cdot \text{мин}/\text{мм}^3$ :

$$K_N = N_{\text{эф}}/Q_m,$$

где  $N_{\text{эф}}$  – эффективная мощность шлифования, Вт:

$$N_{\text{эф}} = P_z \cdot V_{\text{кр}}/102,$$

где  $P_z$  – среднее значение тангенциальной составляющей силы резания за период стойкости ШК, Н;  $V_{\text{кр}}$  – скорость резания, м/с.

5. Шероховатость шлифованной поверхности, оцениваемая по параметру  $Ra$ , мкм.

6. Комплексный критерий,  $\text{мм}^3/\text{мин} \cdot \text{Вт} \cdot \text{мкм}$ :

$$K_m = Q_m/N_{\text{эф}} \cdot Ra.$$

7. Интенсивность засаливания ШК за период их стойкости при шлифовании покрытия ПЖ,  $\text{мг}/\text{см}^2 \cdot \text{мин}$ :

$$C_z = m/S_k \cdot T,$$

где  $m$  – количество налипшего материала на рабочую поверхность ШК за период его стойкости, мг;  $S_k$  – площадь рабочей поверхности ШК,  $\text{см}^2$ .

Продолжительность опытов равнялась периоду стойкости круга. По ходу экспериментов фиксировали составляющие  $P_y$  и  $P_z$  силы резания с помощью измерительной установки. По окончании каждого опыта измеряли размерный износ круга и контролировали шероховатость шлифованной поверхности.

Размерный износ АИ измеряли индикатором часового типа с ценой деления 0,001 мм. Шероховатость шлифованной поверхности контролировалась на профилографе – профилометре АБРИС – ПМ7.

Испытания кругов проводили с трехкратной повторностью, что обеспечивало достоверность полученных результатов с вероятностью  $P = 0,95$ . По каждой серии опытов определялись средние значения показателей.

Результаты испытаний представленных кругов при круглом наружном продольном шлифовании покрытий показаны в табл. 1. Видно, что при обработке покрытия ПВ круги на керамической связке как из электрокорунда, так и из карбида кремния имели больший период стойкости, чем круги из 14А и 54С на бакелитовой связке, что объясняется лучшими антифрикционными свойствами керамической связки [8].

Удельная производительность  $q$ , достигаемая кругом 14AF46N6V, превышала этот показатель для кругов 14AF46N6B и 54CF46N6B соответственно в 1,3 и 1,5 раза, что свидетельствует о наименьшей интенсивности его изнашивания. Причину такого различия можно объяснить более надежным закреплением абразивных зерен в круге при использовании керамической связки [9].

Исследования силовой напряженности и энергозатрат показали (табл. 1), что при шлифовании покрытия ПВ кругом 14AF46N6V силы  $P_y$  и  $P_z$  уменьшились по сравнению с шлифованием кругами 14AF46N6B и 54CF46N6B соответственно на 17-57 и 34-61%, а энергозатраты соответственно на 85 и 41%.

Таблица 1

Усредненные показатели продольного шлифования плазменных покрытий кругами на керамической и бакелитовой связках

Показатель шлифования	Характеристика кругов				
	14AF46N6V/B	54CF46N6V/B	14AF46N6V/B	54CF46N6V/B	
	<i>Результаты, полученные при шлифовании покрытия на никелевой основе кругами на керамической (числитель) и бакелитовой (знаменатель) связках</i>		<i>Результаты, полученные при шлифовании покрытия на железной основе кругами на керамической (числитель) и бакелитовой (знаменатель) связках</i>		
Стойкость кругов $T$ , мин	6,5/5,9	3,1/3,0	13,1/9,6	50,0/22,0	
Удельная производительность $q$ , мм <sup>3</sup> /мм <sup>3</sup>	3,5/2,8	1,7/2,4	5,2/6,2	28,3/19,4	
Составляющие силы шлифования, Н	$P_y$	103/162	179/121	117/118	104/112
	$P_z$	59/95	96/79	57/67	40/56
Удельная мощность шлифования $K_N$ , Вт·мин/мм <sup>3</sup>	57,3/106	98,5/80,8	57,2/61,6	33,9/49,8	
Коэффициент режущей способности $K_p$ , мм <sup>3</sup> /мин·Н	3,4/1,9	1,9/2,7	2,9/3,2	3,9/3,4	
Комплексный критерий $K_M$ , мм <sup>3</sup> /мин·Вт·мкм	0,093/0,045	0,070/0,052	0,081/0,066	0,127/0,048	
Шероховатость поверхности $Ra$ , мкм	0,19/0,21	0,14/0,24	0,32/0,35	0,23/0,41	
Интенсивность засаливания кругов $C_3$ , мг/см <sup>2</sup> ·мин	-	-	0,075/0,071	0,033/0,079	

Наибольшие значения коэффициента  $K_p$  при шлифовании покрытия ПВ получены при использовании электрокорундового круга на связке V. При



оценке технологической эффективности по комплексному критерию  $K_m$  также выявляются преимущества круга из 14А на керамической связке.

При шлифовании покрытия ПВ существенных различий значений параметра Ra шероховатости поверхностей, шлифованных кругами на керамической и бакелитовой связках, не выявлено.

При обработке покрытия ПЖ, как и при шлифовании покрытия ПВ, периоды стойкости кругов из 14А и 54С на керамической связке оказались более продолжительными по сравнению с кругами из электрокорунда и карбида кремния на бакелитовой связке (табл. 1). Так, значение  $T$ , зафиксированное для АИ 14АF46N6V, превысило этот показатель для круга 14АF46N6B в 1,4 раза, а период стойкости ШК 54CF46N6V оказался в 2,3 раза больше, чем у круга 54CF46N6B.

Наименьшая силовая напряженность процесса шлифования покрытия ПЖ получена при использовании круга из 54С на связке V, а следовательно, и удельная мощность шлифования этим кругом ниже, чем кругами 14АF46N6B и 54CF46N6B, соответственно на 82 и 47%. Следует отметить, что достигнутые результаты по силам  $P_y$  и  $P_z$  и удельной мощности  $K_N$  для круга 54CF46N6V получены при существенно большем значении периода его стойкости ( $T = 50$  мин). Шлифовальный инструмент из 54С на керамической связке обеспечивает наименьшую интенсивность изнашивания его рабочей поверхности ( $q = 28,3$  мм<sup>3</sup>/мм<sup>3</sup>). При использовании круга из 54С на связке V были достигнуты наибольшие значения коэффициента  $K_p$  и комплексного критерия  $K_m$ .

Применение круга из 54С на керамической связке позволяет получить шлифованные поверхности с меньшим параметром шероховатости ( $Ra=0,23$  мкм), что в совокупности с меньшими значениями сил  $P_y$  и  $P_z$  положительно сказывается на качестве обработанной поверхности и уменьшает вероятность отслаивания покрытия.

Интенсивность засаливания  $C_z$  круга 54CF46N6V при шлифовании покрытия ПЖ оказалась более чем в 2 раза ниже, по сравнению с этим показателем, достигаемым при обработке кругами 14АF46N6B и 54CF46N6B.

### **Выводы**

1. Комплексная оценка результатов испытаний показала, что круглое наружное шлифование с продольной подачей микропористых покрытий на никелевой и железной основе кругами из электрокорунда и карбида кремния на бакелитовой связке не обеспечивает достаточную технологическую эффективность.

2. Более высокая режущая способность АИ в рассмотренных условиях шлифования микропористых покрытий на никелевой основе по совокупности установленных показателей обеспечивается кругом из электрокорунда на керамической связке.

3. В рассмотренных условиях обработки микропористых покрытий на железной основе более высокие эксплуатационные возможности показал абразивный круг из карбида кремния также на керамической связке.

### Список литературы

1. Черноиванов В.И., Лялякин В.П. Организация и технология восстановления деталей машин [Текст]. 2-е изд., доп. и перераб. М.: ГОСНИТИ, 2003. 488 с.
2. Маслов Е.Н. Теория шлифования материалов [Текст]. М.: Машиностроение, 1974. 319 с.
3. Дятлов В.Н. Исходные материалы для абразивного инструмента [Текст] //Машины и технология обработки давлением порошковых и композиционных материалов: Сб. науч. тр. Челябинск: Изд-во ЧГТУ, 1997. С. 63-73.
4. Справочник технолога - машиностроителя [Текст]. В 2 т. Т. 2 / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. 4 - е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1985. 496 с.
5. Алексеев Н.С., Иванов С.В., Капорин В.А. Шлифование плазменных покрытий на никелевой и железной основе [Текст]//Технологии упрочнения, нанесения покрытий и ремонта: теория и практика: В 2 ч. Часть 1: Матер. 16-й Междунар. науч.-практ. конф.: СПб.: Изд-во Политехн-го ун-та, 2014. С. 181-187.
6. Худобин Л.В., Правиков Ю.М. Анализ номенклатуры абразивных инструментов, применяемых на предприятиях Ульяновской области [Текст]// Вестник УлГТУ, 2003, №1-2. С. 34-36.
7. Ящерицын П.И., Казаков С.Н., Миткевич С.И., Белицкая А.И. Совершенствование процесса шлифования износостойких покрытий [Текст] // Алмазная и абразивная обработка деталей машин и инструмента: Межвуз. сб. науч. тр. Вып. 14. Пенза: Пенз. политехн. ин-т, 1986. С. 3-8.
8. Шлифование сплавов на основе титана [Текст]: Методические рекомендации / Сост. Г.И. Саютин. М.: НИИМАШ, 1977. 27 с.
9. Смирнов В.А., Григорьева К.Т., Саютин Г.И. Пути снижения работы трения в зоне резания за счет уменьшения количества связки в круге [Текст] // Физико-химические явления при шлифовании: Материалы семинара (г. Волжский, 3-5 октября 1972 г.). Киев: ИПМ АН УССР, 1976. С. 14-17.

## **ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА КОНЦЕНТРАЦИЮ СУХИХ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ВЕЩЕСТВ В ЭКСТРАКТЕ ТЫСЯЧЕЛИСТНИКА**

А.А. Апполонов

*Рубцовский индустриальный институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский  
государственный технический университет им. И.И. Ползунова»*

В статье изложены результаты экспериментальных исследований процесса экстрагирования сухой травы тысячелистника в условиях воздействия на процесс низкочастотных механических колебаний. В частности, исследовано влияние начальной температуры экстрагента на конечную концентрацию сухих водорастворимых веществ в экстракте тысячелистника. Установлено, что при повышении температуры экстрагента с 15°C до 45°C концентрация сухих водорастворимых веществ в экстракте увеличивается на 40%.

**Ключевые слова:** экстракт, тысячелистник, экстрагент, вода, температура, сухие водорастворимые вещества, экстрактор.

A.A. Appolonov

*Rubtsovsky Industrial Institute (branch) of the federal government's budget educational institution of higher education "Altai State Technical University named after I.I. Polesunov"*

The article presents the results of experimental researches of process of extraction of dry herb of yarrow in the conditions of influence on the process of low-frequency mechanical vibration. In particular, we examined the effect of the initial temperature of the extractant at a final concentration of soluble dry substances in the extract of yarrow. It is established that when the temperature of the extractant from 15 to 45 degrees Celsius, the concentration of water soluble dry substances in the extract is increased by 40 percent.

Перспективным направлением в создании функциональных напитков является применение настоев и экстрактов из растительного сырья в составе напитков [1]. Благодаря содержанию широкого спектра веществ различной фармакологической направленности растительные экстракты в составе напитков повышают тонус организма, адаптивные возможности нервной системы, устойчивость организма к неблагоприятным факторам окружающей среды, кроме того, растительные экстракты придают напиткам антиоксидантные свойства [2].

В Алтайском крае повсеместно распространены различные травы, использование которых позволяет расширить сырьевую базу, ассортимент выпускаемой продукции повышенной биологической ценности, снизить рынок продуктов питания в состав которых входят искусственные химически синтезированные вкусовые добавки, снизить затраты на перевозку полуфабрикатов, а следовательно, и себестоимость продукции. Разработка новых технологий и оборудования, интенсификация традиционных методов переработки растительного сырья путем экстрагирования с целью более эффективного извлечения ценных веществ является актуальной научно-технической задачей.

В работе исследовали влияние температуры экстрагента на процесс экстрагирования травы тысячелистника. В качестве экстрагента применяли воду, так как водный экстракт тысячелистника может быть использован для производства функциональных напитков.

Экстрагирование проводилось в лабораторном вибрационном экстракторе периодического действия. Вибрационный экстрактор представляет собой вертикальный цилиндрический корпус, внутри которого совершает возвратно-поступательное движение шток с жестко закрепленной на нем тарелкой. Тарелка имеет отверстия для прохода фаз и оснащена бортами, направленными в сторону, противоположную движению фаз. Амплитуда колебаний тарелки  $A=10$  мм, диаметр отверстий тарелки  $d=2$  мм, площадь свободного сечения 16,5%.

Низкочастотные воздействия создаются колебательным движением тарелки в экстракторе. Для создания колебаний используется электромеханический привод, генерирующий колебательное движение и передающий его штоку с тарелкой.

Навеска необходимого количества растительного сырья производилась с помощью весов марки MW-120 с погрешностью измерения  $\pm 0,01$  г. Необходимый объем экстрагента отмеряли с помощью мерного цилиндра вместимостью 250 см<sup>3</sup>.

В ходе экспериментов через определенный интервал времени отбирали пробы жидкой фазы, объемом 5 мл для определения концентрации сухих водорастворимых веществ. Отделение от проб твердой фазы проводилось фильтрацией через бумажный фильтр. Определение количества сухих водорастворимых веществ проводили при помощи рефрактометра «РЛ-2». Температуру суспензии измеряли лабораторным стеклянным термометром ТЛ-4.

Исследование влияния температуры на извлечение сухих водорастворимых веществ из травы тысячелистника проводили следующим образом: измельченную траву (размер частиц от 2 до 6 мм) помещали в экстрактор (под вибрационную тарелку) и заливали экстрагентом. Соотношение между количеством твердой и жидкой фаз во всех измерениях составляло 1:20. Частота колебаний тарелки экстрактора составляла 600 1/мин. Определение количества сухих водорастворимых веществ в экстракте проводили при температурах в интервале от 15<sup>0</sup>С до 45<sup>0</sup>С с шагом 5<sup>0</sup>С. Результаты определений представлены в таблице 1.

На рисунке 1 представлен график зависимости концентрации сухих водорастворимых веществ в экстракте от температуры экстрагента при времени экстрагирования 20 минут.

Таблица 1

Результаты экспериментов экстрагирования тысячелистника при изменении начальной температуры экстрагента

№ п/п	t, °С	n, мин <sup>-1</sup>	A, мм	d, мм	Время экстрагирования, мин										
					Концентрация сухих веществ, %										
					1	3	5	7,5	10	12,5	15	20	25	30	
1	15	600	10	2	0,2	0,3	0,3	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	
2	20	600	10	2	0,25	0,4	0,5	0,75	0,8	0,95	1,2	1,2	1,25	1,25	
3	25	600	10	2	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,75	1	1,3	1,3	1,3	
4	30	600	10	2	0,5	0,6	0,6	0,8	0,9	0,9	1	1,3	1,3	1,3	
5	35	600	10	2	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	1,2	1,2	1,3	1,3	
6	40	600	10	2	0,5	0,6	0,7	0,9	0,9	1	1,2	1,2	1,3	1,3	
7	45	600	10	2	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,95	1,3	1,4	1,4	1,4	

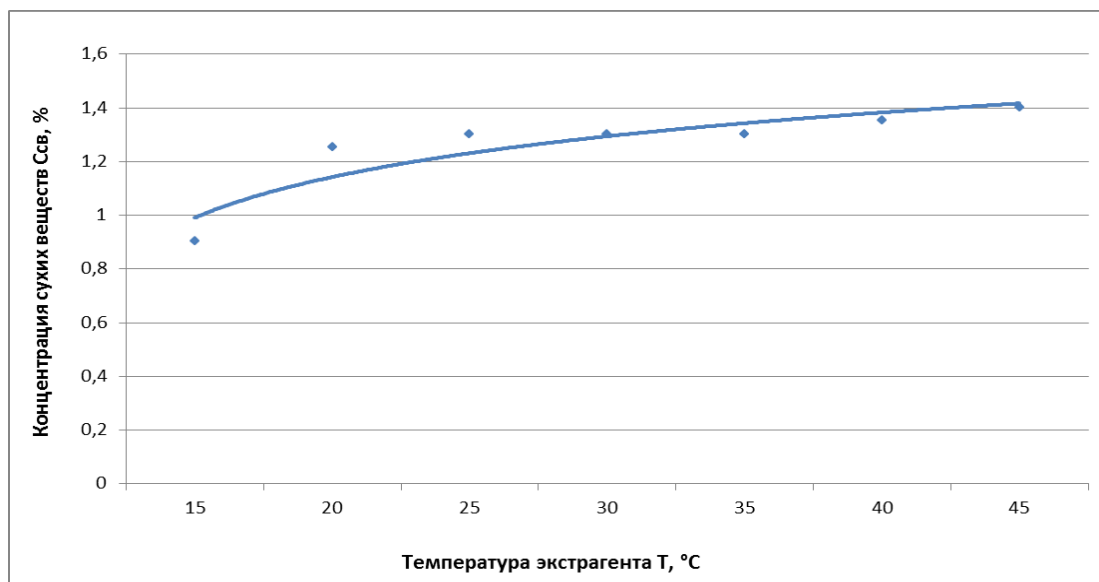


Рисунок 1. График зависимости концентрации сухих водорастворимых веществ в экстракте от температуры экстрагента

По результатам проведенных экспериментов можно сделать вывод, что с увеличением начальной температуры экстрагента увеличивается концентрация сухих водорастворимых веществ в экстракте. Максимальная концентрация достигается при начальной температуре экстрагента 45 °С.

#### Список литературы

1. Зуев Е.Т. Функциональные напитки: их место в концепции здорового питания//Пищевая промышленность. 2004. N7. С. 90-95.
2. Еремина О.Ф. Разработка и исследование потребительских свойств концентрированных основ для безалкогольных напитков различной функциональной направленности: дис. канд. техн. наук. - КемТИПП, 2008. – 140 с.

### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ВОЛОЧЕНИЯ СОРТОВЫХ ПРОФИЛЕЙ

Е.М. Басова, С.В. Герман

*Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова*

**Аннотация:** Проведен сравнительный анализ способов волочения. Проанализированы достоинства и недостатки каждого из методов.

**Ключевые слова:** волочение, монолитная волока, роликовая волока.

### COMPARATIVE ANALYSIS OF DRAWING SECTION BARS

Basova E.M., German S.V.

*Altai State Technical University. II Polzunova*

A comparative analysis of methods of drawing. The advantages and disadvantages of each method.

**Keywords:** drawing, monolithic portage, roller die.

В условиях рыночной экономики большое значение приобретает повышение конкурентоспособности выпускаемой продукции, определяемой рациональным соотношением «цена-качество». Перед отечественной металлургической промышленностью стоит задача не столько выхода на внешний рынок, сколько защиты собственного рынка от импортной продукции.

Производить конкурентоспособную продукцию можно, только обладая современными технологическими процессами. Основой технологического процесса производства является способ обработки металлов давлением.

Современное производство базируется на применении традиционного способа волочения в монолитных волоках, преимущества которого заключаются в простоте и отлаженности технологического процесса, наличии разнообразного серийно выпускаемого оборудования [1]. Полученные изделия отличаются большой точностью геометрических форм и высоким качеством поверхности. Закрытый очаг деформации при волочении способствует всестороннему сжатию и гидродинамической подаче смазки. Вместе с тем, этот способ имеет и ряд существенных недостатков, связанных с неблагоприятными условиями трения на контакте металла и деформирующего инструмента. Следствием является увеличение энергозатрат, необходимость тщательной подготовки поверхности металла к волочению и применения дорогостоящих технологических смазок. Для волочения в монолитной волоке характерно однопоточное течение металла и постоянное действие растягивающих напряжений в очаге деформации, что способствует потере пластических свойств, делая процесс волочения многоциклическим и затратным [2].

Однако наиболее перспективным и получающим в последнее время все большее развитие является волочение в роликовых волоках. Возрастающий интерес к роликовым волокам связан, прежде всего, с повышением эффективности процесса за счет замены трения скольжения в монолитных волоках трением качения в роликовых волоках [3]. Так, при волочении проволоки через роликовые волоки деформация сдвига мала, что положительно влияет на однородность структуры. Остаточные напряжения в поверхностном слое небольшие, что предохраняет изделие от коробления и трещин. Антифрикционные свойства такой проволоки повышаются. Уменьшающиеся растягивающие напряжения в очаге деформации улучшают схему напряженного состояния и позволяют деформировать металл с пониженными пластическими свойствами. Применяя роликовую волоку, можно интенсифицировать процесс волочения, т.е. максимально увеличить степень суммарной деформации. Необходимо также отметить, что проволока, протянутая через роликовую волоку, имеет равномерное распределение твердости по сечению [4].

Применение роликовых волок позволяет свести к минимуму расходы на подготовку заготовки к волочению, ограничиваясь, как правило, механической или химической (травление) очисткой поверхности металла от окалина, грязи и т.п. Процесс роликового волочения можно проводить с использованием в качестве технологической смазки наиболее дешевых материалов, вплоть до

масляно-водяной эмульсии, которая одновременно служит охладителем рабочего инструмента.

Главными недостатками, сдерживающими более широкое применение этого перспективного процесса, являются пониженная жесткость волоочильных клеток, сложность их конструкции и регулировки, большая вероятность возникновения дефектов на поверхности формируемого профиля в виде «усов», образуемых в результате затекания металла в зазоры между контактными поверхностями смежных роликов [3].

Для получения более высоких качественных результатов технологического процесса разработанные конструкции роликовых волок позволяют создавать разнообразные двух- и трехступенчатые компоновочные схемы волочения с применением монолитных волок:

- роликовая волока – роликовая волока;
- роликовая волока – монолитная волока;
- монолитная волока – роликовая волока;
- роликовая волока – роликовая волока – монолитная волока, что обеспечивает использование преимуществ обеих разновидностей волочения.

Наиболее эффективной является трехступенчатая схема деформации с применением трехроликовых калибров в одном проходе (рисунок 1). Формирование предчистовых размеров шестигранного профиля из круглой заготовки осуществляется в трехроликовых калибрах первой 2 и второй 3 ступени деформации, построенных по системе: треугольник – треугольник с поворотом вокруг оси волочения на угол  $60^{\circ}$ . Чистовые размеры готового изделия формируются в монолитной волоке 4 третьей ступени деформации одного прохода. Преимущество данной схемы заключается в равномерном распределении обжатий между первыми ступенями деформации, что обеспечивает повышение физико-механических свойств металла готового изделия. Система построения калибров первых двух ступеней деформации треугольник – треугольник делает ее малочувствительной к выбору диаметра исходной заготовки, а суммарная деформация (достигающая 40-45%) ограничивается требованиями к физико-механическим свойствам готового изделия.

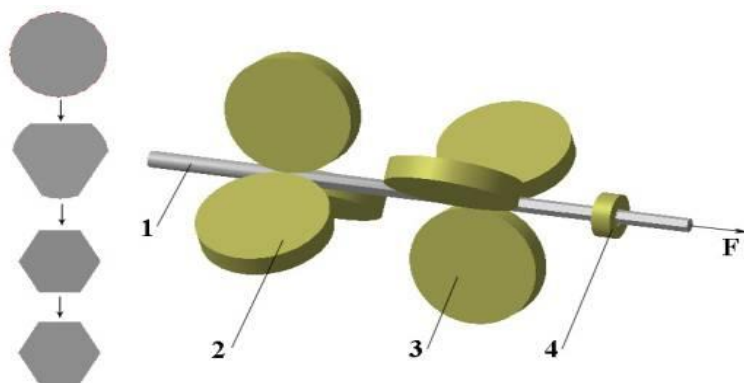


Рис.1. Схема трёхступенчатого деформирования за один проход: 1 – заготовка; 2 – трехроликовый калибр первой ступени деформации; 3 - трехроликовый калибр второй ступени деформации; 4 – монолитная волока

Противонатяжение, создаваемое деформацией металла на первых двух ступенях формоизменения заготовки, обеспечивает повышение стойкости монолитной волоки и значительное снижение энергозатрат [5].

#### Выводы

1. При реализации известных способов получения сортовых профилей на поверхности профиля образуются дефекты в виде заусенцев, удаление которых повышает трудоемкость и снижает эффективность процессов.

2. На основании данного анализа процесс роликового волочения обладает множеством преимуществ по сравнению с другими способами обработки металлов давлением и является наиболее перспективным.

#### Список литературы

1. Досліджен няефективності способів волочіння сталевго дроту / Харитонов В.А., Галлямов Д.Е. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Новірішення у сучасних технологіях. - Харків: НТУ «ХПІ». - 2012. – № 46(952). - С. 193-197.

2. Манякин, А.Ю. Повышение эффективности технологических процессов производства проволоки на основе совершенствования деформационных режимов волочения [Текст]: дис. канд.тех.наук: 05.16.05: защищена 2006г./ Манякин Андрей Юрьевич. – М., 2006. – 134 с. Библиограф.: с. 55-104.

3. Моделирование продольного профиля очага деформации в монолитной волоке / М.И. Поксеваткин, Е.М. Басова, С.В. Герман // Теоретические и практические вопросы науки XXI века: сборник статей Международной научно-практической конференции (28 ноября 2014 г, г.Уфа). в 2 ч. Ч.2. / - Уфа: РИО МЦИИ ОМЕГА САЙНС, 2014. – С. 78-80.

4. Сравнительный анализ схем деформации при получении проволоки из литой заготовки и стружки латуни/ А.А. Арефьев, В.А. Наседкин, К.Н. Фоменко // Совершенствование технологий цветных металлов: сборник статей VII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (19 апреля 2011 г., г. Красноярск)./ - Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2011. – С. 228-230.

5. Славин В.С. Комбинированная технологическая схема производства калиброванного шестигранного проката / В.С. Славин, С.М. Вершигора, В.С. Пантелеев // Сталь. - 2007. №2. – С. 91-93.

### **РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЕДИНИЧНЫХ ОБЖАТИЙ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ В МОНОЛИТНОЙ ВОЛОКЕ**

Е.М. Басова, С.В. Герман

*Алтайский государственный технический университет*

*им. И.И. Ползунова*

**Аннотация:** Определен характер распределения единичных обжатий металла по длине очага деформации монолитной волоки.

**Ключевые слова:** монолитная волока, единичные обжатия, очаг деформации.



# DISTRIBUTION OF SINGLE COMPRESSION AT DRAWING IN THE MONOLITHIC RED TAPE

Basova E.M., German S.V.

*Altai State Technical University. II Polzunova*

The character of the distribution of individual reductions of metal along the length of the deformation of a monolithic die.

**Keywords:** *portage monolithic, single crimping deformation zone.*

В процессе волочения в монолитной волоке при прохождении металла через очаг деформации заготовка в каждом поперечном сечении подвергается радиальным обжатиям, распределение которых по длине очага деформации характеризует режим волочения и непосредственно связано с профилем деформирующего конуса инструмента.

Применяемые обычно монолитные волокни с прямолинейной образующей деформирующего конуса (рис.1) создают крайне неблагоприятный режим распределения радиальных обжатий по длине очага деформации, что существенно снижает качество продукции и производительность процесса волочения, повышает износ инструмента.

Основными недостатками монолитных волок являются возникновение больших сил трения в калибре волоки, вызывающих повышенные износ калибра и усилия волочения, значительную неравномерность деформации металла заготовки по длине деформирующего конуса с достижением пиковых обжатий в точке на границе деформирующего и калибрующего участков калибра. Поэтому одним из важных направлений улучшения условий формирования сортового профиля в монолитной волоке является определение единичных обжатий металла в монолитной волоке с прямолинейной образующей деформирующего конуса.

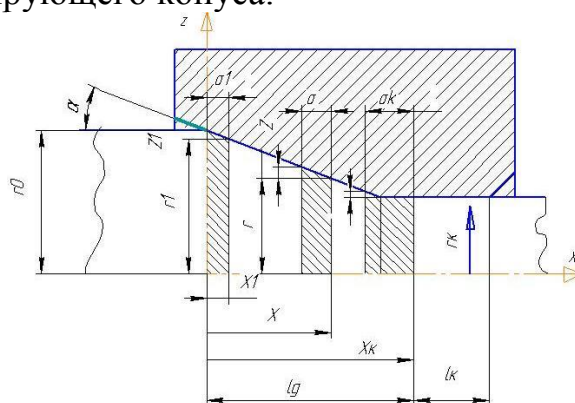


Рис. 1. Продольный профиль очага деформации монолитной волоки с прямолинейной образующей деформирующего конуса

Принцип определения частных единичных радиальных обжатий, сформулированный в работе [1] применительно к процессу пилигримовой прокатки, может быть использован для расчета обжатий в монолитной волоке с прямолинейной образующей деформирующего конуса.

Согласно этому принципу для определения единичных обжатий в каком-либо сечении очага деформации необходимо взять другое сечение, удаленное от первого на расстояние, при котором объем металла заготовки, заключенный между сечениями, равен объему металла, смещаемого за один оборот валков.

Применительно к процессу волочения шаг смещаемого в очаге деформации металла, заключенного между сечениями  $x$  и  $x-\delta$  (рис. 1), предпочтительно взять за единицу времени.

Тогда объем смещаемого металла в единицу времени находят по исходным данным:

$$V_0 = \pi \cdot r_0^2 \cdot V_B, \quad (1)$$

где  $V_0$ -объем смещаемого в единицу времени металла, мм<sup>3</sup>/сек;

$r_0$  – исходный радиус заготовки, мм;

$V_B$ –скорость волочения, мм/сек.

Абсолютное обжатие ( $z$ ) в любом сечении  $x$  (рис.1) равно:

$$z = \delta \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (2)$$

где  $\delta$  – шаг смещаемого объема металла в единицу времени, мм;

$\alpha$  – угол конусности деформирующего участка  $l_g$ , мм.

Относительные единичные обжатия ( $\varepsilon$ ) в любом сечении  $x$ :

$$\varepsilon = z/r, \quad (3)$$

где  $r$  – величина радиуса заготовки в сечении  $x$ , мм.

В любом сечении  $x$  деформируемого участка  $l_g$  (рис.1) текущие значения радиуса ( $r$ ) заготовки и относительного единичного обжатия ( $\varepsilon$ ) равны:

$$r = r_0 - x \cdot \operatorname{tg} \alpha; \quad (4)$$

$$\varepsilon = z/(r_0 - x \cdot \operatorname{tg} \alpha). \quad (5)$$

Объем металла между сечениями  $x$  и  $x-\delta$  ( $V_x$ ) определяется как объем прямого усеченного конуса:

$$V_x = V_0 = \frac{\pi \cdot \delta}{3} [(r + z)^2 + (r + z) \cdot r + r^2]. \quad (6)$$

С учетом формул (2) и (4) выражение (6) примет вид:

$$V_0 = \frac{\pi \cdot z}{3 \operatorname{tg} \alpha} [(r_0 - x \cdot \operatorname{tg} \alpha + z)^2 + (r_0 - x \cdot \operatorname{tg} \alpha + z)(r_0 - x \cdot \operatorname{tg} \alpha)(r_0 - x \cdot \operatorname{tg} \alpha)^2]. \quad (7)$$

Формула (7) с учетом выражения (1) преобразуется в уравнение для определения абсолютных единичных обжатий в любом сечении  $x$  участка  $l_g$  (рис.1):

$$z = \frac{r_0^2 \cdot V_B \cdot \operatorname{tg} \alpha}{[z^2/3 + (r_0 - x \cdot \operatorname{tg} \alpha + z)(r_0 - x \cdot \operatorname{tg} \alpha)]}. \quad (8)$$

Решая уравнение (8), получили данные, которые свидетельствуют о крайне неравномерном распределении единичных обжатий по длине очага деформации; они достигают пиковых значений на границе деформируемого ( $l_g$ ) и калибруемого ( $l_k$ ) участков заготовки (рис.1).

Рациональное распределение единичных радиальных обжатий может быть достигнуто построением соответствующего продольного профиля деформирующего конуса монолитной волоки на основе равенства единичных

радиальных обжатий по длине очага деформации с учетом коэффициента упрочнения деформируемого металла.

#### Вывод

Результаты расчетов показали крайне неравномерный характер распределения единичных обжатий по длине обжимаемого участка заготовки.

#### Список литературы

1. Целиков А.И., Ирошников А.Н. Сталь. Вопросы трубного производства / А.И. Целиков – М.: Металлургиздат. 1940, 162 с.
2. Тетерин П.К., Тетерин Г.П., Поксеваткин Д.М. Определение частных обжатий по длине зоны деформации при планетарно-винтовой прокатке / П.К. Тетерин, Г.П. Тетерин, Д.М. Поксеваткин // Кузнечно-штамповочное производство. – 1995. - № 7. - С. 23-25.

## РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВЕННОГО РИСКА ПРИЧИНЕНИЯ ВРЕДА ЗДОРОВЬЮ КУЗНЕЦА-ШТАМПОВЩИКА

Д.А. Вишневецкий

*Донбасский государственный технический университет*

**Аннотация:** В статье на основе построения «дерева неисправностей» и «дерева рисков» установлен риск возникновения аварийной ситуации в кузнечно-прессовом производстве и определен риск принесенного вреда здоровью кузнеца-штамповщика согласно принятым условиям.

**Ключевые слова:** «дерево неисправностей», «дерево рисков», аварийная ситуация, производственный риск, кузнечно-прессовое производство.

## CALCULATION OF RELIABILITY OF EQUIPMENT AND RISK OF BLACKSMITH PRESS OPERATOR INJURY

D.A. Vishnevskiy

*Donbass State Technical University*

In the given article on the basis of «fault tree» and «risk tree» derivation the risk of emergency situations determined in blacksmith pressing production and risk of blacksmith press operator injury under certain terms is defined.

**Keywords:** «fault tree», «risk tree», emergency situations, manufacturing risk, blacksmith pressing production.

**Анализ состояния вопроса.** Исходя из существующих законодательных и нормативных актов Украины, в частности таких, как Законы „Об основах национальной безопасности”, „Об охране труда”, „Об общеобязательном государственном социальном страховании от несчастного случая на производстве”, концепций «Общегосударственной программы улучшения состояния безопасности, гигиены труда и производственной среды на 2006-2011 гг.» и такой же на 2012-2016 гг., «Отраслевой программы улучшения состояния безопасности, гигиены труда и производственной среды на 2008-2012 гг.» Минпромполитики Украины, [1...5], термин „безопасность” определяется как состояние защищенности жизненно важных интересов

личности, общества и государства от внутренних и внешних угроз. В русле этого понятия важной задачей является создание безопасных условий работы при использовании разного оборудования, в т.ч. и в отрасли машиностроения – это станки, агрегаты, подъемно-транспортные машины и т.д.

Из большого разнообразия способов определения безопасности оборудования, учитывая достаточно большую сложность этого процесса, наиболее соответствующим является метод „дерева неисправностей” или „дерева отказов”, которое в соответствии с [6] представляет собой топологическую модель надежности и безопасности, которая воспроизводит логико-вероятностные взаимосвязи между отдельными случайными исходными событиями в виде первичных или результирующих отказов, совокупность которых приводит к главному анализируемому событию.

Близким к приведенному является определение метода «дерева неисправностей» как организованного графического изображения условий и других факторов, вызывающих нежелательное событие, которое называется «вершиной событий» [6, 7]. Поскольку анализ дерева неисправностей связан с определением возможности проявления или не проявления главного события – случая конкретного типа, то его условия устанавливаются путем выделения из всего массива исходных условий двух подмножеств, реализация которых приводит или не приводит к возникновению главного события. Такие подмножества делятся на:

- аварийные соединения, которые представляют определенный набор исходных событий, осуществление которых гарантирует, что конечное событие произойдет;

- отсечные соединения, которые также представляют набор исходных событий, но, в отличие от предыдущих, гарантируют отсутствие главного события при условии невозникновения ни одного из слагаемых этого набора событий.

Наиболее удобным способом выявления условий возникновения и предупреждения событий является выделение из таких подмножеств так называемых минимальных соединений событий или тех из них, появление которых является минимально необходимым и достаточным для достижения желаемого результату.

Количественный анализ аварийности и травматизма с помощью структурных функций согласно [8] можно осуществить в нижеприведенной последовательности, но, в отличие от [8], обязательно учитывая по [9] вероятность невынужденных ошибок человека-оператора:

- модель делится на отдельные блоки;

- в выбранных блоках выделяются подмножества событий, соединенных условиями «И» и «ИЛИ»;

- начальное «дерево» и соответствующая ему структурная функция упрощается за счет их укрупнения;

- рассчитывается мера возможности возникновения события.

При оценке числовых характеристик исследуемого «дерева неисправностей» необходимо учитывать ряд правил и предположений.

1. События «дерева», соединенные логическим условием «И», объединяются по принципу их умножения, при этом считается, что параметр главного события рассчитывается как множество из  $n$  параметров предусловий (сомножителей)

$$P = P_1 \cdot P_2 \cdot \dots \cdot P_n = \prod_{i=1}^n P_i. \quad (1)$$

2. События «дерева», соединенные логическим условием «ИЛИ», объединяются по принципу логического сложения, а их соответствующие параметры образуют следующую зависимость:

$$P = 1 - (1 - P_1)(1 - P_2) \dots (1 - P_n) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i), \quad (2)$$

которая в отдельных случаях, например, для  $n = 2$  и  $n = 3$ , принимает вид

$$P_{i=2} = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2; \quad (3)$$

$$P_{i=3} = P_1 + P_2 + P_3 - P_1 \cdot P_3 - P_2 \cdot P_3 - P_3 \cdot P_1 + P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \quad (4)$$

3. Превращение и упрощение структурных функций осуществляют, придерживаясь основных правил булевой алгебры. В соответствии с законом поглощения справедливы, например, следующие тождества:

$$A \cdot (A \cdot B) = A \cdot B; \quad (5)$$

$$A + (A \cdot B) = A. \quad (6)$$

4. При известных структурных схемах безотказности технических систем и безопасности функционирования они могут быть легко преобразованы в «дерево событий». При этом их параллельно соединенные элементы отвечают логической операции «И», а последовательно соединенные – логической операции «ИЛИ».

Анализ методом «дерева неисправностей» позволяет выявлять комбинации отказов (неполадок) оборудования, ошибок персонала (объективных и субъективных) и внешних (техногенных, природных) влияний, приводящих к основному событию (аварийной ситуации). Этот метод можно использовать для анализа возникновения аварийной ситуации и расчета вероятности на основе установления значений вероятности исходящих событий.

Оценка надежности технических систем должна выполняться для наиболее опасных из них. При эксплуатации кузнечно-прессового оборудования (КПО), из предыдущего анализа видов травм и вообще негативных последствий для человеческого организма видно, что такими могут быть: основное и вспомогательное оборудование; местная вентиляция с системой аспирации, отказ которой может привести к резкому росту в воздухе производственного помещения концентрации вредных веществ; пневмо- или гидросистемы манипулятора для загрузки и выгрузки заготовок в нагревательную печь и их вращение в процессековки; конвейерная система транспортировки заготовок к рабочим местам и т.д.

При построении «деревьев» используется определенная символика, когда состояние элементов или исходных событий, которые не могут быть подразделены, представляется в виде кругов, а последствий – в виде

прямоугольников. Сначала нужно составить перечень отказов (событий) конкретной технической системы и определить их вероятность. Например, для манипулятора с пневматическим приводом перечень отказов включает события, приведенные в табл. 1.

Наработка  $T$  (ч) на отказ пневмосистемы манипулятора в КПО определяется по

$$T = \frac{1}{\lambda_{сл}}, \quad (7)$$

где  $\lambda_{сл}$  – интенсивность отказа наиболее слабого элемента системы [10,11], ч<sup>-1</sup>.

Недостаточная надежность оборудования приводит к огромным затратам на ремонт, простоя оборудования, прекращению обеспечения производственных участков электроэнергией, водой, газом, транспортными средствами, невыполнению ответственных заданий, иногда к авариям, связанным с большими экономическими потерями, разрушением крупных объектов и к человеческим жертвам.

Для определения причин возникновения отказов на производственном оборудовании применяется анализ методом «дерева неисправностей».

Таблица 1

Вероятность возникновения аварийной ситуации при эксплуатации пневмосистемы манипулятора

Событие	Вероятность P(t)
Нарушение правил безопасности	$5 \cdot 10^{-4}$
Выполнение ремонта оборудования во время работы	$4 \cdot 10^{-5}$
Механическое повреждение редуктора баллона	$3 \cdot 10^{-5}$
Механическое повреждение трубопровода пневмосистемы	$5 \cdot 10^{-5}$
Механическое повреждение редуктора трубопровода пневмосистемы	$5 \cdot 10^{-5}$
Выход из строя гайки редуктора	$2 \cdot 10^{-6}$
Выход из строя прокладки редуктора	$4 \cdot 10^{-4}$
Превышение давления воздуха в баллоне	$4 \cdot 10^{-6}$
Эксплуатация неисправного баллона	$2 \cdot 10^{-5}$
Эксплуатация неисправной компрессорной установки	$2 \cdot 10^{-5}$
Отказ предохранителя	$3 \cdot 10^{-6}$
Выход из строя подшипника электродвигателя	$2 \cdot 10^{-6}$
Выход из строя крыльчатки электродвигателя	$1,1 \cdot 10^{-7}$
Отказ концевого выключателя	$3 \cdot 10^{-6}$
Износ сальникового уплотнения	$3 \cdot 10^{-6}$
Выход из строя подшипника вала колеса компрессора	$2 \cdot 10^{-6}$
Износ соединительной муфты	$2,5 \cdot 10^{-6}$

Оценка вероятности отказа или безотказной работы отдельных элементов технических систем проводится на основе статистических данных по интенсивности их отказа.

Например, при использовании манипулятора с пневмоприводом для загрузки и выгрузки заготовок из печи можно констатировать, что конвейер состоит из большого количества технических элементов, отказ которых может привести к его поломке или преждевременному износу основных узлов, что может существенно повлиять на сроки выполнения технологических процессов, принимая во внимание то, что в состав наипростейшей пневмосистемы входят компрессор, редуктор, электропривод, валы с подшипниками, баллон, конечные выключатели и т.д. Если установить, что наработка на отказ пневмосистемы составляет, например, более 16000 ч, но она может быть и другой, то расчет значений вероятности безотказной работы отдельных ее элементов можно выполнять по данным интенсивности отказов и «деревя неисправностей» (рис. 1) с учетом периода нормальной эксплуатации, когда  $\lambda = \text{const}$ .

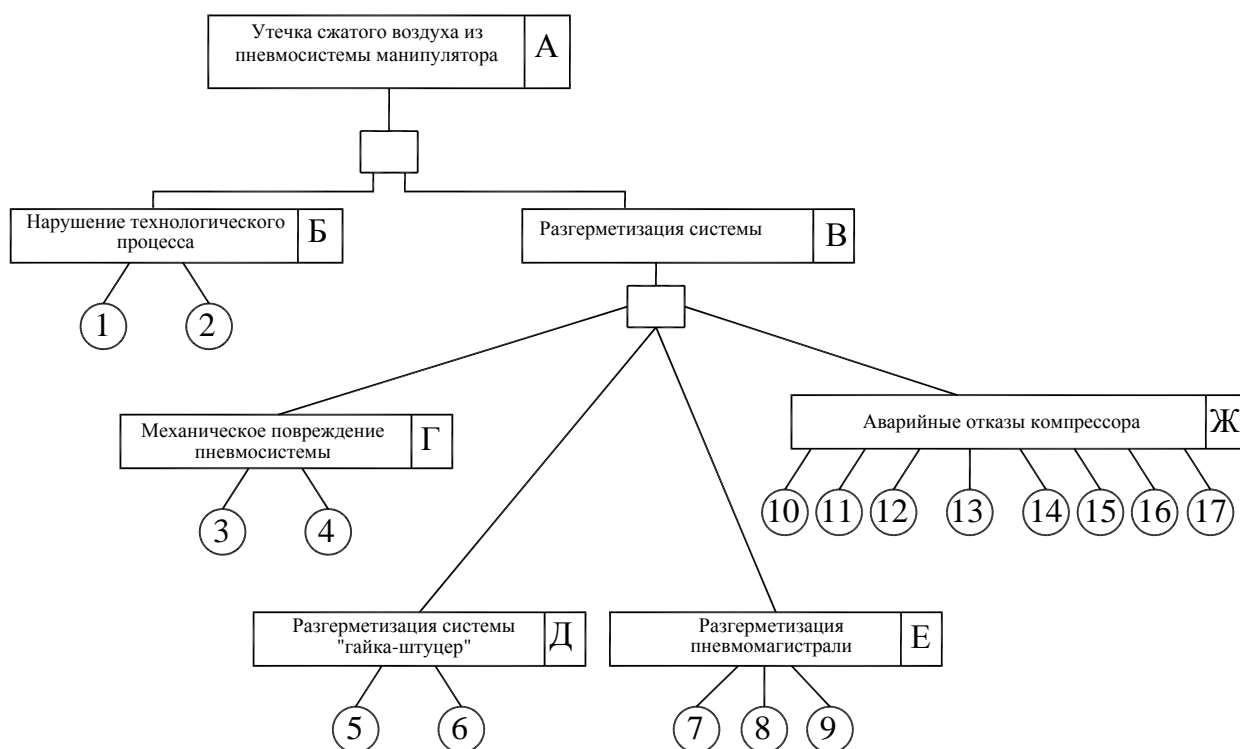


Рис. 1. Вероятность утечки сжатого воздуха из пневмосистемы манипулятора в КПО

При этом вероятность безотказной работы каждого элемента определяется по формуле

$$P(t) = e^{-\lambda t} \quad (8)$$

при заданном  $t$ , а, соответственно, вероятность отказа каждого элемента будет соответствовать значению, полученному из

$$P(t) + Q(t) = 1. \quad (9)$$

Расчет вероятности возникновения аварийной ситуации при утечке сжатого воздуха из пневмосистемы манипулятора:

$$1. P_A = P_B + P_B - P_B \cdot P_B;$$

$$2. P_B = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2;$$

3.  $P_B = P_\Gamma + P_D + P_E + P_{\text{Ж}} - P_\Gamma \cdot P_D - P_D \cdot P_E - P_E \cdot P_{\text{Ж}} - P_{\text{Ж}} \cdot P_\Gamma + P_\Gamma \cdot P_D \cdot P_E \cdot P_{\text{Ж}}$ ;
4.  $P_\Gamma = P_3 + P_4 - P_3 \cdot P_4$ ;
5.  $P_D = P_5 + P_6 - P_5 \cdot P_6$ ;
6.  $P_E = P_7 + P_8 + P_9 - P_7 \cdot P_8 \cdot P_9$ ;
7.  $P_{\text{Ж}} = P_{10} + P_{11} + P_{12} + P_{13} + P_{14} + P_{15} + P_{16} + P_{17} - P_{10} \cdot P_{11} \cdot P_{12} \cdot P_{13} \cdot P_{14} \cdot P_{15} \cdot P_{16} \cdot P_{17}$ .

После подстановки значений P(t) получаем:

$$P_{\text{Ж}} = 3,761 \cdot 10^{-5}; P_E = 42,4 \cdot 10^{-5}; P_D = 5,2 \cdot 10^{-5}; P_\Gamma = 8 \cdot 10^{-5}; P_B = 17,76 \cdot 10^{-5};$$

$$P_B = 54 \cdot 10^{-5}; P_A = 7,18 \cdot 10^{-4}.$$

Полученное значение P<sub>A</sub> используется при расчете R в случае загрузки печи для характеристики механических травм (PB), а при выгрузке – термических травм (PD) соответственно. Таким образом, вероятность возникновения аварийной ситуации, например, вследствие падения изделия из захватного органа манипулятора из-за утечки сжатого воздуха из пневмосистемы, что может привести к травмированию кузнеца-штамповщика, составляет P<sub>A</sub> = 7,18 · 10<sup>-4</sup>.

Расчеты вероятности причинения вреда здоровью в соответствии со значениями вероятности событий P(t), приводящих к причинению вреда здоровью кузнеца-штамповщика, приведены в табл. 2, а «дерево рисков» показано на рис. 2.

Таблица 2

Вероятность событий, приводящих к причинению вреда здоровью кузнеца-штамповщика

Событие	Вероятность P(t)
1	2
Прикосновение к токоведущим частям КПО	$5 \cdot 10^{-4}$
Работа без электрозащитных средств	$2 \cdot 10^{-4}$
Применение неисправного ручного инструмента	$2 \cdot 10^{-4}$
Выполнение работ без защитных очков	$2 \cdot 10^{-4}$
Выполнение работ без спецодежды	$4 \cdot 10^{-4}$
Выполнение работ без спецобуви	$2 \cdot 10^{-4}$
Выполнение работ без защитного головного убора	$2 \cdot 10^{-4}$
Выполнение работ без защитных рукавиц	$2 \cdot 10^{-4}$
Травмирование в процессе штамповки при падении изделия	$3 \cdot 10^{-4}$
Травмирование вследствие ушиба верхних конечностей	$3 \cdot 10^{-4}$
Наличие источника огня (печь)	$5 \cdot 10^{-4}$
Травмирование в процессе загрузки изделия в печь	$2 \cdot 10^{-4}$
Травмирование в процессе выгрузки изделия из печи	$2 \cdot 10^{-4}$
Попадание раскаленного металла (окалины) на легковоспламеняющийся материал	$4 \cdot 10^{-5}$
Попадание раскаленного металла на открытые части тела	$2 \cdot 10^{-5}$



1	2
Прикосновение к раскаленному металлу	$2 \cdot 10^{-5}$
Отказ защитных устройств оборудования	$4 \cdot 10^{-4}$
Превышение концентрации ВОПФ в воздухе РЗ	$5 \cdot 10^{-4}$
Превышение показателей микроклимата	$4 \cdot 10^{-4}$
Общее превышение теплового облучения	$4 \cdot 10^{-4}$
Локализация превышенного теплового излучения	$3 \cdot 10^{-4}$
Наличие повышенного уровня шума	$4 \cdot 10^{-4}$
Наличие повышенного уровня вибрации	$4 \cdot 10^{-4}$
Недостаточный уровень освещенности	$3 \cdot 10^{-4}$

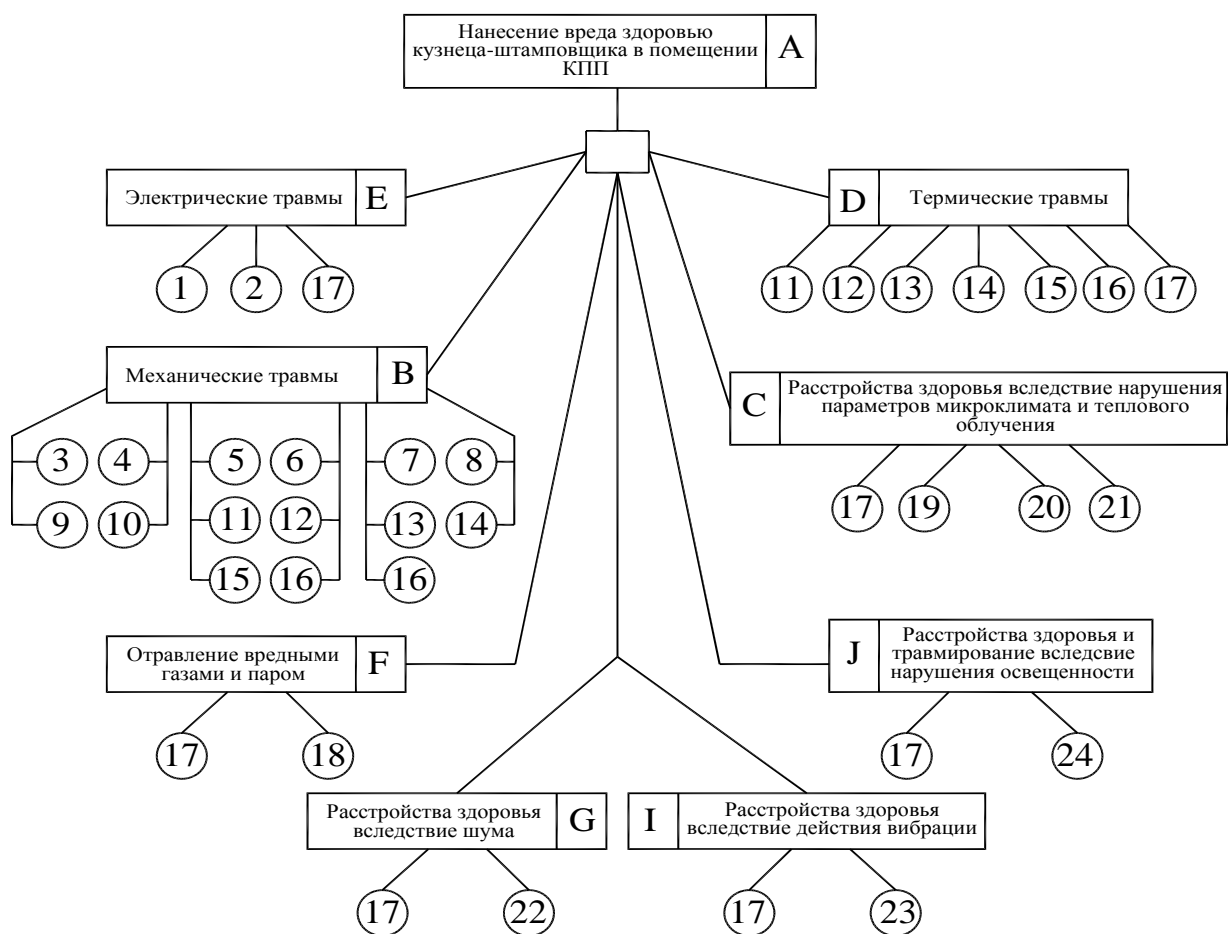


Рис. 2. «Дерево рисков» причинения вреда здоровью кузнеца-штамповщика в помещении КПО

Данные, приведенные в табл. 2 и в схеме на рис. 2, позволяют определить риск такого причинения в следующей последовательности:

- $R = 1 - (1 - P_E) \cdot (1 - P_B) \cdot (1 - P_F) \cdot (1 - P_G) \cdot (1 - P_I) \cdot (1 - P_J) \cdot (1 - P_C) \cdot (1 - P_D)$ ;
- $P_E = P_1 + P_2 + P_{17} - P_1 \cdot P_2 \cdot P_{17}$ ;

$$3. P_B = P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 + P_9 + P_{10} + P_{11} + P_{12} + P_{13} + P_{14} + P_{15} + P_{16} + P_{17} - P_3 \cdot P_4 \cdot P_5 \cdot P_6 \cdot P_7 \cdot P_8 \cdot P_9 \cdot P_{10} \cdot P_{11} \cdot P_{12} \cdot P_{13} \cdot P_{14} \cdot P_{15} \cdot P_{16} \cdot P_{17};$$

$$4. P_F = P_{17} + P_{18} - P_{17} \cdot P_{18};$$

$$5. P_G = P_{17} + P_{22} - P_{17} \cdot P_{22};$$

$$6. P_I = P_{17} + P_{23} - P_{17} \cdot P_{23};$$

$$7. P_J = P_{17} + P_{24} - P_{17} \cdot P_{24};$$

$$8. P_C = P_{17} + P_{19} + P_{20} + P_{21} - P_{17} \cdot P_{19} \cdot P_{20} \cdot P_{21};$$

$$9. P_D = P_{11} + P_{12} + P_{13} + P_{14} + P_{15} + P_{16} + P_{17} - P_{11} \cdot P_{12} \cdot P_{13} \cdot P_{14} \cdot P_{15} \cdot P_{16} \cdot P_{17}.$$

И после введения в приведенные формулы значений из табл. 2 ниже приведены результаты расчетов:

$$2. P_E = 11 \cdot 10^{-4}; \quad 3. P_B = 33,4 \cdot 10^{-4}; \quad 4. P_F = 9 \cdot 10^{-4}; \quad 5. P_G = 8 \cdot 10^{-4};$$

$$6. P_I = 8 \cdot 10^{-4}; \quad 7. P_J = 7 \cdot 10^{-4}; \quad 8. P_C = 15 \cdot 10^{-4} \quad 9. P_D = 13,8 \cdot 10^{-4}.$$

Риск причинения вреда здоровью кузнеца-штамповщика до выполнения мероприятий по улучшению условий труда составляет:

$$1. R_{до} = 10,5 \cdot 10^{-3}.$$

Риск причинения вреда здоровью кузнеца-штамповщика после выполнения мероприятий по улучшению условий труда, например, по обеспечению частичной, например, на 10%, виброизоляции оборудования, когда  $P_I = 8 \cdot 10^{-4} - 0,8 \cdot 10^{-4} = 7,2 \cdot 10^{-4}$ , составляет

$$R_{после} = 9,4 \cdot 10^{-3}.$$

Таким образом, после выполнения мероприятий по уменьшению уровня вибрации на рабочем месте (РМ), например, на 10%, риск причинения вреда здоровью кузнеца-штамповщика уменьшается на

$$\Delta R = R_{до} - R_{после} = 10,5 \cdot 10^{-3} - 9,4 \cdot 10^{-3} = 1,1 \cdot 10^{-3}.$$

Это указывает на то, что уменьшение только уровня вибрации на РМ кузнеца-штамповщика при комплексном воздействии вышеназванных вредных и опасных производственных факторов (ВОПФ) позволяет уменьшить его профессиональный риск на 10,48%.

Кроме того, по результатам расчетов установлено, что, в частности:

– вероятность возникновения аварийной ситуации при утечке сжатого воздуха из пневмосистемы манипулятора составляет:

$$P_A = 7,18 \cdot 10^{-4};$$

– риск причинения вреда здоровью кузнеца-штамповщика на РМ при использовании манипулятора с пневмоприводом достигает:

$$R = 6,7 \cdot 10^{-4}.$$

Профессиональная деятельность кузнеца-штамповщика относится ко второй категории опасности, поскольку в ее процессе выполняется относительно безопасная работа, а риск причинения вреда здоровью находится в диапазоне, который соответствует этой категории безопасности, то есть  $R = 1 \cdot 10^{-4} \dots 1 \cdot 10^{-3}$ .

**Выводы.** В результате проведенного исследования с применением «дерева неисправностей» установлена вероятность возникновения аварийной ситуации при использовании пневмосистемы манипулятора в КПО, которая рядом с другими событиями по построенному «дереву рисков» формирует производственный риск причинения вреда здоровью кузнеца-штамповщика. Показано, что при совокупном действии вредных и опасных производственных факторов уровня вибрации на его рабочем месте на 10% можно уменьшить профессиональный риск на 10,48% в принятых условиях.

#### Список литературы

1. Системы менеджмента в области охраны труда и предупреждения профессиональных заболеваний: OHSAS 18001: 2007. – 2007. – 29с.
2. Системы менеджмента в области охраны труда и предупреждения профессиональных заболеваний: OHSAS 18002:2000. Руководящие указания по применению OHSAS 18001:1999. – 2000. – 122 с.
3. Ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ) вредных веществ в воздухе рабочей зоны: ОБУВ 5203-90, утв. Главным Государственным санитарным врачом СССР 07.12.1990 г. № 5203-90. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://document.ua/orientirovochnye-bezopasnye-urovni-vozdeistviya-obuv-vrednyh-nor6365.html>.
4. Ступницька Н.В. Підвищення ефективності планування заходів запобігання виробничому травматизму на підприємствах машинобудування: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.26.01 «Охорона праці» / Н.В. Ступницька. – Львів: ДУ «Львівська Політехніка», 1999. – 22 с.
5. Кружилко О.Є. Удосконалення комплексної оцінки стану охорони праці на підприємствах: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.26.01 «Охорона праці» / О.Є. Кружилко. – К.: ННДІОП, 2001. – 20 с.
6. Оценка вероятности возникновения опасных ситуаций: метод. указания / сост. Э.А. Гомзиков. – СПб.: С.-Петербург. речной гос. ун-т водных коммуникаций, 1999. – 15 с.
7. Мирзоахмедов Ф.М. Математические модели и методы управления производством с учетом случайных факторов / Ф.М. Мирзоахмедов. – К.: Наук. думка, 1991. – 224 с.
8. Корчагин А.Б. Надежность технических систем и техногенный риск. Уч. пособие в 2-х ч. – Ч.2. Практикум / А.Б. Корчагин, В.С. Сердюк, А.И. Бокарев. – Омск: изд-во ОмГТУ, 2011. – 140 с.
9. Пожарная безопасность. Общие требования. ГОСТ 12.1.004-91. – М.: Гос-стандарт СССР, 1992. – 68 с.
10. Надежность изделий химического машиностроения. Оценка надежности и эффективности при проектировании. РД 26-01-143-83 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.skonline.ru/doc/796-6.html>.
11. Белов П.Г. Моделирование опасных процессов в техносфере. / П.Г. Белов – М.: Изд-во Академии гражданской защиты МЧС РФ. 1999. – 124 с.

## АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ ДВС

С.В. Герман, Е.М. Басова

*Алтайский государственный технический университет им И.И. Ползунова*

Рассмотрены основные способы изготовления биметаллических деталей двигателя внутреннего сгорания, выявлены недостатки, проведен анализ представленных способов.

**Ключевые слова:** клапан, биметаллические детали, способ изготовления.

## ANALYSIS OF FEATURES OF MANUFACTURING BIMETALS DETAILS ICE

S.V. German, E.M. Basova

*Polzunov Altai State Technical University (AltSTU)*

The basic methods for producing bimetallic details of internal combustion engine, revealed shortcomings, analyzed the present methods.

**Keywords:** valve, bimetallic details, preparation method

В двигателях внутреннего сгорания (ДВС) небольшие по размеру детали, такие как клапан и свеча зажигания, подвергаются циклическому воздействию высоких напряжений и температур, причем в агрессивной среде. На протяжении более ста лет совершенствовались конструкции и выискивались новые способы для продления срока эксплуатации клапанов и свечей зажигания.

Выпускные клапаны, работающие в наиболее тяжелых условиях, изготавливают из сталей типа 45X14H14B2M, 55X20Г9АН4, а впускные из стали типа 40ХН2МА, С40Х9С2, 40ХН. Эти жаростойкие легированные стали и сплавы по стоимости значительно превышают, например, сталь 35, которую можно было бы использовать для изготовления части клапанов, не соприкасающейся с агрессивной средой и высокими температурами.

Также, несомненно, заслуживают внимания способы изготовления клапанов ДВС из композиционного жаропрочного материала на основе титана и его интерметаллидов [1, 2]. Однако трудоемкость данных способов и высокая стоимость материалов не позволяет снизить себестоимость готового изделия.

Литые клапаны ДВС также являются дорогостоящими, к тому же они не исключают возникновения производственных микродефектов, таких как металлургические включения, поры, микротрещины. Кроме того, нарушение режимов термообработки, некачественная механическая обработка могут привести к быстрому выходу из строя клапана ДВС этого типа.

Наиболее перспективным является использование биметаллических клапанов ДВС, как позволяющих уменьшить себестоимость детали за счет замены материалов при сохранении срока службы.

В известных на сегодняшний день способах соединения разнородных металлов, используемых для изготовления клапанов ДВС посредством совместного пластического деформирования заготовок [3, 4], имеется ряд существенных недостатков, связанных, прежде всего, с условиями эксплуатации.

При ударной нагрузке при закрытии и в начале открытия клапана наибольшей нагрузке подвергаются посадочные фаски клапанов и седел, а торцы стрелки клапанов, кроме того, подвергаются изнашиванию в условиях недостаточной смазки, при наличии в зазоре частиц нагара, продуктов изнашивания деталей двигателя и химически агрессивных продуктов сгорания топлива и масел [5]. Поэтому особое внимание следует уделять зоне контакта между разнородными металлами, так как наличие даже незначительного микродефекта в этой зоне может привести к сокращению срока службы ДВС. Прежде всего, необходимо высокое качество зачистки контактных поверхностей заготовок перед сборкой детали.

Похожие трудности при изготовлении и эксплуатации можно наблюдать и при рассмотрении вопроса о биметаллических центральных электродах свечи зажигания. Использование разнородных материалов при производстве центрального электрода обусловлено условиями его эксплуатации. Необходимо, чтобы стальная (никелевая) оболочка центрального электрода быстро нагревалась, обеспечивая при этом оптимальные режимы пуска и устойчивую работу двигателя на начальном этапе. Медный сердечник обеспечивает интенсивный теплоотвод.

В известном способе изготовления биметаллического центрального электрода искровой свечи зажигания [6] помимо неоспоримых преимуществ существует возможность образования микродефектов во время вытяжки из-за наличия оксидов и других адсорбатов во время первой стадии соединения никелевого сплава и меди. Сварка плавлением заготовок с поперечной слоистостью, а также механический контакт (без сварки) слоев заготовок с продольно-поперечной слоистостью не может обеспечить высокое качество сборки заготовок. Во-первых, это связано с определенными сложностями при зачистке меди и никеля (почти моментальное окисление и образование пленки на поверхности контакта), а, во-вторых, с неплотностью прилегания заготовок в зоне соединения, что может привести к образованию микропор, а следовательно, слабому контакту разнородных материалов.

Таким образом, проанализированные известные способы изготовления биметаллических деталей ДВС не обеспечивают высокого качества и имеют высокую себестоимость.

#### Список литературы

1. Пат. 2437948 Российская Федерация, МПК С22С 14/00, В22F 3/00. Легкий клапан двигателя внутреннего сгорания из композиционного жаропрочного материала на основе титана и его интерметаллидов и способ его изготовления [Текст] / Москвичев Ю.П., Панин В.И., Аладьин А.В., Агеев С.В.; заявитель и патентообладатель Москвичев Юрий Петрович. – 2010121365/02; заявл. 27.05.2010; опубл. 27.12.2011, Бюл. №36.

2. Пат. 2244135 Российская Федерация, МПК F01L 3/02, С22С 14/00, С22F 1/18. Клапан двигателя внутреннего сгорания, способ его изготовления и жаропрочный титановый сплав для него [Текст] / Борбашов В.М., Дрогалин К.О., Москвичев Ю.П., Панин В.И.; заявитель и патентообладатель Общество с

ограниченной ответственностью «Компоненты двигателя», Закрытое акционерное общество «Межотраслевое юридическое агентство «Юрпромконсалтинг». - №2003101690/02; заявл. 23.01.2003; опубл. 10.01.2005, Бюл. №1.

3. Пат. 3929534 A1 DE, МПК В21К 1/22, В21J 5/00, В22F 5/00, В23К 26/00. Verfahren zur Herstellung eines Ventils / Keck Volker, Dipl.-Ing. 7000 Stuttgart, DE, Hora Pavel, Dipl.-Ing., 7014 Kornwestheim, DE, Conradt, Walter, Dipl.-Ing., 7160 Gaildorf, DE ; Anmelder: Mercedes-Benz Aktiengesellschaft, 7000 Stuttgart, DE. Anmeldetag: 06.09.1989. Offenlegungstag: 28.03.1991.

4. Пат. 20562209 Российская Федерация, МПК В21К 1/22. Способ получения составных деталей [Текст] / Поксеваткин М.И., Осколков А.И., Гуляев Ю.А., Кузнецов Л.П., Перетяцько В.Н.; заявитель и патентообладатель Поксеваткин М.И., Осколков А.И., Гуляев Ю.А., Кузнецов Л.П., Перетяцько В.Н.. - №5042359/08; заявл. 18.05.1992; опубл. 20.03.1996.

5. Чайнов, Н.Д. Конструирование двигателей внутреннего сгорания [Текст]: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» направления подготовки «Энергомашиностроение» / Н.Д. Чайнов, Н.А. Иващенко, А.Н. Краснокутский, Л.Л. Мягков; под ред. Н.Д. Чайнова. – Изд. 2-е. – М.: Машиностроение, 2011. – 496 с.: ил. – ISBN 978-5-94275-1.

6. Пат. 2498469 Российская Федерация, МПК Н01Т 21/02. Способ изготовления биметаллического центрального электрода искровой свечи зажигания двигателя внутреннего сгорания [Текст] / Медведев Е.Б, Голубев О.В., Медведев А.Е.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уфимский государственный авиационный технический университет». – 2012122844/07; заявл. 01.06.2012; опубл. 10.11.2013, Бюл. №31.

## **УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ МОНОТОННОГО ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СБОРНОЙ ЗАГОТОВКИ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ**

С.В. Герман, Е.М. Басова

*Алтайский государственный технический университет им И.И. Ползунова*

Описаны условия монотонного течения металла и особенности формирования изделий при пластическом деформировании сборных заготовок.

**Ключевые слова:** формообразование, составное изделие, сборная заготовка, монотонность, течение металла.

## **CONDITIONS OF FORMATION OF MONOTONOUS FLOW OF THE METAL IN THE PREPARATION OF PRODUCTS FROM PLASTIC DEFORMATION OF THE WORKPIECE TEAM**

S.V. German, E.M. Basova

*Polzunov Altai State Technical University (AltSTU)*

The conditions of monotonous flow of metal and features a molded product during plastic deformation of prefabricated pieces.

**Keywords:** forming, composite product, team preform, monotony, flow metal

Известно, что сопротивление деформации зависит от факторов, основными из которых являются степень деформации, температура нагрева и химический состав. Часть заготовки, расположенной в полости штампа, подвергают деформации, что приводит к повышению сопротивления деформации. Поэтому часть заготовки необходимо предварительно нагревать для снижения удельного усилия деформации и увеличения предельной степени деформации металла.

Для монотонного заполнения полости штампа необходимо уравнивать сопротивления деформации в полости штампа и в стержневой части, поступающей в очаг деформации. В общем виде условие монотонного заполнения полости штампа можно представить в виде математической связи термомеханических параметров деформируемого металла

$$\sigma_{bt} = f(\varepsilon; \xi; t^{\circ}, C; \tau), \quad (1)$$

где  $\sigma_{bt}$  – сопротивление деформации металла при температуре штамповки ( $t^{\circ}, C$ ), МПа;

$\varepsilon$  и  $\xi$  – соответственно степень и скорость деформации;

$\tau$  – время протекания процесса, с.

Для получения качественных составных изделий пластическим деформированием предварительно собранной неразъемной заготовки 1 (рисунок 1) необходимо установить рациональные термомеханические параметры процесса формообразования, обеспечивающие монотонность кинематики течения металла в очаге деформации. В противном случае возможно взаимное смещение микрообъемов металла по контактными поверхностям а, b и с неразъемного соединения элементарных заготовок 2 и 3, полученного кузнечнопрессовой сваркой (рисунок 1).

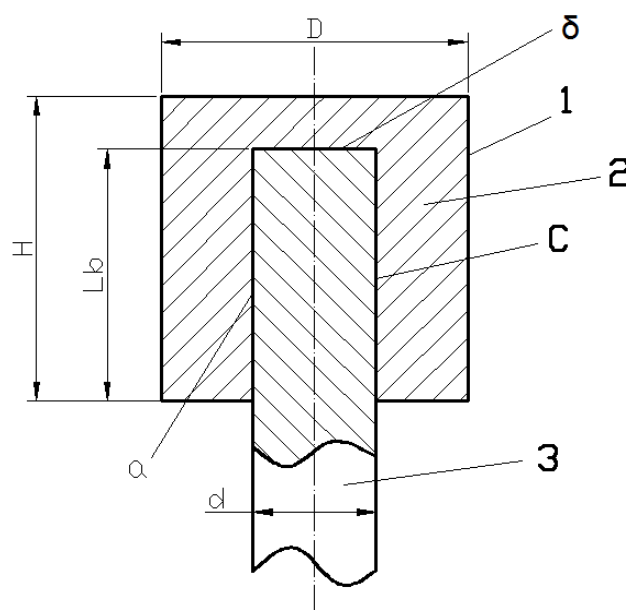


Рисунок 1. Сборная неразъемная заготовка (1), состоящая из элементарных заготовок: головной (2) и стержневой (3)

В общем виде математическая связь термомеханических параметров деформируемого металла может быть представлена выражением

$$\sigma_{bt} = f(\varepsilon; \xi; t^\circ, C; \tau), \quad (2)$$

где  $\sigma_{bt}$  – сопротивление деформации металла при температуре штамповки ( $t^\circ, C$ ), МПа;

$\varepsilon$  и  $\xi$  – соответственно степень и скорость деформации;

$\tau$  – время протекания процесса, с.

С положением о монотонности протекания процесса пластической деформации связано представление об оптимальном формоизменении металла.

Условия монотонного протекания процесса деформации сформулированы Г.А. Смирновым-Аляевым [1]:

1 – совпадение главных осей скоростей деформации с одними и теми же материальными частицами волокон металла;

2 – неизменность за весь процесс вида малой деформации при переходе из предшествующей стадии в текущую.

В этом случае если известны направления главных осей напряженного состояния, то можно установить непосредственно связь напряжений с компонентами результирующей (логарифмической) деформации.

При определении условий монотонности протекания процесса деформации параметр напряженного состояния выражают коэффициентом Лоде ( $\mu_\sigma$ ) [2]:

$$\mu_\sigma = 2 \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\sigma_1 - \sigma_3} - 1, \quad (3)$$

где  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  и  $\sigma_3$  – главные напряжения, действующие в данной точке деформируемого материала.

А параметр деформированного состояния ( $\mu_\varepsilon$ ) определяют по соотношению:

$$\mu_\varepsilon = 2 \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{\varepsilon_1 - \varepsilon_3} - 1, \quad (4)$$

где  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$  и  $\varepsilon_3$  – компоненты результирующей деформации по главным осям очага деформации.

В случае выполнения условия монотонности кинематики течения металла при формообразовании изделия из сборной заготовки (рисунок 1) материальные точки  $a_i$  (элементарные объемы волокон металла), расположенные в данный момент деформации на прямой, перпендикулярной меридиальному сечению осесимметричного очага деформации, должны располагаться на этой прямой и в предшествующие и в последующие моменты времени независимо от их местоположения в сечениях стержневой или головной заготовок, а материальные точки  $b_i$ , расположенные на произвольных нормалях к свободной поверхности очага деформации (в стадии распрессовки), также должны находиться на этих нормалях и в другие моменты времени в любой точке удаления от продольной оси деформации.

Кроме того, отношения расстояний между материальными точками волокнистой структуры очага деформации на любой нормали должны быть равны, т.е.:

$$z = \frac{a_1}{a_2} = \frac{a_2}{a_3} = \frac{a_{i-1}}{a_i} = const. \quad (5)$$



В этом случае параметр  $z$  может служить показателем монотонности течения металла в очаге деформации, характеризуемым определенным девиатором напряжений, видами напряженного ( $\mu_\sigma$ ) и деформированного ( $\mu_\epsilon$ ) состояний металла сборной заготовки.

Важнейшими критериями обеспечения монотонности процесса деформации являются продольная устойчивость сборной заготовки (отношение ее высоты ( $H$ ) к диаметру ( $D$ ) должно удовлетворять условию  $H/D \leq 2,5$  (см. рисунок 1)) и равенство сопротивлений деформации металла головной заготовки ( $\sigma_2$ ) и участка стержневой заготовки ( $\sigma_c$ ), внедренной в головную заготовку,

$$\text{т.е.} \quad \sigma_2 = \sigma_c. \quad (6)$$

На основе металлографических исследований структуры деформированных сборных заготовок определяют показатель  $z$  (условие (4)) и качество соединения элементарных заготовок по контактными поверхностям.

Эксплуатационные параметры полученных изделий оценивают механическими испытаниями на разрыв, ударную вязкость и усталостную прочность.

#### Список литературы

1. Смирнов-Аляев, Г.А. Механические основы пластической обработки металлов [Текст] / Г.А. Смирнов-Аляев. – М.: Машиностроение, 1968. – 272 с.
2. Колмогоров, В.Л. Напряжения, деформации, разрушения [Текст] / В.Л. Колмогоров. – М.: Металлургия, 1979. – 231 с.
3. Губкин, С.И. Пластическая деформация металлов. Т.2. [Текст] / С.И. Губкин. – М.: Металлургия, 1960. – 416 с.

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМПОНОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ УСТРОЙСТВ ДЛЯ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И ИНСТРУМЕНТОВ**

Р.В. Гребеньков, Е.Ю. Татаркин, А.М. Иконников

*Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова*

**Аннотация:** Авторы дают обобщенную характеристику способа проектирования компоновочных решений устройств для магнитно-абразивной обработки сложнопольных поверхностей деталей машин и инструментов с помощью И-ИЛИ-графа. Организованная структура в виде графа является обобщенной и включает в себя возможные известные варианты конструкций устройств. Построение И-ИЛИ-графа конструкций устройств для магнитно-абразивной обработки последовательно осуществлялось в пять этапов. На первом этапе создавался информационный массив. На втором этапе проводится функциональный анализ каждого из объектов исходного множества. Третий этап разработки И-ИЛИ-графа связан с построением И - деревьев для каждого из технологических решений, входящих в исходное множество. На четвертом этапе среди построенных И-деревьев выявлены технические решения с инвариантными функциями. На пятом этапе все И-ИЛИ - деревья групп объединены в общее И-ИЛИ-дерево всего класса устройств для магнитно-абразивной обработки. Далее синтезируются конструкции устройств. Использование синтезированного устройства для магнитно-абразивной обработки позволяет производить обработку

сложнопрофильных поверхностей с возможностью изменения диаметра рабочей поверхности для повышения качества и производительности обработки.

**Ключевые слова:** магнитно-абразивная обработка, И-ИЛИ-граф, проектирование, устройство для магнитно-абразивной обработки, сложнопрофильная поверхность.

## DESIGN LAYOUT SOLUTIONS DEVICE FOR MAGNETIC-ABRASIVE MACHINING OF COMPLEX SURFACES OF MACHINE PARTS AND TOOLS

R.V. Grebenkov, E.Y. Tatarkin, A.M. Ikonnikov

*Altai state technical university named after I.I. Polzunov*

**Abstract:** The authors give a generalized description of the method of designing the layout of devices for magnetic-abrasive machining of complex surfaces of details of machines and tools, using AND-OR-graph. The organized structure in the form of a graph is generalized and includes the possible known variants of designs of devices. Building AND-OR-graph design of the device for magnetic-abrasive processing is sequentially carried out in five stages. The first phase has created data array. In the second stage, a functional analysis of each of the objects of the original set. The third stage of development AND-OR-graph is associated with building AND-trees for each of the technology solutions included in the initial set. In the fourth stage built among AND-trees identified technical solutions with invariant functions. At the fifth stage all AND-OR trees of groups United in a General AND-OR-tree of the entire class of devices for magnetic-abrasive machining. Next, the synthesized design of the device. Using synthesized device for magnetic-abrasive machining allows machining of complex surfaces with the possibility of changing the diameter of the working surface to improve quality and productivity.

**Key words:** magnetic abrasive machining, AND-OR-graph, design, device for magnetic-abrasive machining, complex surface.

Эксплуатационные свойства поверхности в значительной мере определяются состоянием поверхностного слоя. Для поверхностей, к которым предъявляются требования долговечности и надежности, важны такие характеристики поверхности, как коэффициент трения, длительность приработки, износостойкость, отсутствие дефектов в виде микротрещин, внутренние остаточные напряжения, коррозионная стойкость. Окончательные свойства поверхности формируются в процессе ее изготовления и, особенно, на финишных операциях.

Эффективным способом повышения качества деталей является обработка абразивом на гибкой связке. Наиболее производительным способом обработки абразивом на гибкой связке является магнитно-абразивная обработка. Сущность магнитно-абразивной обработки заключается в воздействии на обрабатываемую деталь порошковой ферромагнитной массы, уплотненной магнитной индукцией. При магнитно-абразивной обработке инструментом является ферромагнитный порошок, который находится в рабочем зазоре в подвижно-связанном состоянии. Роль связки между абразивными зернами выполняет магнитное поле, обладающее упругими силами воздействия на зерна порошка.

Магнитно-абразивная обработка деталей со сложнопрофильными поверхностями не нашла широкого применения. Актуальность предлагаемого

устройства для магнитно-абразивной обработки обусловлена необходимостью улучшения эксплуатационных свойств деталей, содержащих сложнопрофильные поверхности.

Особую роль при выявлении вариантов конструкций устройств для магнитно-абразивной обработки играют методы поискового конструирования, позволяющие значительно интенсифицировать поисковые работы.

Поиск нового технического решения включает в себя следующие этапы:

1. Анализ проблемы.
2. Выявление недостатков, которые не позволяют с использованием прототипа обеспечить заданные требования, предъявляемые к техническому решению и направленные на решение проблемы.
3. Получение набора решений.
4. Выбор рационального решения с учетом достижения заданных требований.

В основу анализа конструкции устройств положен принцип выделения и рассмотрения отдельных структур с двухуровневой иерархией, объединение которых позволяет получить многоуровневую иерархическую структуру. Это наиболее удобная и компактная форма представления информации об известных технических решениях.

Организованная структура в виде графа является обобщенной и включает в себя возможные известные варианты конструкций устройств. Структура позволяет, с одной стороны, разложить на элементы конструкцию с целью получения более полного представления об устройстве, с другой стороны, построить конструктивную схему найденного технического решения и оценить его работоспособность. Граф  $G(X,U)$  включает в себя два типа множеств: множество вершин  $X$  и множество ребер  $U$ . Множество вершин  $X$  состоит из пары подмножеств  $X = X_1 \cup X_2$ .

Вершины подмножества  $X_1$  называются И-вершинами, они представляют собой элементы технических объектов, общие для всех технологических решений.

Подмножество  $X_2$  составляют ИЛИ-вершины, которые объединяют альтернативные элементы и признаки, учитывающие особенности каждого из технологических решений. Форма представления информации о прототипах в виде связного И-ИЛИ-графа, кроме наглядности и удобства выбора, позволяет проводить синтез новых технологических решений.

Для рационального использования построенного И-ИЛИ-графа при синтезе новых конструкций устройств использовался алгоритм поиска технических решений. Алгоритм синтеза конструкций на И-ИЛИ-графе формализован в виде рабочей программы на персональном компьютере.

Построение И-ИЛИ-графа конструкций устройств для магнитно-абразивной обработки последовательно осуществлялось в пять этапов.

На первом этапе создавался информационный массив. Его источниками являются государственные и отраслевые стандарты, описания отечественных и зарубежных патентов и авторских свидетельств на изобретения. Для создания информационного массива проведен поиск по патентным фондам шести стран:

России (СССР), США, Великобритании, Франции, Германии и Японии за период с 1956 по 2014 годы.



Рис. 1. Алгоритм поиска технических решений

На втором этапе проводится функциональный анализ каждого из объектов исходного множества, например АС СССР 848318 – устройство для магнитно-абразивной обработки (рисунок 2).

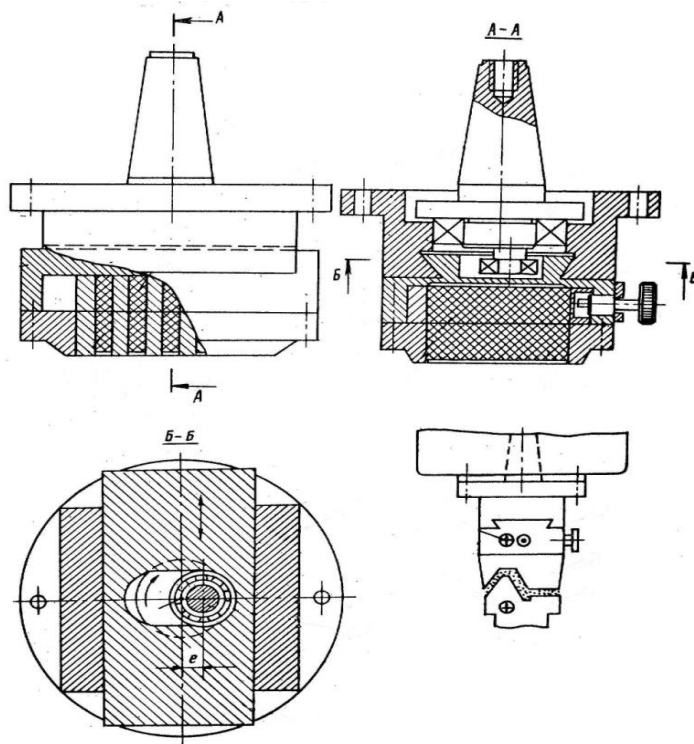


Рис. 2. Устройство для магнитно-абразивной обработки  
(АС СССР 848318)

С целью выявления альтернативных вариантов реализации функций устройства была построена конструктивно-функциональная структура, представленная на рисунке 3.

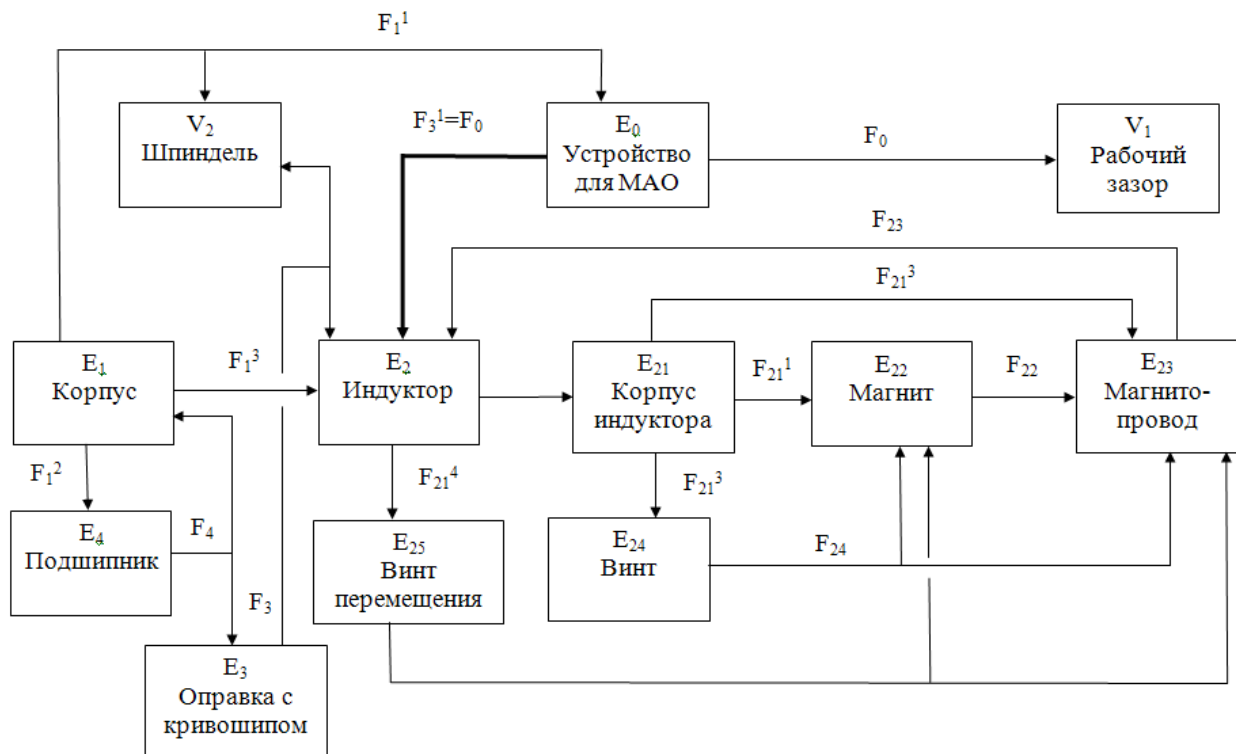


Рис. 3. Конструктивно-функциональная схема устройства  
(АС СССР 848318)

Третий этап разработки И - ИЛИ-графа связан с построением И - деревьев для каждого из технологических решений, входящих в исходное множество. Для этого их конструктивно-функциональные структуры дополнены признаками, характеризующими функциональные элементы: взаимное расположение элементов в пространстве, характер взаимосвязи, геометрическая форма, материал, соотношения параметров, особенности конструктивного исполнения. Ниже рассмотрено иерархическое описание конструкции устройства для магнитно-абразивной обработки АС СССР 848318.

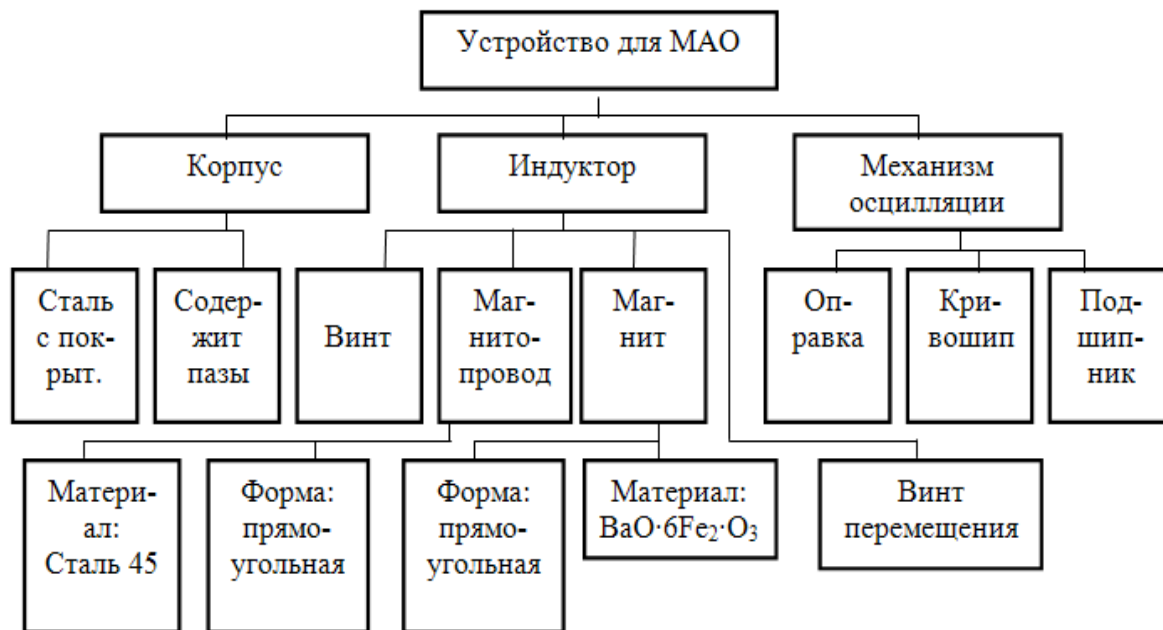


Рис. 4. И-дерево устройства для магнитно-абразивной обработки (АС СССР 848318)

На четвертом этапе среди построенных И-деревьев выявлены технические решения с инвариантными функциями. Эти конструкции объединены в группы. В каждой образованной группе объектов И-деревья содержат некоторое множество одинаковых вершин. Это позволяет представить структуры технологических решений группы в виде одного дерева, которое, кроме вершин "И", содержит вершины "ИЛИ", в которых будут размещаться альтернативные реализации функций элементов и признаков. Фрагмент И-ИЛИ-дерева устройств для магнитно-абразивной обработки изображен на рисунке 5.

Объединение осуществляется от корня графа к вершинам, от наиболее общих структурных элементов к более частным. Особенность построенного таким образом И-ИЛИ-дерева заключается в том, что уже на данном этапе в нем содержатся такие конструкции инструмента, которые при разработке дерева не учитывались. Синтезирование технологических решений возможно в результате комбинирования элементов и признаков исходного множества.

На пятом этапе все И-ИЛИ - деревья групп объединены в общее И-ИЛИ - дерево всего класса устройств для магнитно-абразивной обработки. Для этого использовались те же принципы, что и на предыдущем этапе.

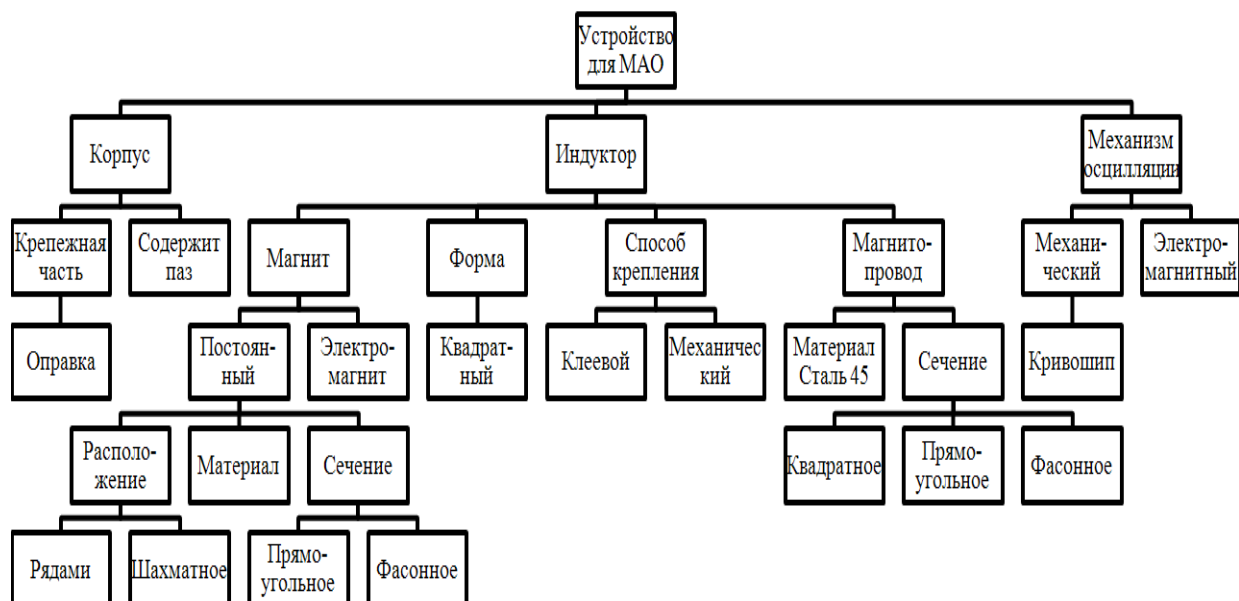


Рис. 5. Фрагмент общего И-ИЛИ - дерева устройств для магнитно-абразивной обработки

Структура общего И-ИЛИ - дерева конструкций устройств, полученного расширением дерева прошлого опыта, не является закрытой. Она предполагает свое дальнейшее дополнение. Такое дополнение проводится на основе изучения самых последних патентов и авторских свидетельств, выданных на способы магнитно-абразивной обработки сложных поверхностей и на функционально близкие технические объекты. Кроме того, возможно комбинирование ветвей дерева и элементов между собой. Инженерная практика показывает, что наиболее оригинальные и эффективные решения часто включают элементы, которых нет у известных технических объектов.

Далее синтезируются конструкции устройств. Синтез возможен, если выполняются три условия: во-первых, существует техническое задание на проектирование, во-вторых, имеется описание альтернативных вариантов технических решений, представленных в виде И-ИЛИ графа, в-третьих, построена модель оценки.

Синтезированное устройство для магнитно-абразивной обработки поясняется чертежами, на которых на рисунке 6 изображено устройство для магнитно-абразивной обработки, общий вид; на рисунке 7 – тоже, разрез А-А; на рисунках 8, 9 - схемы обработки с помощью предлагаемого устройства пространственно сложных криволинейных поверхностей.

Кроме того, на рисунках 8, 9 показано круговой стрелкой движение устройства для магнитно-абразивной обработки с необходимой частотой вращения  $n$ ,  $\delta$  – рабочий зазор и  $d$  – диаметр рабочей поверхности магнитного индуктора.

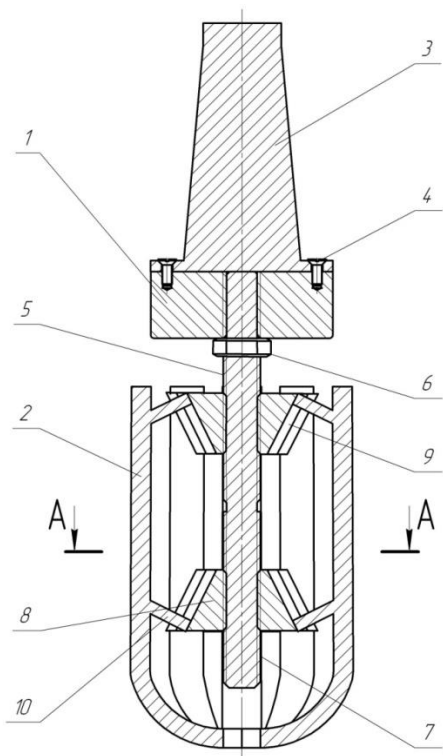


Рис. 6. Устройство для магнитно-абразивной обработки

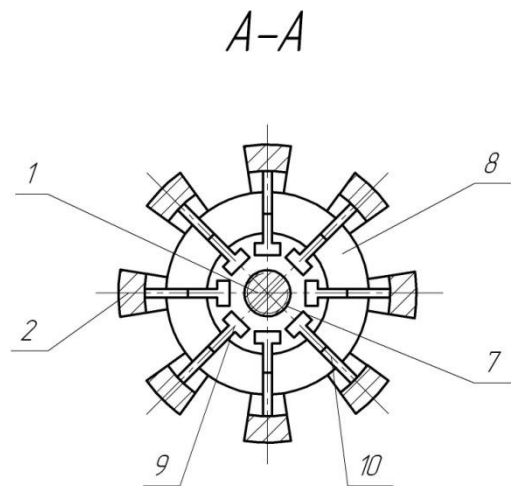


Рис. 7. Устройство для магнитно-абразивной обработки, разрез А-А

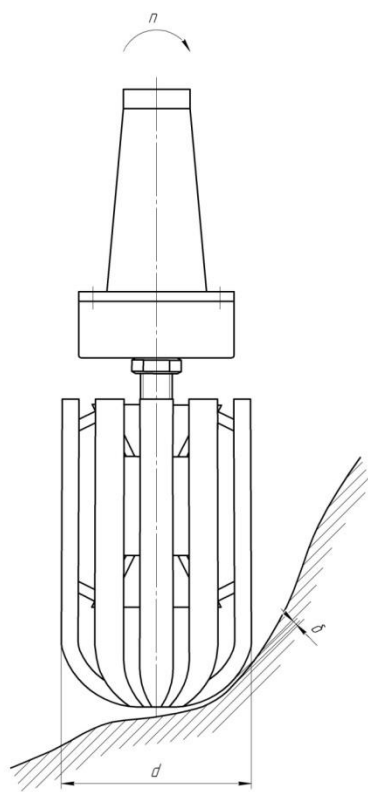


Рис. 8. Схема обработки с помощью предлагаемого устройства, настроенного на наибольший диаметр, пространственно сложных криволинейных поверхностей

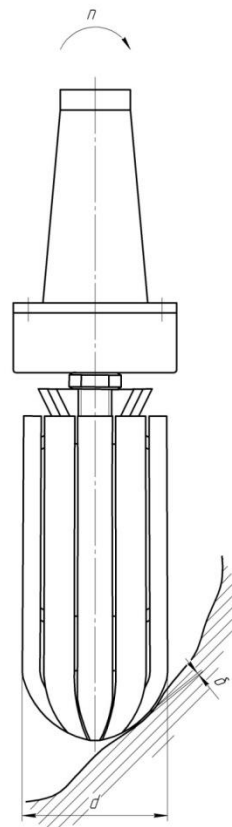


Рис. 9. Схема обработки с помощью предлагаемого устройства, настроенного на наименьший диаметр, пространственно сложных криволинейных поверхностей



Устройство для магнитно-абразивной обработки содержит магнитный индуктор, выполненный из корпуса 1 и блока периферийно установленных постоянных магнитов 2, и хвостовик 3. Корпус магнитного индуктора выполнен в виде диска со стержнем в центре, причем наружная сторона постоянных магнитов 2 является рабочей, а магнитный индуктор в продольном сечении имеет U – образную форму. Хвостовик 3 жестко соединён с корпусом 1 магнитного индуктора с помощью крепёжных элементов, например, винтов 4, расположенных по окружности диска корпуса 1 магнитного индуктора. На стержне выполнена правая резьба 5 на  $2/3$  длины стержня, посредством которой и крепежного элемента, например гайки 6, он закрепляется в диске, а на противоположной от диска стороне стержня также выполнена левая резьба 7 на  $1/3$  длины стержня. На обеих сторонах стержня устанавливаются гайки 8, выполненные в виде усеченных конусов, на поверхности которых изготовлены T – образные пазы 9 для радиального перемещения постоянных магнитов 2, относительно оси магнитного индуктора, причем форма пазов 9 является ответной форме направляющих 10, находящихся на внутренних сторонах постоянных магнитов 2.

Устройство для магнитно-абразивной обработки работает следующим образом. В шпинделе вертикально-фрезерного станка с числовым программным управлением (ЧПУ) устанавливается хвостовик 3 устройства для магнитно-абразивной обработки и закрепляется с помощью шомпола (на чертеже не показан). Перед началом работы устанавливается необходимый диаметр  $d$  рабочей поверхности магнитного индуктора путем вращения конусных гаек 8 и равномерно, вручную или дозатором, наносится магнитно-абразивный порошок на поверхность постоянных магнитов 2. При включении станка вращение шпинделя с необходимой частотой  $n$  сообщается магнитному индуктору. Обрабатываемая деталь получает движение подачи от привода станка по управляющей программе с требуемым рабочим зазором  $\delta$ . Величины частоты вращения  $n$ , рабочего зазора  $\delta$  и диаметра рабочей поверхности магнитного индуктора  $d$  задаются, исходя из требуемого качества обрабатываемой детали и ее конфигурации. Съём отработанного магнитно-абразивного порошка с рабочей поверхности устройства осуществляется с помощью скребков, изготовленных из немагнитного материала.

Таким образом, использование предлагаемого устройства для магнитно-абразивной обработки позволяет производить обработку сложнопрофильных поверхностей с возможностью изменения диаметра рабочей поверхности для повышения качества и производительности обработки.

#### Список литературы

1. Барон, Ю.М. Магнитно-абразивная обработка изделий и режущих инструментов. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1986. – 176 с.
2. Сакулевич, Ф.Ю. Основы магнитно-абразивной обработки. – Мн.: Наука и техника, 1981. – 328 с.
3. Хомич, Н. С. Магнитно-абразивная обработка изделий: монография / Н. С. Хомич. - Минск: БНТУ, 2006. - 217 с.: ил.

## ПОВЫШЕНИЕ АКТИВНОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ В РЕЖИМЕ ГРАНИЧНОЙ СМАЗКИ

А.В. Дунаев, М.Н. Фильков

*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка»*

**Аннотация:** Приведен анализ механизмов образования триботехнических покрытий при вводе в смазочную среду минеральных добавок.

**Ключевые слова:** трение, покрытие, ювенильная поверхность, активность поля металлов, углеродная пленка

## INCREASED ACTIVITY OF THE FRICTION SURFACES IN THE REGIME OF BOUNDARY LUBRICATION

A.V. Dunaev, M.N. Filkov

*Federal State Budgetary Institution The All-Russian Research Institute for the Agricultural Machines and Harvesters Engineering Technology and Services*

**Abstract:** the analysis of the mechanisms of formation of tribotechnical coatings in typing in lubricating environment mineral additives

**Keywords:** friction, coating, juvenile surface, field of activity metals, carbon film

В нетрадиционной триботехнике ощутимы успехи в создании антифрикционных покрытий с помощью трибосоставов в процессе эксплуатации оборудования с маслами, содержащими традиционные пакеты присадок. Механизмы образования таких трибопокрытий различны, и полной ясности в них нет. К тому же имеется множество импортных и российских трибодобавок к маслам минеральной, органической, смешанной природы, которые создают как временные, удерживаемые слабыми силами Ван-дер-Ваальса пленки, так и прочные долговечные, что затрудняет кристаллизацию главного направления в нетрадиционной триботехнике.

Один из возможных механизмов – повышенная каталитическая активность поверхностей трения, а также физико-химических процессов при трении. Так, общепринято [2], что граничные смазочные пленки образуются именно под влиянием силового поля поверхностей трения, а органические молекулы адсорбируются на них, правда, как перпендикулярно, так и параллельно. При этом неполярное вещество не растекается, а полярные вещества легко распространяются по поверхностям.

Ранее [1] имелось «мнение о малой адсорбционной активности ювенильных поверхностей металлов по отношению, например, к жирным кислотам». Но А.С. Ахматов считал, что это противоречит мнению об «общеизвестной высокой физико-химической активности таких поверхностей», которое «не получило удовлетворительного объяснения и поэтому нуждается в проверке». Но за прошедшие десятилетия [2] здесь достигнута некоторая ясность. И имеются исследования о повышении этой активности трибосоставами, содержащими мягкие абразивы и щелочные металлы.

На наш взгляд, повышенная каталитическая активность ювенильных поверхностей трения проявляется в трех направлениях. Первым

подтверждением могут служить трибоиспытания [3, 4] различных минералов – мягких абразивов на основе слоистых силикатов, в т.ч. серпентинов (на основе магнезия, алюминия, никеля), монтмориллонита, цеолита (рисунки 1-3), а также каолинита, полтитаната калия и даже высокодисперсного аморфного кремнезема. Здесь разные по составу порошки очищают поверхности трения от пленок и разрушенных структур, чем создают условия для повышения их каталитической активности и образования ремонтно-восстановительного покрытия.

Наши испытания проведены в Наноцентре ГОСНИТИ на трибометре TRB-S-DE по схеме «палец – диск» при диаметре пятна контакта 0,5 и 0,7 мм и нагрузках до 60 Ньютон, т.е. до удельных давлений 155-212 МПа. Сырьем трибосостава использованы отходы комбината «Сарановский» Чусовского р-на Горнозаводского геологического р-на на западном склоне Урала. Порошок в основном состоит из минерала лизардитового бастита по ортопироксену и апооливинового лизардита ( $Mg_3[Si_2O_5](OH)_4$ ). В состав порошка кроме незначительного содержания хромшпинелида ( $(Mg,Fe)(Cr,Al,Fe,Ti)_2O_4$ ) могут входить небольшие количества хлоритов, кальцит и гранат (уваровит). Порошок был очищен, прокален, измельчен на мельнице «Активатор 2SL» и фракционирован на сите 40 мкм виброгрохота «Analizette»,. По данным РФА на дифрактометре XRD 6000 с библиотекой спектров ICDD в трибосоставе по выявлены:

- $(Mg,Al)_3(Si,Fe)_2O_5$  – Aluminum Iron Magnesium Si Lisardite-1T – основной минерал группы серпентина;
- $Ni_3Si_2O_5(OH)_4$  – Nickel Silicate Hydroxide Pecoratite-2Mc1 – вторичный минерал группы серпентина;
- $Ni_5Al_4O_{11} \cdot 18H_2O$  – Nickel Aluminum Oxide Hydroxide – другая примесь из минералов группы серпентина.

Результаты испытаний (рис. 1) показали высокую нагрузочную и антифрикционную эффективность масла Мобил, совпадение антифрикционных свойств трибосоставов ЦНТ и МС-20, разработанных по аналогичной технологии. Хорошие антифрикционные свойства подтвердили наноалмазные составы КАРАТ-5 и КАРАТ-М, а наш состав «Сарановский» оказался лучшим из серпентиновых и приближает трибосвойства масла М-10Г<sub>2К</sub> среднего уровня качества класса СС к высшему мировому уровню свойств масла Мобил класса SJ/SL.

Другими подтверждениями повышенной каталитической активности поверхностей трения являются аналогичные результаты испытаний других минералов (рисунки 2, 3).

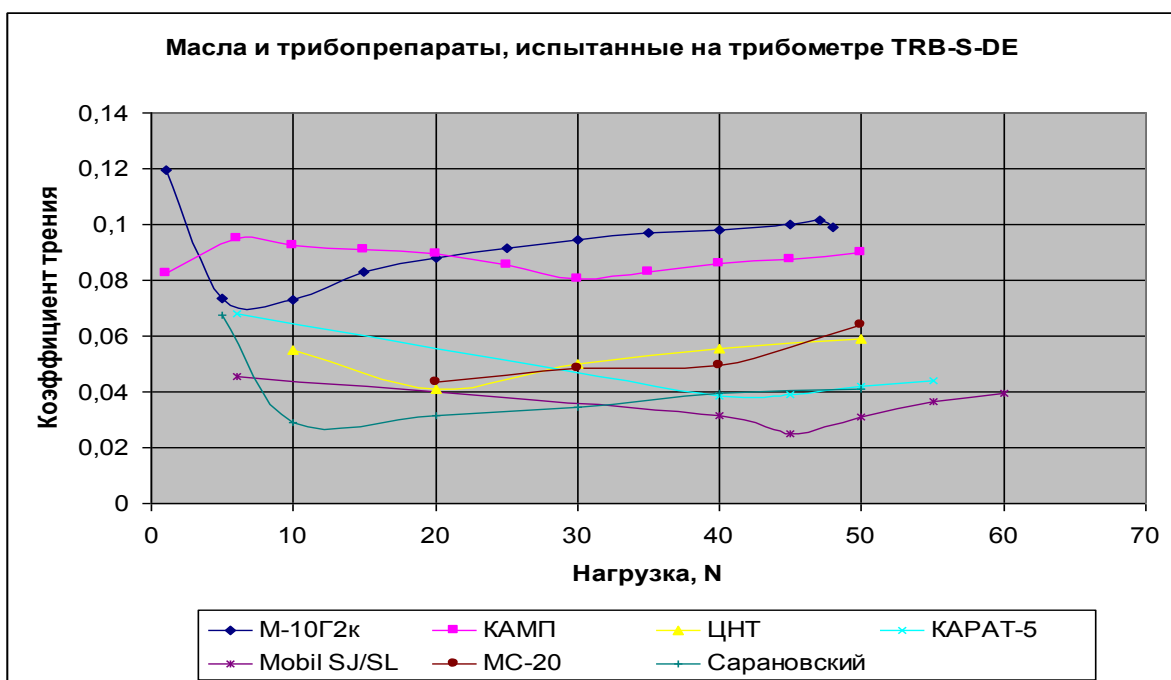


Рисунок 1. Коэффициенты трения масла Мобил API SJ/SL SAE 05W-30, масла М-10Г<sub>2к</sub> (ЗАО Роснефть) и введенных в него трибосоставов: КАМП (ООО «Автостанкопром»), ремонтно-восстановительных серпентиновых ЦНТ (ООО «ЦНТ»), МС-20 (ГОСНИТИ и ООО «РИП»), «Сарановский» (ГОСНИТИ и ВИЭСХ) и наноалмазных КАРАТ-5 и КАРАТ-М

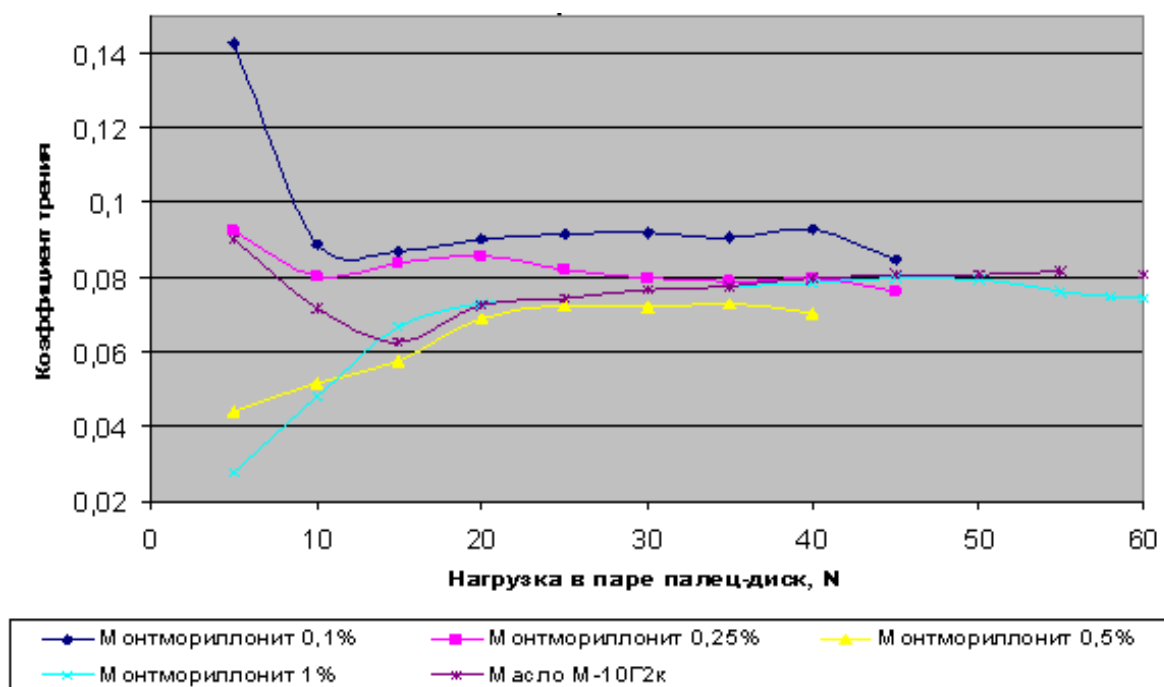


Рисунок 2. Коэффициенты трения на трибометре TRB-S-DE пары «палец-диск» в масле М-10Г<sub>2к</sub> с давлениями до 212 МПа и с минералом монтмориллонит: видно, что с увеличением концентрации минерала нагрузочная и антифрикционная способность трибопары увеличивается

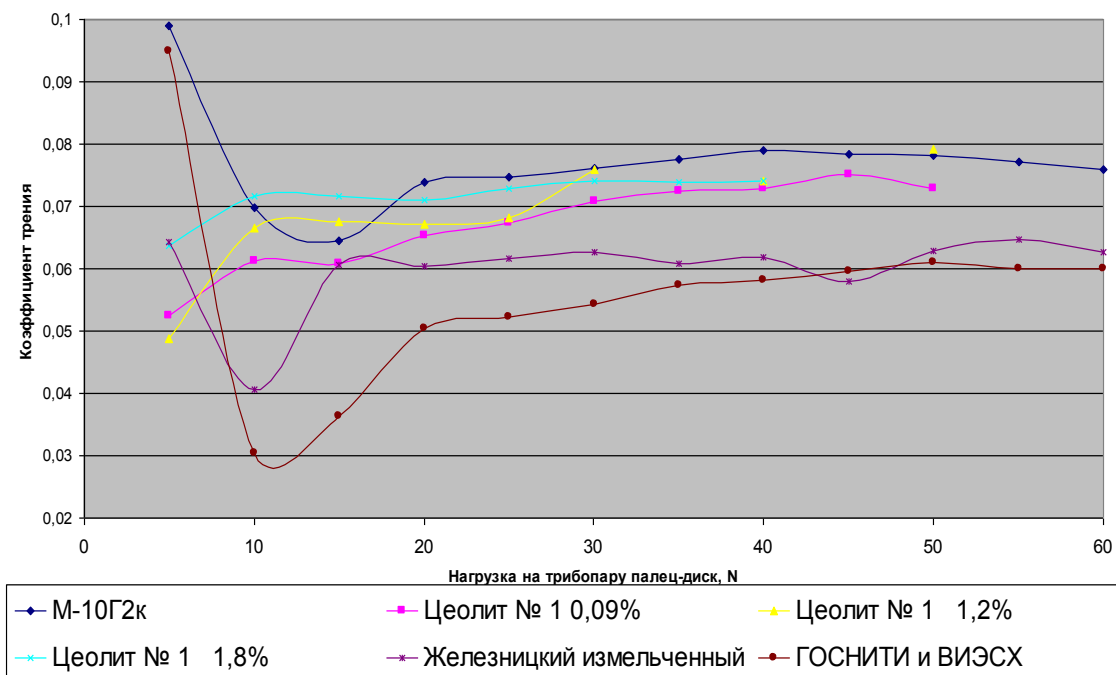


Рисунок 3. Коэффициенты трения на трибометре TRB-S-DE пары «палец-диск» в масле М-10Г<sub>2К</sub> с давлениями до 212 МПа и с минералами цеолит (ООО «Энергохолдинг»), серпентин (ООО «Жилсервис»), составом ТрибоГОСНИТИ-2 (ГОСНИТИ и ВИЭСХ) в сравнении с коэффициентами трения в чистом масле М-10Г<sub>2К</sub>

Необычным подтверждением повышенной активности поверхностей трения служат данные Д.Н. Любимова (рисунок 4).

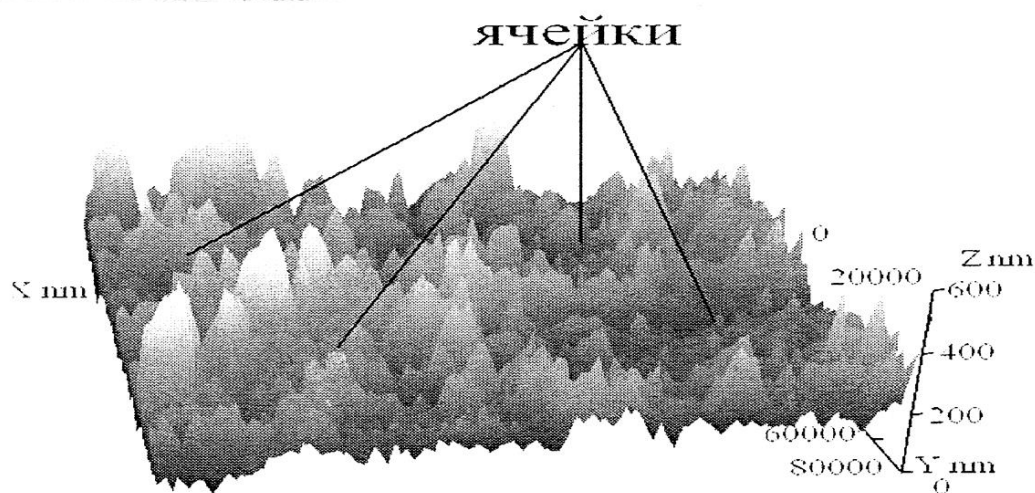


Рисунок 4. Изображение на АСМ поверхности стали после испытания в среде смазочной композиции с серпентином

Здесь (рисунок 4) показано образование серпентиновыми составами на гранях кристаллов поверхностей трения структур, выросших «в областях рядом с границами зерен кристаллов» и напоминающих цепочки сталагмитов. Ячеистое строение» структуры заполняется пористым полимером с высоким содержанием углерода, который в обширной литературе называется

алмазоподобной углеродной пленкой (diamond likes carbon films – DLC films). Формируемый на «сталагмитах» слой имеет «крайне высокую к поверхностям трения адгезию и износостойкость. Испытания порошка серпентина в режиме практически сухого трения на ЧШМ-1 показали коэффициент трения 0,6-0,8, но схватывания и задира из-за хороших свойств слоя при испытании за 20 тыс. с не произошло» [3].

Другие авторы полагают, что минеральный фундамент покрытия «имеет статистически регулярное ячеистое строение со стенками переменной высоты до 1 мкм», «имеет крайне высокую адгезию к поверхности» (но гендиректор ООО «Триггер» утверждает, что первичный PVC-слой легко стирается рукой).

Исходя из строения пленки, исследованной ИК-спектрометром Cary-100 (Varian), и величины работы когезии авторы идентифицируют покрытие как ячеистый минеральный скелет, прочно удерживающий сорбцией и капиллярными силами слой трибополимера, а «трибополимер перешит избытком радикальных фрагментов и заполнен смазочным материалом». Тонкая прозрачная PVC-пленка, прочно связанная с дорожкой трения, гидрофобна, полярнее минерального масла, не смывается растворителями, может быть удалена только механически и обеспечивает коэффициент трения не более 0,10 (а в масле М-10Г<sub>2К</sub> по рис. 1 - около 0,04).

Обработка слоистыми силикатами - мягкими абразивами создает на поверхностях трения аморфное углеводородное покрытие (рисунки 5, 6). На его поверхности до 90% углерода, электросопротивление в трибопаре поднимается до сотен кОм, на самом покрытии 10 – 300 Ом/см, и покрытие стораёт от воздействия электрического тока. Эффект такой минеральной обработки проявляется через час, но продолжает наращиваться в эксплуатации и после смены масла. Поверхность покрытия высокой чистоты и твердости прозрачна, под ним видны следы механической обработки. Цвета покрытия – жёлто-золотистый, золотисто-сиреневый, светло-серый.

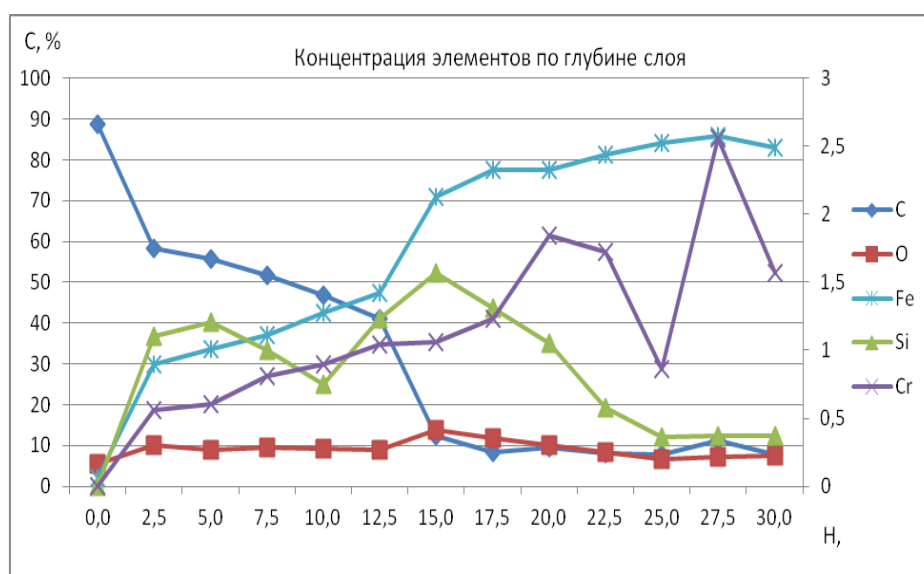
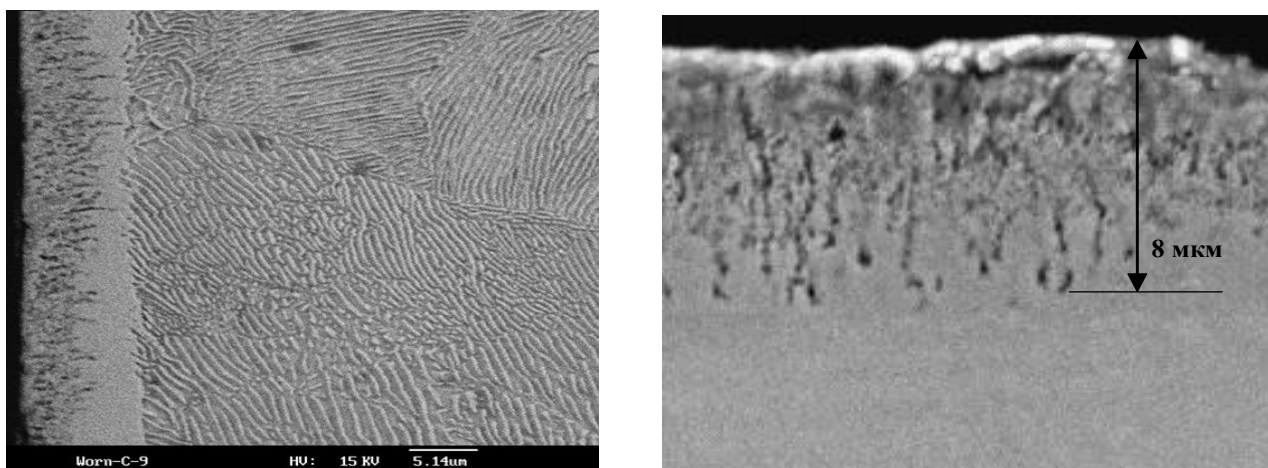


Рисунок 5. Элементный состав слоя по глубине по данным к.т.н. Ю.Г. Лаврова (НПТК СУП-РОТЕК)

Согласно рисунку 5 на поверхности детали, т.е. на дне РВС-слоя, химэлементы из состава стали, а выше в слое состав меняется с преобладанием углерода. В рентгеновском растровом микроскопе «Camscan-4DV» слой резко отличается от основы, большая его часть пориста (поры 1...15 мкм), имеются сглаженные участки. В спектре слоя с микроанализатора «LINK» наблюдается повышенное содержание Са, Al, поверхность слоя обогащена Si, Са и Mg. По данным Ю.Г. Лаврова, слой обеспечивает повышение износостойкости сопряжений в 1,5-2 раза и снижение коррозионного изнашивания.



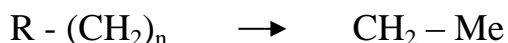
а

б

Рисунок 6. Шлифы РВС-обработанных деталей: а) гильзы цилиндра китайского тепловозного дизеля, прошедшего 150 тыс. км после двукратной обработки АРТ-составами (РВС): слева виден неметаллокерамический слой; б) аналогичный шлиф детали, обработанной РВС от НПО «Руспромремонт» (по Павлову О.Г. и Пустовому И.Ф.)

РВС-процесс с серпентинами интенсивнее идет на поработавших, частично расходуемых им маслах и целесообразен за 50-100 мото•ч до смены масла. Добавление в ГМТ сажи интенсифицирует процесс. Параметры низкого трения сохраняются и после смены масла до износа покрытия. Факторами РВС-процесса являются контактное давление и температура, в холодном масле процесс неинтенсивен.

Далее учтем другое замечание А.С. Ахматова [1]: «Мы считаем, что в условиях трения возможны и прямые химические реакции свободных радикалов с окисленной и ювенильной поверхностью металла на участках ее обнажения при трении и износе по схеме:



Такая активность поверхностей трения реализована в ЭЛИНП трибополимеризацией непердельных мономеров типа ЭФ-357 в трибосоставах АРВК, АРВО. Но и здесь важную роль играют опять-таки мягкие абразивные слоистые гидросиликаты группы серпентина.

Другое возможное проявление повышенной активности ювенильных поверхностей – образование покрытий с наноалмазными трибосоставами



КАРАТ-5 Красноярского Ин-та химии и химической технологии (ИХХТ СО РАН) [5] и аналога – КАРАТ-М от ООО «РеалДзержинск». Их частицы представляют кристаллы в графитовой оболочке с прикрепленными функциональными компонентами для обеспечения седиментационной устойчивости в маслах. Но, по-видимому, в этих случаях в большей мере проявляется «сродство углерода с железом», явления адгезии, контактного давления и температуры с образованием покрытий до 650 мкм [5]. По-видимому аналогичные покрытия образуют и наноразмерные углеродные волокна ИХХТ.

Другие подтверждения – образование алмазоподобных углеродных трибопленок на естественном трибоэлектричестве поверхностей трения [6, 7], проявляющемся в образовании и перетоке зарядов между поверхностями трения, в пьезоэлектрических разрядах минералов с образованием трибоплазмы [8]. Трибоплазма и последующие плазмохимические преобразования веществ протекают и под влиянием физических полей поверхностей трения. При этом образуются хорошо исследованные DLC films из  $sp^2$  и  $sp^3$ -типовых гибридизаций углерода, зависимых от соотношения концентрации углерода и водорода в трибосреде. Поэтому добавление в трибосреду сажи ускоряет образование DLC films, но неизменным условием для них является достаточные температура и контактное давление. DLC-покрытия комбинируют уникальные механические, химические и электрические свойства, эластичность с "керамической" твердостью в широком диапазоне условий контакта.

#### Список литературы

1. Ахматов, А.С. Молекулярная физика граничного трения / А.С. Ахматов // М.: Физматгиз. 1963. 472 с.
2. Современная трибология. Итоги и перспективы. Отв. ред. К.В. Фролов / М.: Издательство ЛКИ. 2008. 480 с.
3. Дунаев, А.В. Нетрадиционная триботехника. Модификация поверхностей трения / А.В. Дунаев // Lambert Academic Publishing. 2013. 270 с.
4. Стрельцов, В.В. Влияние ремонтно-восстановительных составов на триботехнические показатели поверхностей трения / В.В. Стрельцов, А.С. Носихин // Техника и оборудование для села. 2012. №7. С. 38-41.
5. Селютин, Г.Е. Применение модифицированных наноалмазов для увеличения ресурса узлов трения / Г.Е. Селютин и др. // М.: Труды ГОСНИТИ. 2011. Т. 107, ч. 2. С. 25-29.
6. Дубинин, А.Д. Энергетика трения и износа деталей / А.Д. Дубинин // Киев.: Машгиз (южное отделение). 1963. 55 с.
7. Рыбников, Ю.С. Основы электронной теории износа при трении/ Ю.С. Рыбников, Л.В. Круглова// Вестник машиностроения. 1989. №6. С. 5-10.
8. Christophe Donnet, Ali Erdemir Editors. Tribology of Diamond-Like Carbon Films. Fundamentals and Applications /Christophe Donnet, University Institute of France and University Jean Monnet, Laboratoire Hubert Curien; Professeur Benoît Lauras// 42000 Saint-Etienne, France. [Donnet@univ-st-etienne.fr](mailto:Donnet@univ-st-etienne.fr).



## СОХРАНЕНИЕ ВИТАМИНА С ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ЗАМОРОЖЕННЫХ ЯГОД ЖИМОЛОСТИ В АППАРАТЕ С ВИБРАЦИОННОЙ ТАРЕЛКОЙ

Н.В. Игушов, А.С. Мустафина, И.Ю. Варфаламеева  
ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт  
пищевой промышленности (университет)»

Исследована целесообразность переработки жимолости в аппарате с вибрационной тарелкой. Определены эффективность выхода сухих веществ и витамина С от гидромодуля, частоты колебаний перфорированной тарелки, диаметра отверстий, амплитуды колебаний тарелки.

**Ключевые слова:** жимолость, аппарат с вибрационной тарелкой, витамин «С», экстрагирование, экстракт.

## PRESERVATION OF VITAMIN C IN THE PROCESSING OF FROZEN BERRIES HONEYSUCKLE IN APPARATUS OF THE VIBRATING PLATE

N.V. Igushov, A.S. Mustafina, I.Y. Varfalameeva  
*Kemerovo Institute of Food Science and Technology*

Study the feasibility of processing of honeysuckle in the device with the vibration plate. Determine the effective yield of dry matter and vitamin C from the duty of water, oscillation frequency of the perforated plate, the hole diameter, oscillation amplitude plate.

**Key words:** honeysuckle, apparatus of the vibrating plate, vitamin C, extracting, extract.

Западная Сибирь богата ягодным сырьем как дикорастущим, так и культивируемым, которое может успешно использоваться в качестве полуфабриката в пищевой и смежных отраслях промышленности [1]. Среди широкого разнообразия ягод в регионе выделяется жимолость голубая (*Lonicera*) - самая первая из созревающих в Сибири [3]. Кроме раннего созревания, она характеризуется из всех на редкость богатым набором целебных веществ. Химический состав ее плодов исследован подробно во многих научных учреждениях страны [2, 3].

Жимолость низкокалорийная, всего 30 ккал на 100 г. В плодах жимолости содержится [2]: 1,5 - 4,5% органических кислот (лимонная, яблочная, янтарная, щавелевая), сухих веществ 12,4 - 17,3%, до 8% сахаров (глюкоза, фруктоза, галактоза, сахароза). Витаминный состав ягод жимолости [2] представлен витамином С - 150 мг; витамином В<sub>1</sub> - 3 мг; витамином А - 50 мг; витамином В<sub>8</sub> - 3 мг; бета-каротином - 3 мг. Также жимолость богата Р-активными полифенольными соединениями (от 200 до 1800 мг %), которые благотворно воздействуют на сердечно-сосудистую систему. По содержанию микро- и макроэлементов жимолость занимает лидирующую позицию. Минеральный состав представлен магнием, его содержание достигает 21 мг%, калием - 70 мг%, натрием - 35 мг%, фосфором - 35 мг%, железом - 0,8 мг% и кальцием - 19 мг%. Кроме того, содержится: барий, медь, марганец, кремний, стронций, алюминий и йод (0,9 мг/кг). В плодах жимолости присутствуют до 0,3 % дубильных веществ и до 1,5% - пектиновых.

Экстракт жимолости, как считается, обладает широким спектром свойств - противогрибковым, антиоксидантным, антибактериальным и противовирусным [2]. В качестве лекарственного сырья используют плоды, цветки и значительно реже листья и ветки растения.

Целесообразность применения ягодных и плодовых экстрактов в пищевой и смежных отраслях промышленности показана в ряде работ, например, [1]. В то же время существующие способы получения экстрактов имеют массу недостатков и к тому же достаточно консервативны [1], также большим недостатком является то, что качество полученных экстрактов контролируется только по содержанию в них сухих веществ. Однако такой подход в данном случае некорректен, потому что перерабатывается сырье с высоким содержанием аскорбиновой кислоты [6]. Это в большой степени сдерживает появление на рынке широкого ассортимента экстрактов и продуктов на их основе, в том числе из жимолости.

Срок созревания плодов жимолости май - июнь, и в силу сезонного характера актуален вопрос хранения и консервирования. Актуален способ замораживания плодово-ягодного сырья и дальнейшего его хранения при этой температуре. В [1] отмечается, что замораживание и хранение плодово-ягодного сырья при температуре  $-18^{\circ}\text{C}$  дает значимое преимущество при получении экстрактов: образующиеся крупные кристаллы льда разрывают ткани плода, облегчая выход сока.

Комплексная переработка замороженного ягодного сырья в аппарате с вибрационной тарелкой позволяет в одной единице оборудования осуществлять размораживание, разрушение (диспергирование) ягод и экстрагирование [1].

Размещение в объеме аппарата устройства, совершающего возвратно-поступательные движения, называемого вибрирующим рабочим органом (тарелкой), является наиболее эффективным с точки зрения снижения энергозатрат, а также снижения величины внешнего диффузионного сопротивления для систем твердое тело – жидкость. Помимо того, инерционные усилия, вызванные колебанием рабочего органа, значительно меньше усилий, возникающих при колебании всего рабочего объема или аппарата. Это позволяет использовать колебания более высокой частоты и интенсивности и одновременно снижать удельный расход энергии на их создание [4, 5].

Цель исследований - определить целесообразность переработки замороженных при  $-18^{\circ}\text{C}$  плодов жимолости в аппарате с вибрационной тарелкой. В качестве объекта исследования использовалась жимолость, выращенная в Кемеровской области, урожая 2014 г., замороженная при температуре  $-18^{\circ}\text{C}$ .

Исследования выполнены в аппарате, изготовленном из нержавеющей стали, диаметром 0,15 метра с рабочим объемом  $0,025\text{ м}^3$ . В рабочий объем помещалась перфорированная тарелка диаметром 0,146 м, толщиной 0,0025 м, с долей свободного сечения 16,5%, образованного отверстиями диаметром 0,0025 м. Аппарат имеет плоское днище, расстояние от которого до тарелки составляло 0,045 м. Тарелка размещена на штоке, осуществлявшем возвратно-

поступательные движения в вертикальной плоскости с частотой, пропорциональной частоте вращения вала электродвигателя постоянного тока. Электродвигатель включен в сеть переменного тока через диодный мост и ЛАТР. Амплитуда колебаний тарелки устанавливалась с помощью сменных планшайб на валу электродвигателя.

Экспериментальные исследования проводили следующим образом: в аппарат засыпали замороженную при  $-18^{\circ}\text{C}$  жимолость массой 0,3 кг, затем заливали питьевой водой с температурой  $19 \pm 1^{\circ}\text{C}$ , после чего в рабочий объем вводили перфорированную тарелку, включали электродвигатель и устанавливали заданную частоту вращения вала с помощью ЛАТРа.

Соотношение твердой и жидкой фаз (гидромодуль) составил 1:3. Предварительный эксперимент показал, что дальнейшее повышение и понижение гидромодуля невозможно, т.к. при повышении – жидкости будет слишком мало, что приведет к сильному разбрызгиванию системы, а при дальнейшем понижении гидромодуля жидкости станет слишком много, что приведет к разливу из аппарата.

Через заданные промежутки времени отбирали пробы жидкой фазы, в которых определяли: содержание сухих веществ с помощью рефрактометра ИРФ - 454Б2М, концентрацию витамина С определяли титрованием (йодометрическим методом). Частоту вращения вала электродвигателя измеряли тахометром ТЧ-10Р, класс точности 1. Измерение мощности, потребляемой электродвигателем, осуществляли ваттметром Д5016, класс точности 0,2. Измерение всех контролируемых параметров выполняли не менее чем в 3-кратной повторности, отклонение результатов не превышало 0,5%. Процесс осуществляли до установления равновесной концентрации сухих веществ и витамина С, частота колебаний тарелки варьировалась от  $n=550$  до  $750 \text{ мин}^{-1}$ , диаметр отверстий тарелки  $D_0 = 2,5; 3; 3,5 \text{ мм}$ . Обработка и анализ экспериментальных данных выполнены с использованием программных пакетов MS Excel 2007 и MathCAD. Результаты исследований представлены далее.

На первой экспериментальной стадии подбирали рациональный, с точки зрения эффективности выхода витамина С и сухих веществ, диаметр отверстий перфорированной тарелки. Подбор происходил при частоте колебаний перфорированной тарелки,  $n = 600$  и  $700 \text{ мин}^{-1}$ ; весовые соотношения фаз (в дальнейшем J), (Т/Ж) = (0,3/1); амплитуда (в дальнейшем А) = 7 мм. Результаты представлены на рисунках 1 – 4.

Для учета комплекса технологических свойств сырья, режимных и энергетических параметров работы аппарата нами предложено использовать показатель, характеризующий эффективность вибрационного воздействия - коэффициент интенсивности процесса Э, который представляет собой соотношение:

$$\mathcal{E} = \frac{C_{\text{max}}}{N \cdot T_{\text{выхода}}},$$

где Э – коэффициент интенсивности процесса экстрагирования;

$C_{\text{max}}$  – максимальная концентрация сухих веществ, %, или максимальная концентрация аскорбиновой кислоты, мг%;

$N$  – полная мощность, Вт;

$T_{\text{выхода}}$  – время достижения максимальной концентрации, мин.

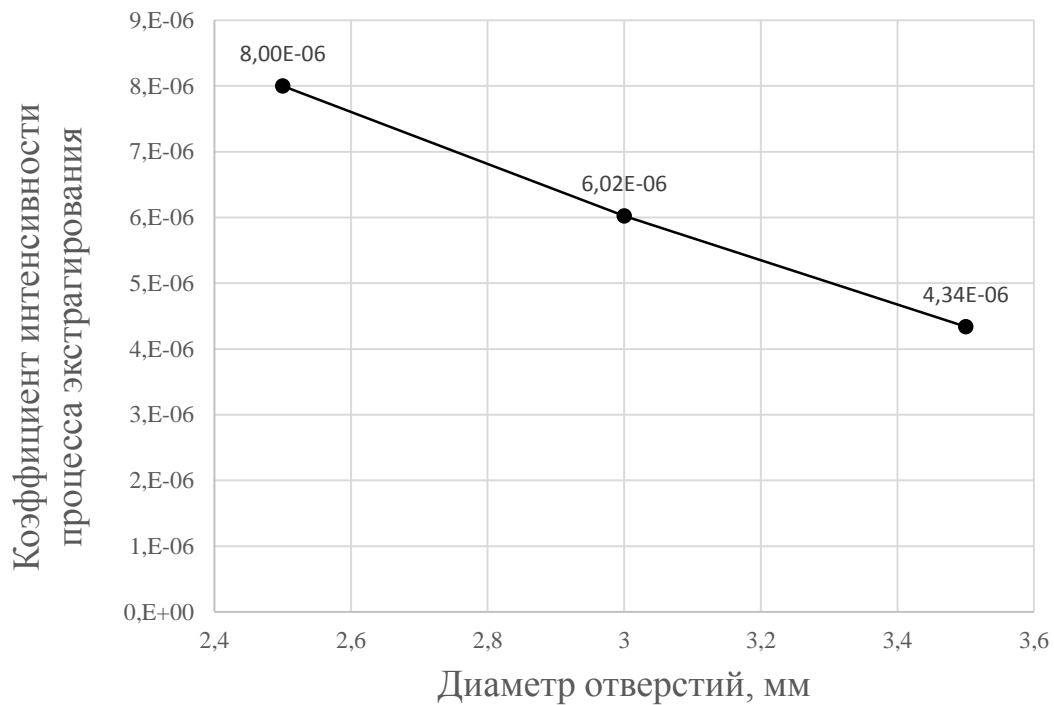


Рис. 1. Влияние диаметра отверстий на коэффициент интенсивности процесса экстрагирования сухих веществ при частоте вращения  $n=700 \text{ мин}^{-1}$

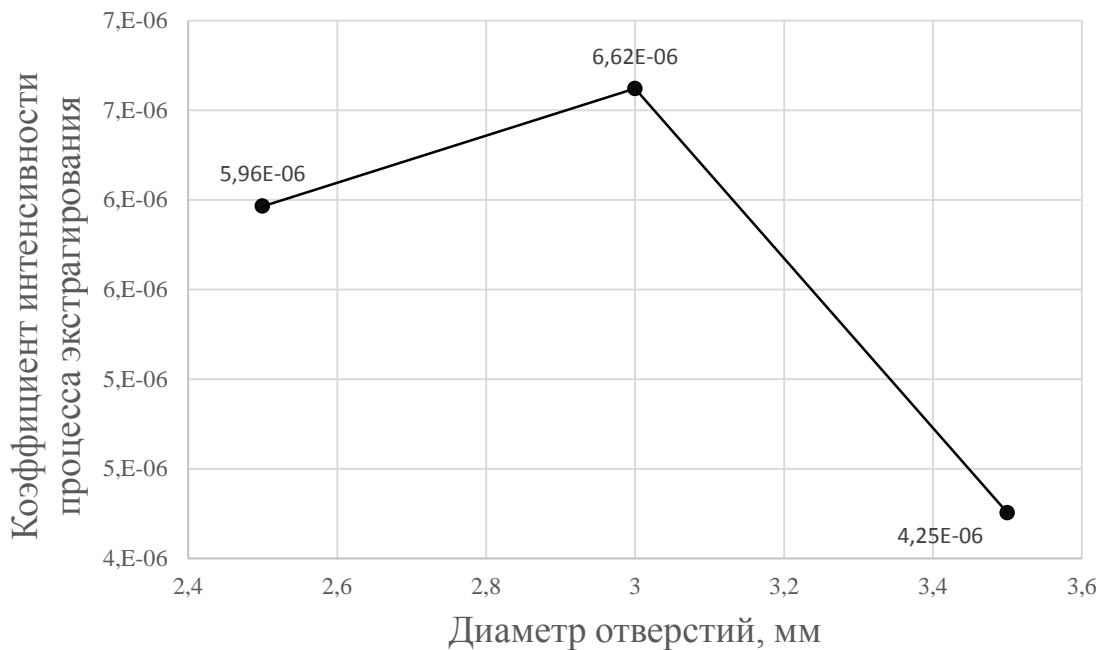


Рис. 2. Влияние диаметра отверстий на коэффициент интенсивности процесса экстрагирования сухих веществ при частоте вращения  $n=600 \text{ мин}^{-1}$

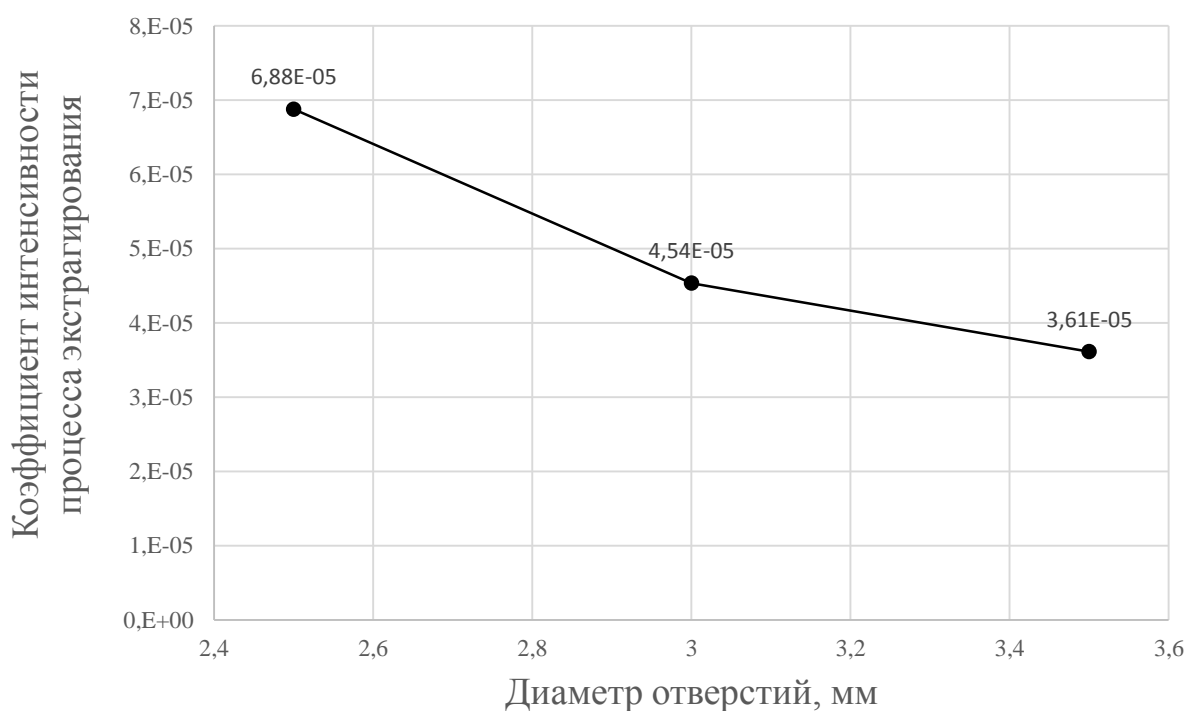


Рис. 3. Влияние диаметра отверстий на коэффициент интенсивности процесса экстрагирования витамина С при частоте вращения  $n=700 \text{ мин}^{-1}$

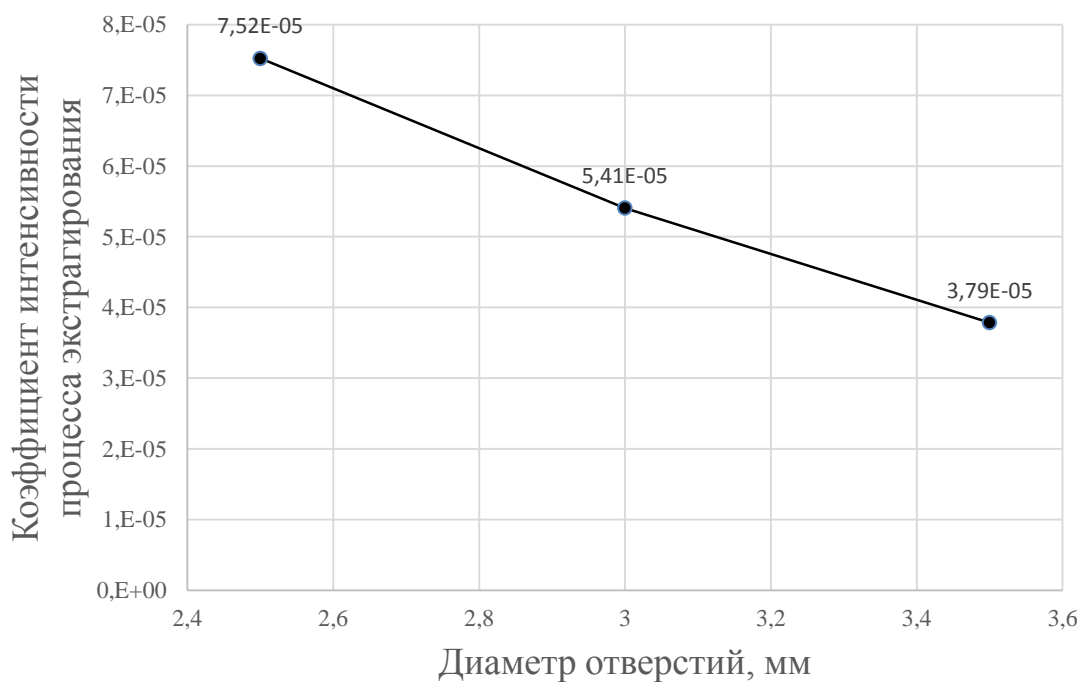


Рис. 4. Влияние диаметра отверстий на коэффициент интенсивности процесса экстрагирования витамина С при частоте вращения  $n=600 \text{ мин}^{-1}$

Анализ полученных результатов показал (рис.1 – 4), что влияние диаметра отверстий на коэффициент интенсивности процесса экстрагирования сухих веществ и витамина С обратно пропорционально: чем больше диаметр

отверстий, тем меньше выход витамина С и сухих веществ, как следствие, рациональным принят диаметр отверстий, равный 2,5 мм.

На второй экспериментальной стадии подбирали рациональную, также с позиции эффективности процесса, частоту колебаний перфорированной тарелки. Подбор происходил при  $J = (0,3/1)$ ;  $A = 7\text{мм}$ ; диаметр отверстий  $D_o = 2,5\text{мм}$ . Результаты представлены на рисунках 5 и 6.

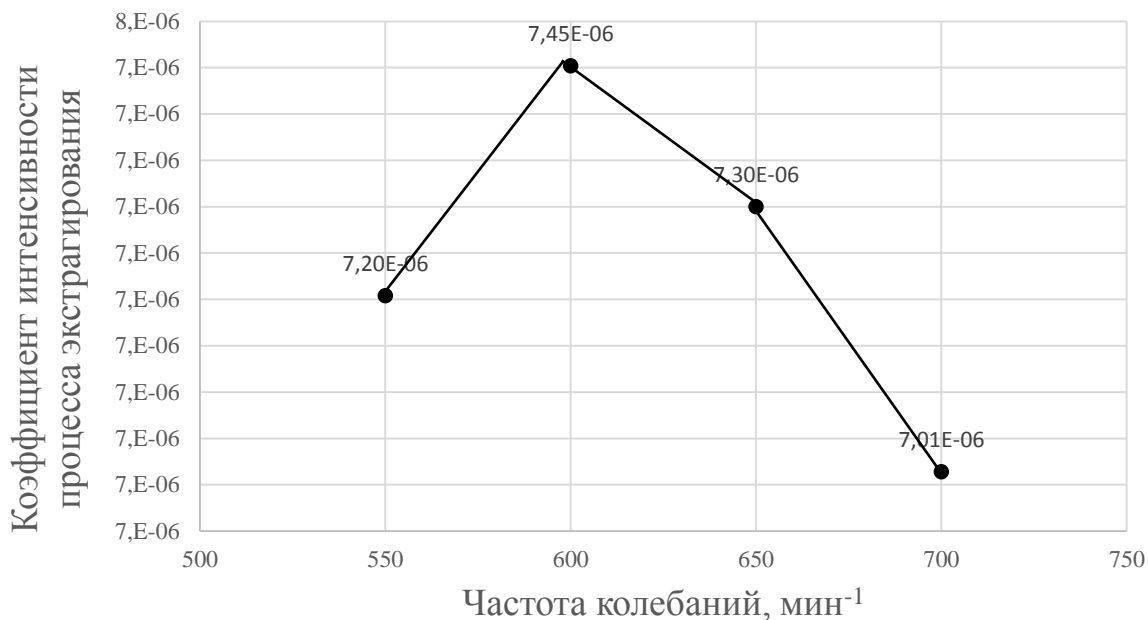


Рис. 5. Влияние частоты колебаний на коэффициент интенсивности процесса экстрагирования сухих веществ

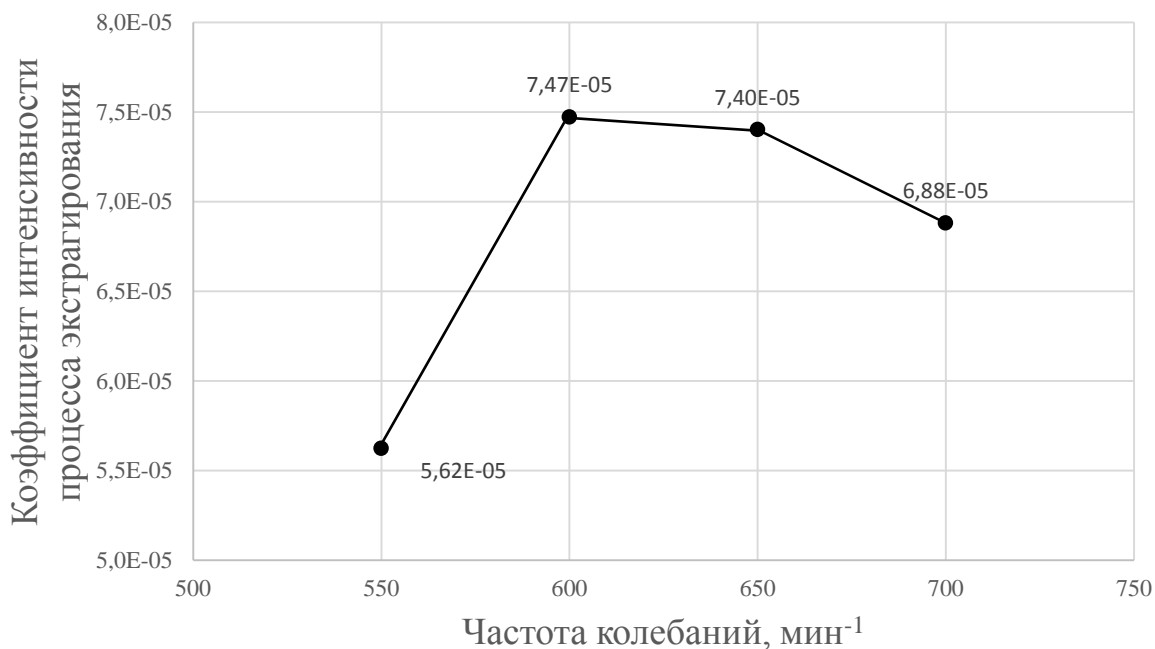


Рис. 6. Влияние частоты колебаний на коэффициент интенсивности процесса экстрагирования витамина С

Как видно из графиков (рис. 5, 6), зависимость эффективности выхода сухих веществ и витамина С от частоты колебаний имеет параболический характер с экстремумом в точке  $600 \text{ мин}^{-1}$ , и как следствие рациональной принята частота колебаний тарелки, равная  $600 \text{ мин}^{-1}$ .

Также следует отметить, что при частоте  $500 \text{ мин}^{-1}$  замороженное ягодное сырье крайне мало диспергировало, большая часть ягод не разрушилась.

На заключительной экспериментальной стадии подбирались рациональная, также с позиции эффективности, амплитуда. Подбор происходил при  $n = 600 \text{ мин}^{-1}$ ;  $J = (0,3/1)$ ;  $D_0 = 2,5 \text{ мм}$ . Результаты представлены на рисунках 7 и 8.

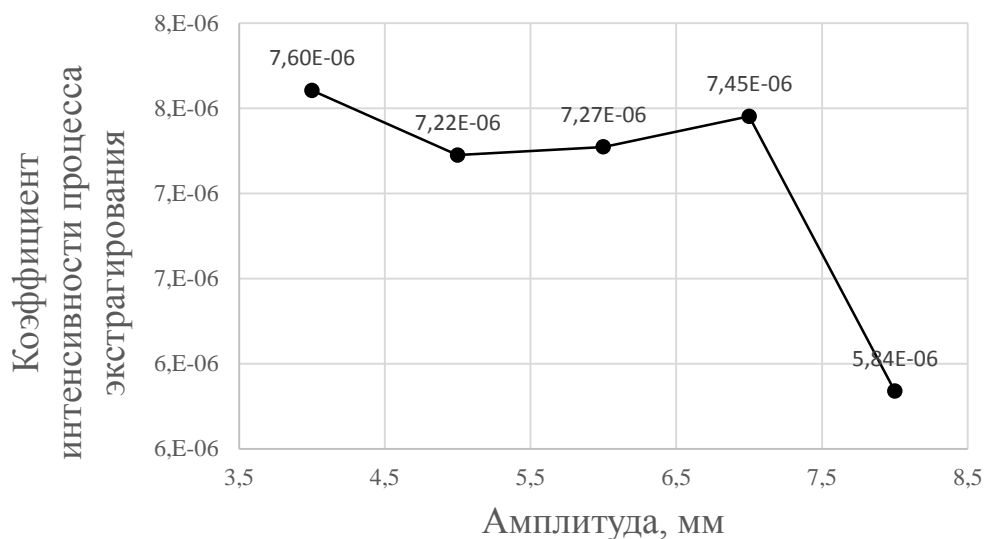


Рис. 7. Влияние амплитуды на коэффициент интенсивности процесса экстрагирования сухих веществ

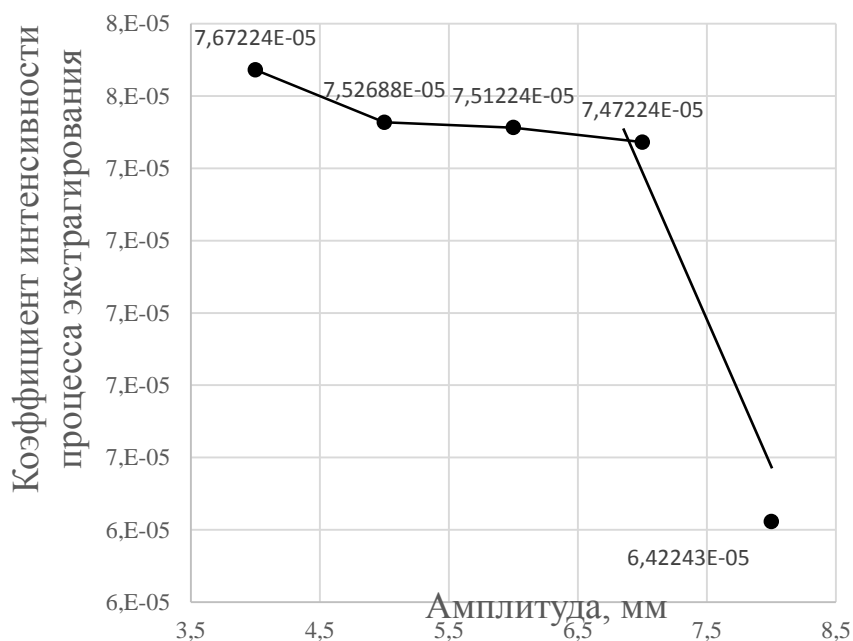


Рис. 8. Влияние амплитуды на коэффициент интенсивности процесса экстрагирования витамина С

Как видно из графиков (рис. 7, 8), зависимость эффективности выхода сухих веществ и витамина С от амплитуды имеет экспоненциальный характер с экстремумом в точке 4 мм, рациональной принята амплитуда 4 мм.

В результате проведенных исследований рациональным признан режим, при котором частота вращения составила  $n = 600 \text{ мин}^{-1}$ ; весовые соотношения фаз  $J = (0,3/1)$ ; диаметр отверстий  $D_0 = 2,5 \text{ мм}$ , амплитуда  $A = 4 \text{ мм}$ . При этих параметрах был проведен эксперимент, его результаты сведены в таблицу 1.

Продолжительность экстрагирования влияет на состав экстракта. Равновесная концентрация сухих веществ наблюдается через 5 минут процесса. Длительность воздействия низкочастотных механических колебаний приводит к снижению содержания аскорбиновой кислоты. С позиции наибольшего сохранения витамина С процесс целесообразно закончить через 4 минуты, при найденных рациональных параметрах экстрагирования жимолости.

Таблица 1

Содержание сухих веществ и витамина С при экстрагирования жимолости

Продолжительность экстрагирования, мин	1	2	3	4	5	6	7
Содержание сухих веществ, % масс	1,0	1,2	1,7	1,8	2,2	2,1	2
Содержание витамина С, мг%	4,82	6,88	12,3	16,4	15,48	13,07	12,04

#### Список литературы

1. Сорокопуд, А.Ф. Плодово-ягодные экстракты Западной Сибири: теоретические и практические аспекты: монография / А.Ф. Сорокопуд, П.П. Иванов // Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – Кемерово, 2014. - 136 с.
2. Плеханова, М.Н. Актиния, лимонник, жимолость / М.Н. Плеханова. - Л.: Агропромиздат. – 1990. - 87 с.
3. Золотарева, А.Н. Плодово-ягодное сырье сибирского сада и его пищевая ценность / А.Н. Золотарева. - М.: Высшая школа, - 2004. - 204 с.
4. Сорокопуд, А.Ф. Влияние основных факторов на экстрагирование плодов лимонника / А.Ф. Сорокопуд, А.С. Мустафина, К.С. Федяев // Химия растительного сырья. – 2012. - №1. – С. 159-162.
5. Сорокопуд, А.Ф. Модернизация линии производства плодово-ягодных экстрактов / А.Ф. Сорокопуд, В.В.Сорокопуд, И.Б. Плотников, Л.В. Плотникова // Техника и технология пищевых производств. - 2014. - №1 (32). - С. 110-114.
6. Патент РФ 2341979 МПК А231.1/212. Способ получения экстрактов/Сорокопуд А.Ф., Суменков М.В.: заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Кемеровский технологический институт пищевой промышленности – №2007116408/13, заявл. 02.05.2007, опубл. 27.12.2008, БЮС №36.



# КЛАССИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПРОДУКТОВ

Д.Н. Катусов, А.А. Шатов

*ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова»*

**Аннотация:** В статье представлена классификация и анализ оборудования для обработки продуктов в электростатическом поле. Классификация проведена по восьми классификационным признакам, проведен также анализ конструктивно-технологических особенностей, достоинств и недостатков оборудования каждой группы. Рассмотрены различные единицы оборудования, которые используются в различных отраслях пищевых производств, описаны их основные рабочие органы. Проведен обзор характеристик электростатического поля, описаны преимущества его использования.

**Ключевые слова:** *оборудование обработки в электростатическом поле, исполнение установок, способы подачи, способы воздействия, характеристики поля, исполнение электродов.*

## **CLASSIFICATION AND ANALYSIS OF THE EQUIPMENT FOR ELECTROSTATIC TREATMENT PRODUCTS**

*D. N. Katusov A.A. Shatov*

*Saratov State Agrarian University in honor of N.I. Vavilov*

**Summary:** Classification and the analysis of the equipment for processing of products in an electrostatic field is presented in article. Classification is carried out on eight classification signs, also the analysis of constructive and technological features, merits and demerits of the equipment of each group is carried out. Various units of equipment which are used in various branches of food productions are considered, their main working bodies are described. The review of characteristics of an electrostatic field is carried out, advantages of its use are described.

**Keywords:** *the equipment of processing in an electrostatic field, execution of installations, ways of giving, ways of influence, the characteristic of a field, execution of electrodes.*

Процесс обработки продуктов электростатическим полем применяется во многих отраслях промышленности. Это направление является перспективным, потому что позволяет ускорить технологический процесс обработки продуктов, повысить качество готовой продукции и экономическую эффективность по сравнению с традиционными методами обработки [1-21].

Оборудование для обработки в электростатическом поле делят на две категории (рис. 1): промышленное и бытовое (малотоннажное). Промышленные единицы оборудования используют на крупных предприятиях, так как они обладают, как правило, большими габаритными размерами, высокой производительностью, но имеют своеобразный недостаток - они в основном стационарны. Такие установки используются на предприятиях сельского хозяйства для предпосевной обработки семян [12], а также в пищевой промышленности при электростатическом копчении [9-11]. Бытовое или малотоннажное оборудование используют на предприятиях с малыми производственными мощностями, в данном сегменте оно имеет преимущество перед промышленными единицами, за счет высокой мобильности и значительно меньших размеров.

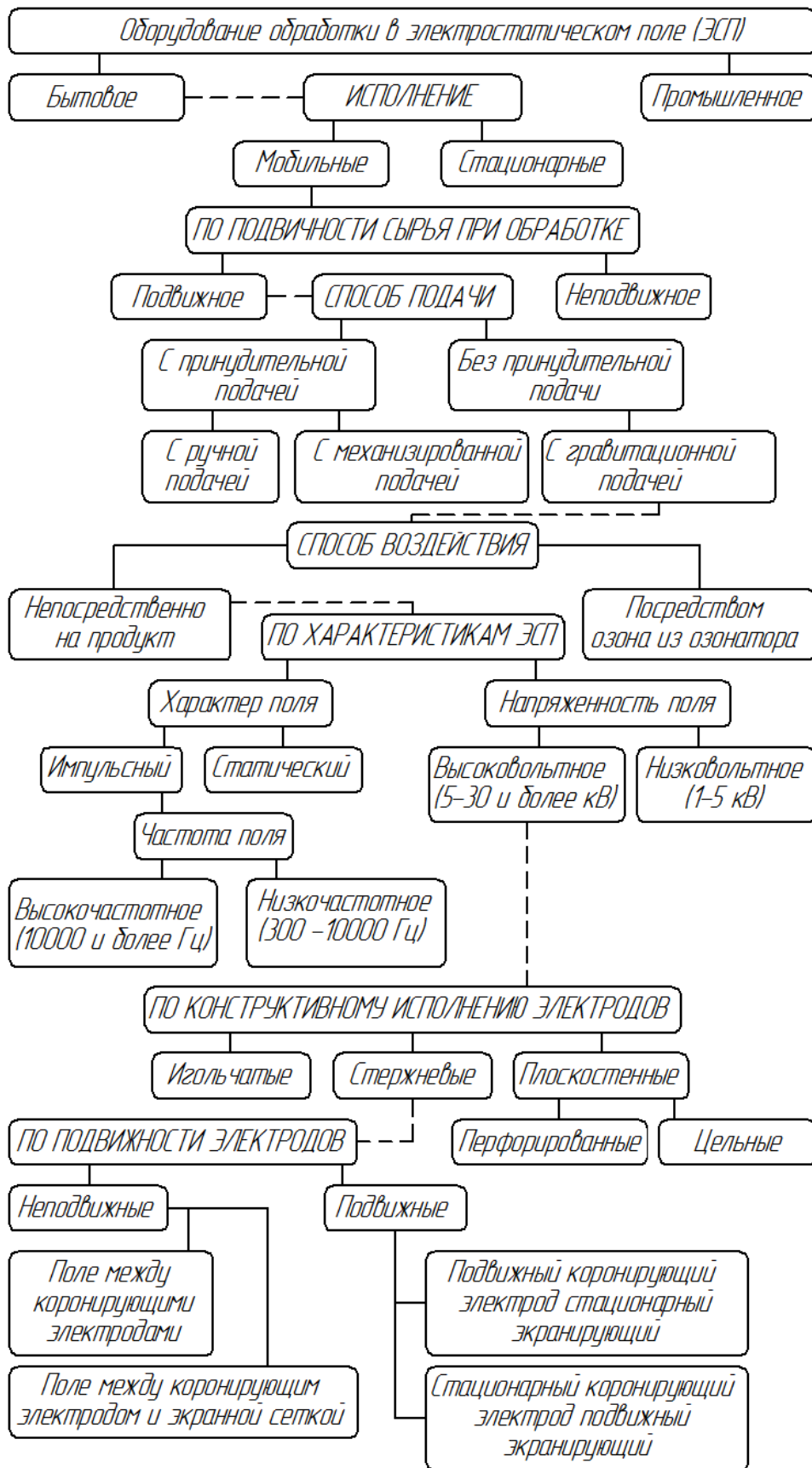


Рис. 1. Классификация оборудования для обработки продуктов в электростатическом поле

Подвижность сырья представляет собой не менее важный отличительный признак при обработке, сырье может быть как подвижным, так и неподвижным (стационарным).

Например, при электростатическом копчении перепелиных яиц используется установка (рис. 2) [11], внутри которой установлены подвижные ролики 1, выполняющие роль принимающего и проталкивающего транспортера, сверху и снизу которых установлены электроды 3, для обработки продукта 2 дымом, входящим и выходящим через коллекторы 4,5 [11]. На предприятиях копчения других продуктов используются также установки камерного типа, в такую установку загружается продукт и обрабатывается в неподвижном состоянии.

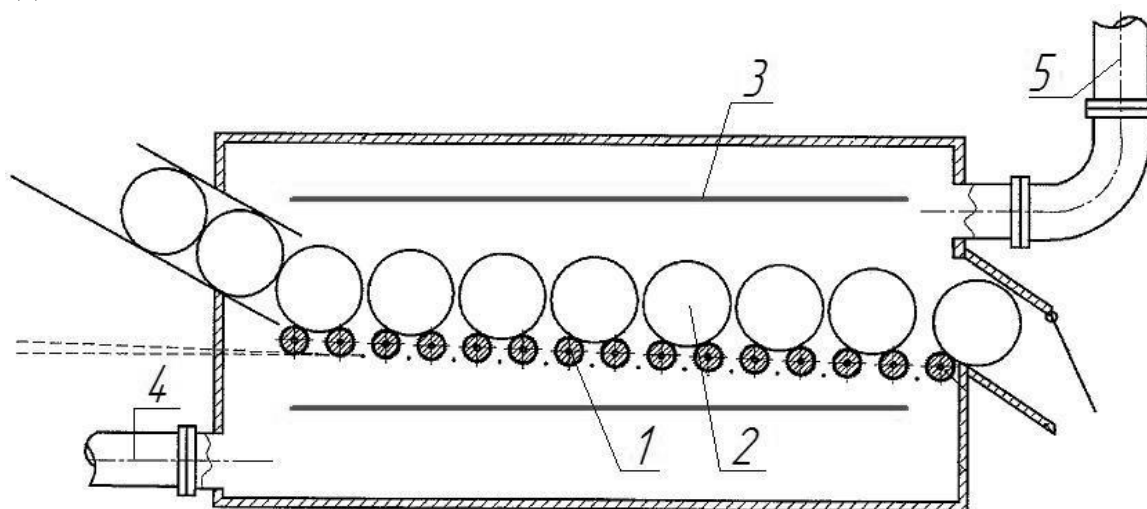


Рис. 2. Установка для копчения яиц

При обработке подвижного сырья эффективность процесса значительно выше, чем у неподвижного, это связано с тем, что продукт равномерно обрабатывается с каждой стороны [5-9].

Существует несколько способов подачи сырья: принудительная и самопроизвольная (без принуждения). Принудительная подача осуществляется при использовании различных механизмов, транспортеров (рис. 2, позиция 1) и бывает ручной. Недостатком транспортерной подачи являются повышенные энергетические затраты.

Самопроизвольная подача подразумевает собой гравитационное прохождение продукта через электростатическое поле (ЭСП) под действием собственной силы тяжести. Такой способ используется при предпосевной обработке семян для стимуляции и увеличения их всхожести (рис. 3). Установка для осуществления предпосевной обработки содержит корпус 1, выполненный из диамагнитного материала, на котором размещена обмотка 2, подключенная к источнику импульсного тока 3, в верхней части корпуса размещены две ультразвуковые статические сирены 4, на которые под давлением 3...4 атм. подается озон от озонатора 6. Зерно в катушку в режиме свободного падения поступает из бункера 5 [12].

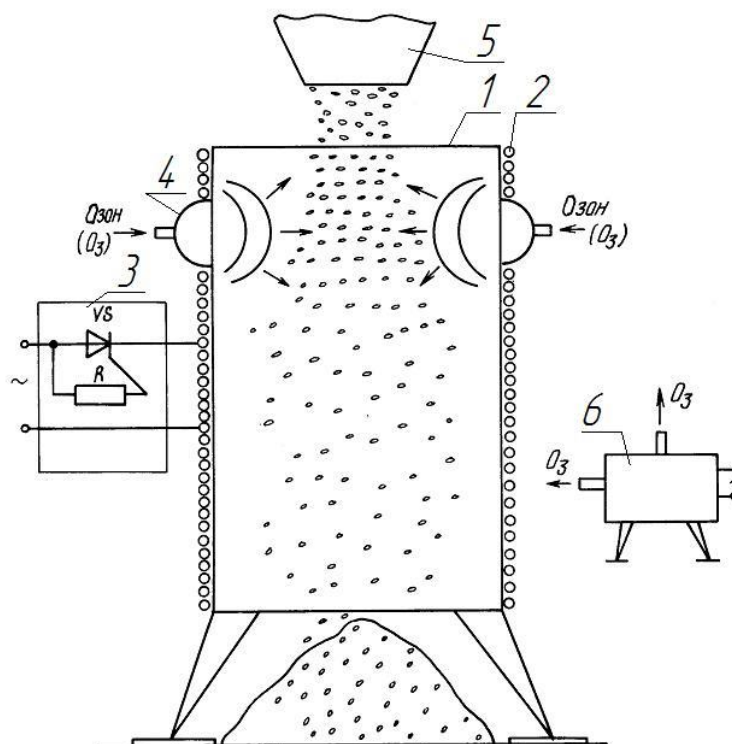


Рис. 3. Установка для предпосевной обработки семян

Воздействие высокого напряжения напрямую на продукт из генератора повышает качество обработки, образуя сильное электростатическое поле, которое увеличивает диффундирующую способность и сокращает дополнительные затраты на процесс. Эффективность обработки генератором высокого напряжения значительно выше в связи с тем, что он расположен в корпусе установки.

Электрические характеристики высоковольтного поля играют не менее важную роль в процессе обработки продуктов. Сюда входят: напряженность и характер электрического поля. Напряженность поля сильно влияет на процесс обработки продуктов. Поле высокого напряжения классифицируют на высоковольтное (5-30 и более кВ) и низковольтное (1-5 кВ). При выборе напряжения необходимо учитывать размер обрабатываемого продукта, его структуру и другие физические особенности.

Характер высоковольтного поля подразделяют на импульсный и статический. К импульсному относят 2 категории: высокочастотное (10000 и более Гц) и низкочастотное (300-10000 Гц) для различных типов продуктов и режимов обработки.

Помимо основных электрических характеристик высоковольтного поля немаловажным параметром являются геометрические особенности электродов, которые бывают нескольких видов: плоскостенные сплошные – а, плоскостенные перфорированные – б, игольчатые – в и стержневые – г (рис. 4).

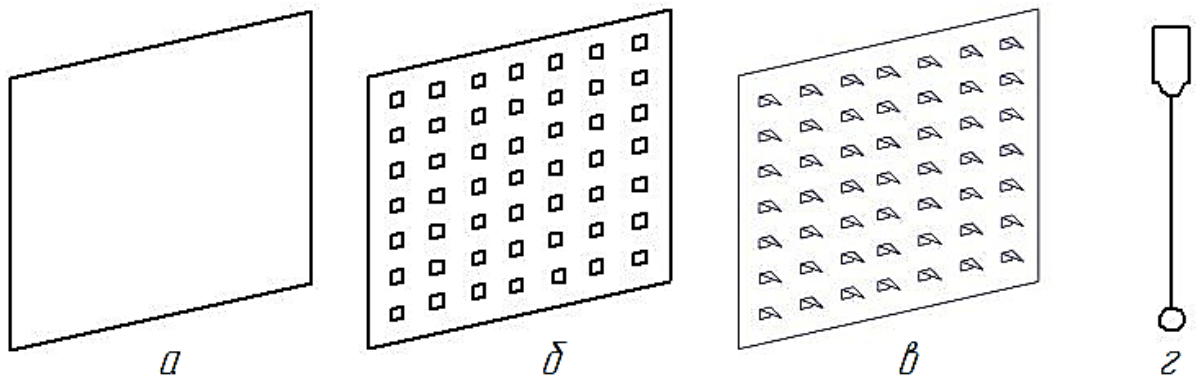


Рис. 4. Конструктивные особенности электродов

Практика показывает, что совместное использование различных по конструкции электродов встречается повсеместно. Например, на рис. 5 изображены три схемы обработки колбасных изделий с различными типами электродов [13]. На первой схеме продукт помещен в неравномерное электрическое поле, во второй схеме продукт является пассивным электродом, на третьей представлена предварительная ионизация дымовоздушной смеси при использовании сетки. Наиболее эффективная схема обработки колбасных изделий – третья, так как при предварительной ионизации частицы дыма ионизируются, что способствует наибольшей силе диффундирования дыма в продукт.

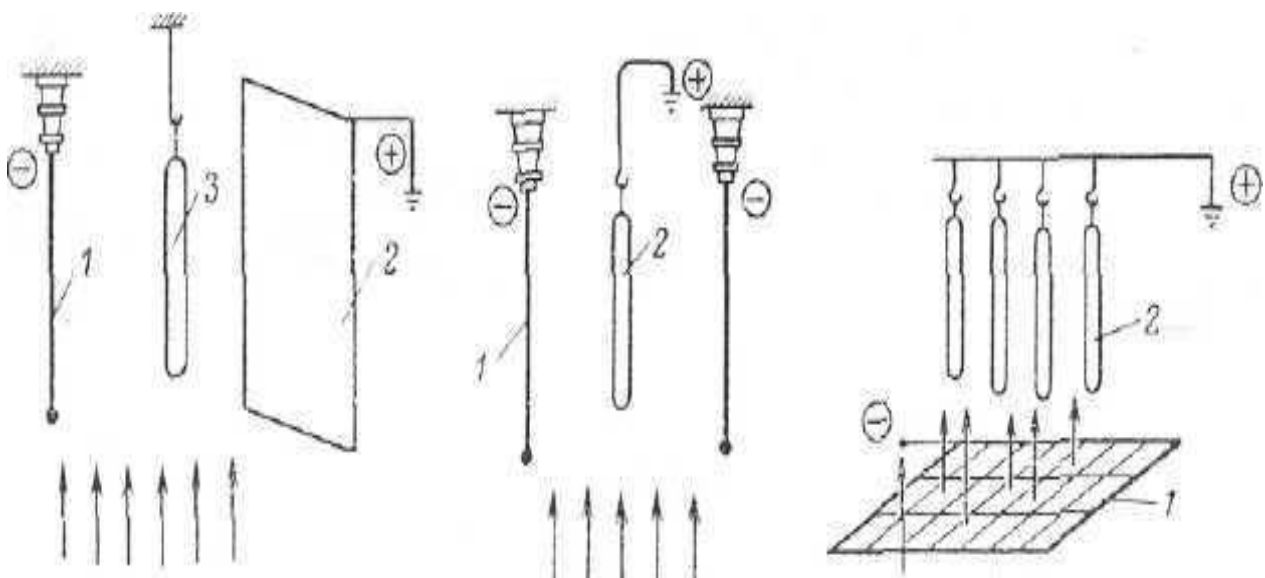


Рис. 5. Виды совместного использования электродов различных конструкций

В целом исполнение различных по конструкции электродов имеет свои преимущества и недостатки. В некоторых установках используют комбинированные схемы в одной конструкции.

Например, конструкцию с использованием стержневого электрода, вокруг которого расположена сетка для предварительной ионизации дымовоздушной

смеси, можно встретить в коптильной установке модульного типа (рис. 6). Установка представляет собой камеру 1 из стеклянных панелей, в центре

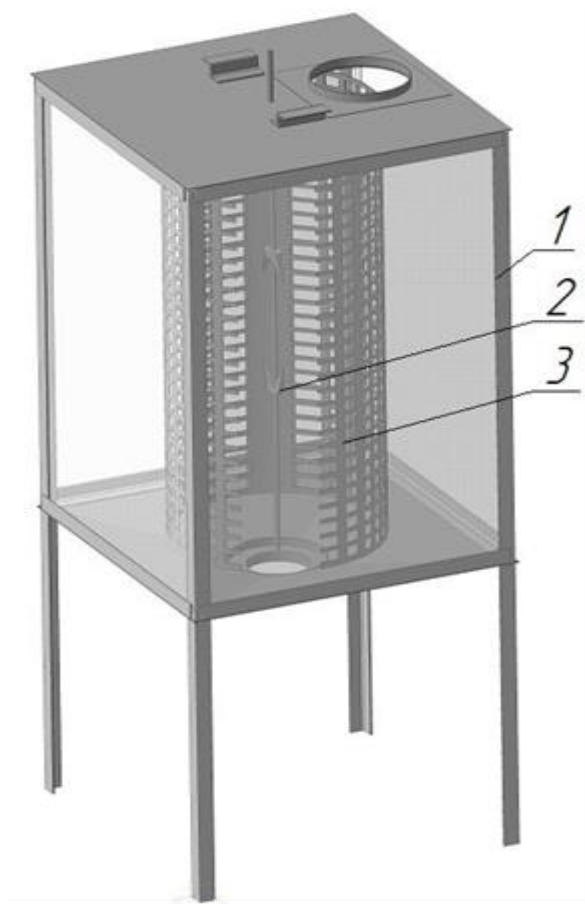


Рис. 6. Установка для электростатической обработки продуктов

которой установлен стержневой электрод 2, вокруг которого цилиндрически расположена нержавеющая сетка 3, выполняющая роль экрана высоковольтного поля [2-3].

Такая взаимосвязь позволяет эффективно ионизировать частицы, попадающие в центр камеры обработки, через сетку, которая расположена вокруг продукта.

Помимо хорошей диффундирующей способности ЭСП обладает и антисептическими свойствами, подавляет рост общего количества мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов и губительно действует на санитарно-показательные микроорганизмы, рода *Enterococcus*. [4-5, 8-9]. После обработки кормовой муки в поле напряженностью  $E=3.6 \cdot 10^5 - 3.9 \cdot 10^5$  В/м при температуре

$t=15-17^\circ\text{C}$  в течение часа уничтожаются все патогенные микроорганизмы [6]. Данное явление целесообразно использовать, например, для

обеззараживания зерновых культур перед закладкой на хранение.

В результате проведенного анализа оборудования и исследования электростатического поля было разработано устройство для обеззараживания зерна [17]. Устройство содержит корпус с загрузочным бункером в виде воронки, расположенной над камерой обработки зерна, выполненной в виде цилиндрической трубы со шнеком, и генератор высокого напряжения, шнек выполнен в виде электропроводящего стрежня с диэлектрическими лопатками, расположенными по винтовой линии. Преимуществом данного устройства является неподвижность шнека, что значительно сокращает энергозатраты. Применение данного устройства позволяет увеличить срок хранения зерновых культур, направляемых на переработку для пищевых ресурсов, за счет подавления патогенной микрофлоры, содержащейся на поверхности культуры.

#### Список литературы

1. Ангелюк, В.П. Классификация и анализ установок для копчения/ В.П. Ангелюк, Д.Н. Катусов, А.А. Шатов // Современные тенденции в образовании и науке: сборник научных трудов по материалам Международной научно-

практической конференции 31 октября 2013г.: в 26 частях. Часть 9; М-во обр. и науки РФ. Тамбов: Изд-во ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2013. С. 8-9.

2. Ангелюк, В.П. Совершенствование экспериментальной установки копчения в электростатическом поле/ В.П. Ангелюк, Д.Н. Катусов, А.А. Шатов // Современные тенденции в образовании и науке: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 31 октября 2013г.: в 26 частях. Часть 9; М-во обр. и науки РФ. Тамбов: Изд-во ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2013. С. 8-9.

3. Ангелюк, В.П. Экспериментальная электростатическая коптильная установка периодического действия / В.П. Ангелюк, Д.Н. Катусов, А.А. Шатов, М.В. Бирюков // Наука о питании: технологии, оборудование и безопасность пищевых продуктов: Материалы Международной научно-практической конференции / под ред. Ф.Я. Рудика. – Саратов: ИЦ «Наука», 2013. – С. 6-7.

4. Катусов Д.Н. Некоторые аспекты продовольственной безопасности России / Д.Н. Катусов // Наука и образование XXI века: сборник статей международной научно-практической конференции (15 ноября 2014 г., г. Уфа) в 2 ч. Ч.1./ - Уфа: Аэтерна, 2014. – С. 124-127.

5. Катусов Д.Н. Перспективы применения электрофизических методов при обработке зерна // Д.Н. Катусов, А.А. Шатов // Materials of the X International scientific and practical conference, «Fundamental and applied science», - 2014. Sheffield. Science and education LTD – P. 53-55.

6. Катусов Д.Н. Некоторые аспекты обеспечения продовольственной безопасности страны / Д.Н. Катусов // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2014. № 4(8). С. 74-77.

7. Катусов Д.Н. Некоторые аспекты реализации государственной программы развития сельского хозяйства на 2013–2020 годы / Д.Н. Катусов // Экономика и социум. 2014. №4(13).

8. Катусов, Д.Н. Перспективы использования электростатического поля при производстве продуктов питания / Д.Н. Катусов, Э.А. Алимова // Современные проблемы техники и технологии пищевых производств Материалы XV Международной научно-практической конференции. Составители: В.П. Тарасов, А.А. Глебов, Д.С. Коркин. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2014. С. 64-67.

9. Катусов, Д.Н. Перспективы применения электростатического поля высокого напряжения в пищевой промышленности / Д.Н. Катусов, А.А. Шатов // Технология и продукты здорового питания: материалы VIII Международной научно-практической конференции / Под ред. И.В. Симаковой. – Саратов.: Буква, 2014. – 392 с.: ил.

10. Катусов, Д.Н. Перспективы применения электростатического поля при производстве продуктов питания / Д.Н. Катусов, А.А. Шатов / Materialy X mezinárodní vědecko – praktická konference «Věda a technologie: krok do budoucnosti – 2014». - Díl 28. Zemědělství.: Praha. Publishing House «Education and Science» Stran. 43-45.



11. Патент на изобретение № 2309600 RUS. Способ копчения перепелиных яиц в электростатическом поле и установка непрерывного действия для его осуществления / Антипов С.Т., Китаев С.Ю./ Оpubл. 10.11.2007.

12. Патент на изобретение №2134501 RUS. Установка для предпосевной обработки семян / Потапенко И.А., Андрейчук В.К., Кремьянский В.Ф./ Оpubл. 20.08.1999.

13. Рогов, И.А. Новые физические методы обработки мясopодуKтов / Рогов, И.А., Горбатов А.В. М.: Пищевая промышленность, 1966. — 304 с.

14. Шатов, А.А. / Установка электростатического копчения с возможностью внесения вкусо-ароматических добавок / А.А. Шатов, Д.А. Скотников, Д.Н. Катусов, Д.М. Романов // Патент на полезную модель RUS №143458 A23B4/00. Заявлено 09.04.2014; Оpubл. 20.06.2014.

15. Шатов, А.А. Обработка зерновых культур в электростатическом поле с целью увеличения сроков хранения / А.А. Шатов, Д.Н. Катусов // Безопасность и качество товаров. Материалы VIII Международной научно-практической конференции. Под редакцией С.А. Богатырева. 2014. С. 108-111.

16. Шатов, А.А. Обработка продуктов в электростатическом поле / А.А. Шатов, Д.М. Романов, Д.Н. Катусов // Наука, образование, общество: проблемы и перспективы развития: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 28 февраля 2014 г.: в 12 частях. Часть 1; М-во обр. и науки РФ. Тамбов: Изд-во ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2014. С.154-155.

17. Патент на полезную модель № 151892 RUS. Устройство для обеззараживания зерна / А.А. Шатов, Д.Н. Катусов / Заявл. 06.11.2014, опубл. 20.04.2015.

18. Шатов, А.А. Анализ и классификация оборудования для обработки продуктов в электростатическом поле / А.А. Шатов, Д.Н. Катусов // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: сборник докладов X Международной научно - практической конференции (16-17апреля 2015 г., Великие Луки) / Великолукская ГСХА. В. Луки: РИО ВГСХА, 2015. С. 266-268.

19. Горбунова, Н.В. Применение электростатического поля высокого напряжения при хранении продукции растениеводства / Н.В. Горбунова, Д.Н. Катусов, А.А. Шатов // Инновационная наука. 2015. №7-2(2). С. 30-33.

20. Классификация оборудования для обработки продуктов в электростатическом поле // Фундаментальные и прикладные исследования в высшей аграрной школе. Выпуск 5. Материалы конференции профессорско-преподавательского состава и аспирантов по итогам научно-исследовательской, учебно-методической и воспитательной работы ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ» по итогам 2014 г. / Под ред. И.Л. Воротникова, М.В. Муравьевой – Саратов: ООО «ЦеСАин», 2015. – С. 148-151.

21. Шатов, А.А. Классификация и анализ оборудования для обработки продуктов в электростатическом поле /А.А. Шатов, Д.Н. Катусов // Аграрный научный журнал. 2015. №7. С. 55-58.



## РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЕ СРЕДСТВО ДЛЯ ИНСПЕКЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ

С.А. Кизилов

*Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева*

**Аннотация.** Разработано и изготовлено трехопорное шасси робота для решения задачи перемещения робота в трубопроводе как горизонтально, так и при больших вертикальных углах отклонения трубопровода вплоть до  $70^{\circ}$ . Был разработан испытательный стенд и проведены испытания шасси для робота с использованием экспериментального стенда.

**Ключевые слова.** *Робототехническое средство, трехопорное шасси, трубопровод, экспериментальный стенд.*

## ROBOTIC AGENT FOR INSPECTION PIPELINES

S.A. Kisilov

*Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev*

Designed and manufactured tricycle landing gear for solving robot move the robot in the pipeline both horizontal and vertical angles for large deviations of the pipeline up to  $70^{\circ}$  test rig was developed and pro-vedeny tests chassis for the robot using the experimental stand.

**Keywords:***The robot vehicle, tricycle landing gear, trou-laying, experimental stand.*

Сегодня износ инженерных сетей ЖКХ достиг 65 %. Количество аварий и нарушений в работе коммунальных объектов возросло за последние 10 лет в 5 раз. В год в среднем приходится около 200 аварий на 100 км сетей теплоснабжения и 70 – на 100 км сетей водоснабжения.

В связи с большой протяженностью различных трубопроводных систем, расположенных под землей, таких как водопровод, возникает необходимость контроля за состоянием подобных систем без вскрытия грунта, защитных оболочек и т.п. для предотвращения аварийных ситуаций.

Еще одной проблемой является промышленная безопасность объектов нефтегазового комплекса, химической промышленности, аварии на нефтегазопроводах и связанные с ними экологические проблемы. Общая протяженность всех нефтегазопроводов в РФ составляет более 350 тыс. км.

В химической промышленности широко используются технологические трубопроводы, предназначенные для транспортировки сырья, полуфабрикатов и готовой продукции, реагентов, топлива, пара и других материалов, необходимых для выполнения технологических процессов и эксплуатации оборудования, а также отработанных. От качества и состояния сети труб напрямую зависит безопасность работы предприятий химической промышленности.

В связи с перечисленным актуально применение дистанционных методов обследования и оценки состояния трубопроводов.

Цель проведения исследовательских и опытно-конструкторских работ – создание мобильного робота, способного передвигаться внутри трубопровода и передавать визуальную информацию о состоянии трубопровода на внешний пульт управления, которым может служить ноутбук либо другой персональный компьютер.

Разрабатываемый нами роботизированный комплекс позволит проводить внутренний визуальный осмотр трубопроводов и выявление неисправностей на ранних стадиях без вскрытия грунта либо снятия теплоизоляции.

На данный момент существуют зарубежные аналоги роботизированных комплексов, но у них есть целый ряд недостатков:

1. Узкая специализация. Все аналоги имеют неразборный корпус (невозможно в обычных условиях отделить блок робота от шасси), соответственно, в зависимости от размеров шасси роботы имеют жесткую привязку к диаметру трубы, также невозможно произвести камеры на другое необходимое оборудование.

2. Из-за конструктивных особенностей построения шасси они не могут передвигаться при вертикальных углах отклонения трубопровода более  $35^\circ$ .

3. Удалённость сервисного центра и сложность ремонта (заказчику при выявлении неисправности придётся отправлять комплекс производителю либо ожидать сервисного инженера, что вызовет простой комплекса и, соответственно убытки из-за простоя у непосредственного пользователя.

Разрабатываемый нами комплекс благодаря применению инновационного трехопорного шасси с изменяемым вылетом опор шасси может использоваться в трубопроводах диаметром 150-300 мм, поэтому задачами первого этапа исследований стали разработка и испытания шасси робота.

При установке проставок на шасси максимальный диаметр возрастает до 600 мм. Ещё один плюс данного вида шасси - это способность передвигаться при вертикальных углах отклонения трубопровода до  $70^\circ$ .

Шасси робота может быть отсоединено от корпуса в полевых условиях и соединено с другим набором оборудования либо взамен вышедшего из строя, что также облегчает ремонт данного комплекса. Ремонт данного комплекса может быть произведён непосредственно разработчиком с выездом к потребителю, а так как данный комплекс будет производиться в России, то сроки ремонта значительно меньше относительно зарубежных аналогов.

Согласно поставленной цели робототехническое устройство, установленное на разрабатываемое шасси, получает возможность движения внутри трубопроводов с углами наклона от вертикальной плоскости от 0 до  $70^\circ$  за счет увеличения силы трения между колесами шасси и поверхностью, по которой осуществляется движение.

Для этого на корпусе шасси для робота устанавливаются три опоры, расположенные под углом  $120^\circ$  друг к другу, при этом каждая из трех опор снабжена электродвигателем, измерительным колесом, сервопривод для подъема опоры устанавливается на каждую из опор индивидуально, в зависимости от диаметра трубопровода, в котором проводятся работы, с одним установленным сервоприводом возможно производить работы в трубопроводах диаметром от 150 до 220 мм, с двумя сервоприводами 190-260 мм, с тремя 220-300 мм [1]. Для изменения диаметра трубопровода, в котором проводятся работы, снимается и устанавливается только блок сервопривода без двигателя, который установлен стационарно в корпусе робота, сервопривод подключается к двигателю посредством зубчатой передачи.

На первом этапе выбиралась система управления шасси робота, так как управляющих команд у шасси робота всего четыре:

1. Вперед с плавным изменением скорости – для колесного привода.
2. Назад с плавным изменением скорости – для колесного привода.
3. Распереть – для сервопривода.
4. Сложиться – для сервопривода.

Принято решение сделать систему управления на борту шасси робота аналоговой без применения цифрового контролера, который усложнил бы шасси, а также отрицательно сказался бы на стоимости конечного изделия.

Питание к каждому двигателю подается напрямую от пульта управления по сигнальному проводу.

При проектировании робота учитывалась необходимость снижения применения в конструкции робота дорогих материалов и узкоспециализированных элементов, к которым сложно получить доступ при ремонте и обслуживании робота, если место применения находится на удалении от места производства робота и технологических центров. То есть робот необходимо было сделать таким образом, чтобы в случае его поломки все необходимое можно было найти в магазине электроники или изготовить на простейшем оборудовании.

Основными материалами для изготовления первой модели шасси робота стали листовая полистирол и стекловолокно, пропитанное эпоксидной смолой. В качестве двигателей для приводов шасси использовано 3 двигателя китайского производства фирмы Syma модель S022, подобные двигатели широко применяются в моделях различной радиоуправляемой техники производства Китая, что делает их широкодоступными. Актуаторы и двигатель подъемного устройства были взяты из наборов Lego technics, что делает их также широкодоступными. Еще одной причиной выбора компонентов производства LEGO – это их высокое качество изготовления и способность выдерживать серьезные нагрузки при малой массе самого устройства. Фактически изготовить актуатор по качеству, надежности и равный по массе примененному можно только с применением высокоточного оборудования и дорогих современных пластиков.

Каждая из трех опор шасси робота является самоходным шасси, внутри каждого из приводов в герметичном блоке установлен электродвигатель и измерительное колесо. Таким образом, в каждой опоре установлено две ведущие оси с приводом от электродвигателя и одна ось с измерительным колесом. Схема устройства привода шасси показана на рис. 1.

Робот оснащается тремя подъемными устройствами по одному на каждую из опор, при этом два подъемных механизма из трех являются съемными, для возможности использовать робот в трубопроводах меньшего диаметра. Каждый подъемник выполнен по типу ножницевого подъемника с одним актуатором (сервоприводом), все три подъемника работают от одного электродвигателя, установленного в герметичном боксе внутри основного корпуса робота и жестко закрепленного с несъемным подъемником.

Общая схема подъемника показана на рис. 2.

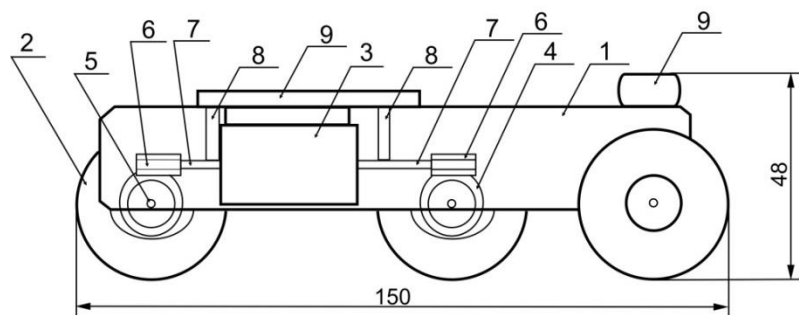


Рис. 1. Схема устройства привода шасси:

- 1 – корпус, 2 – колесо, 3 – двигатель, 4 – ведомая шестерня, 5 – ось колеса,  
6 – ведущая шестерня, 7 – вал двигателя, 8 – опора вала двигателя,  
9 – скоба крепления привода к шасси

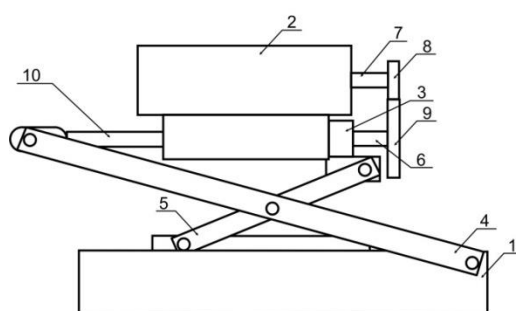
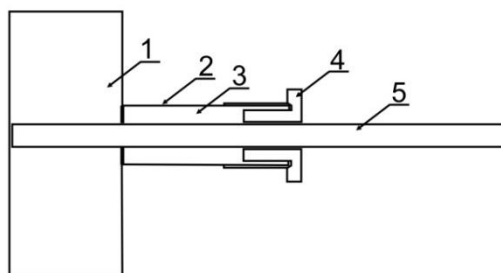


Рис. 2. Схема сервопривода подъемного устройства робота:

- 1 – корпус привода, 2 – электродвигатель в герметичном корпусе,  
3 – актуатор, 4 – большая подъемная опора, 5 – малая подъемная опора,  
6 – вал привода актуатора, 7 – вал электродвигателя, 8 – ведущая шестерня,  
9 – ведомая шестерня, 10 – выдвижная часть актуатора

Водонепроницаемый бокс для электродвигателя был изготовлен из листового полистирола, на выходном валу был установлен сальник, представляющий собой полость, наполненную густой смазкой, в данном случае ЦИАТИМ 221, подобное решение давно используется в судомоделизме и зарекомендовало себя вполне надежным, требующим небольшого объема работ по обслуживанию. Схема сальникового уплотнения приведена на рис. 3.



- Рис. 3. Устройство сальникового уплотнения двигателя: 1 – основной корпус;  
2 – втулка; 3 – полость, наполненная смазкой; 4 – крышка сальника;  
5 – вал двигателя

Для испытания разработанного шасси робота был разработан и смонтирован экспериментальный стенд.

Стенд был собран из фановой полиэтиленовой трубы длиной 2 м и диаметром 200 мм, и деревянного упора, позволяющего менять угол наклона трубы. Стенд позволяет проводить испытания шасси как с одним подъемным устройством, так и с полным комплектом подъемных устройств, хотя и несколько ограниченно, возможно изменение углов наклона от 0 до 85°, измерение угла наклона производится с помощью строительного транспортира. Стенд позволяет создать приближенные условия эксплуатации робота, кроме повышенной влажности.

Испытания первой модели шасси робота проводились на разработанном стенде, основной целью первого этапа испытаний было проверить тяговооруженность шасси робота и достаточность сцепных качеств выбранного типа колес, а также общую надежность системы.

Для испытания на тяговооруженность и сцепные качества колес стенд устанавливался под разными углами, от 30 до 70° градусов.

Испытания показали недостаточную мощность установленных на шасси двигателей китайского производства, с установленными двигателями шасси робота уверенно преодолевало только подъем в 45°, максимальный угол подъема, который преодолело шасси, был 48°, что является недостаточным, проскальзывания колес из-за недостаточного сцепления с поверхностью стенда выявлено не было.

По результатам испытаний стало видно, что необходимо изменить модель двигателя привода шасси на более мощный, скорее всего потребуется изменить конструкцию редуктора, передающего вращательный момент с двигателя на колеса шасси.

В целом же испытания первого прототипа робота показали работоспособность выбранной схемы подъемного механизма и общей концепции робота.

На данный момент проводится доработка шасси робота с учетом замечаний, полученных при проведении испытаний, и ведется подготовка к установке на роботизированное шасси системы управления, разрабатывается герметичный отсек для электрооборудования, подбираются компоненты системы управления.

Внедрение разрабатываемого мобильного робота позволит проводить контроль за состоянием трубопроводов, снизит расходы на эксплуатацию трубопроводов, повысит оперативность поиска мест утечек.

#### Литература

1. Кизилев С.А., Игнатова А.Ю., Игнатов Ю.М., Кизилев А.А. Шасси для робота / Пат. РФ на полезную модель № 149512, заявл. 13.05.2014, опубл. 10.01.2015.

# О ДОСТОИНСТВАХ И НЕДОСТАТКАХ ИНДУКЦИОННЫХ ИНДУКТОРНЫХ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ТИГЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

Г.Е. Левшин

*Алтайский государственный технический университет*

**Аннотация.** Рассмотрены достоинства и недостатки известных индукционных тигельных индукторных печей с вертикальным электромагнитным потоком и новых (предложенных в 2013 г.) электромагнитных печей с горизонтальным электромагнитным потоком. Проведено сравнение основных конструктивных и рабочих параметров процесса плавки и самих печей. Выявлены общие и отличительные особенности. Применение печей обоих видов расширит область применения индукционной плавки.

**Ключевые слова:** *индукционная тигельная плавка, индукторные печи с вертикальным электромагнитным потоком, электромагнитные печи с горизонтальным электромагнитным потоком.*

## ABOUT THE ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF INDUCTOR AND ELECTROMAGNETIC INDUCTION CRUCIBLE FURNACES

G.E. LEVSHIN

*Altai state technical university*

**Abstract.** The advantages and disadvantages of the known inductor induction crucible furnaces with a vertical electromagnetic flux and new (proposed in 2013) electromagnetic ovens with horizontal electromagnetic flux. A comparison of the key design and operating parameters of the smelting process and furnaces. Identified common and distinctive features. The use of furnaces of both species will broaden the scope of induction melting.

**Key words:** *induction crucible melting, induction furnace with vertical electromagnetic flux, electromagnetic ovens with horizontal electromagnetic flux.*

В литейных цехах распространяется индукционная тигельная плавка в индукторных печах (ИП) с вертикальным электромагнитным потоком частотой  $f \geq 50$  Гц, в т. ч. оснащенных вертикальными магнитопроводами (до 11 – 12 шт.), размещенными снаружи индуктора с определенным шагом и предназначенными для улавливания электромагнитного потока рассеяния [1 – 6] (рис. 1). В 2013 г. предложены печи с воздействием на шихту и расплав горизонтальным электромагнитным потоком, создаваемым электромагнитным устройством с изогнутым магнитопроводом-корпусом U-, O- или C-образной формы [7 – 10] (рис. 2). Поэтому они названы электромагнитными (ЭМ-печи).

Цель статьи – выявление и рассмотрение достоинств и недостатков индукторных и электромагнитных печей для установления их общих и отличительных особенностей и определения рациональной области применения.

В обоих случаях в каждом куске электропроводной шихты и внутри расплава диаметром  $d$  с магнитной проницаемостью  $\mu_i$ , электросопротивлением  $R_{ш}$  и удельным электросопротивлением  $\rho$  выделяется в течение времени  $t$  тепло  $Q$ . Оно создается вихревым замкнутым в горизонтальной или вертикальной плоскости током  $I_v$ , который индуцируется непосредственно переменным вихревым электрическим полем частотой  $f$  и ЭДС  $U_v$ . Это поле в свою очередь индуцируется вертикальным или горизонтальным переменным рабочим магнитным потоком  $\Phi_{раб}$  с индукцией  $B_e$  (напряженностью  $H_e$ ) и

площадью  $S$ . Вертикальный поток создается переменным же электрическим током  $I_n$  в витках  $w$  вертикального индуктора высотой  $h$  и диаметром  $D_{инд}$ , возбужденным ЭДС  $U_n$  источника электроэнергии. При этом происходят превращения энергии: электрическая от ЭДС источника  $\rightarrow$  магнитная (по закону полного тока)  $\rightarrow$  электрическая вихревого тока (по закону электромагнитной индукции)  $\rightarrow$  тепловая (по закону Джоуля-Ленца) [1 – 6].

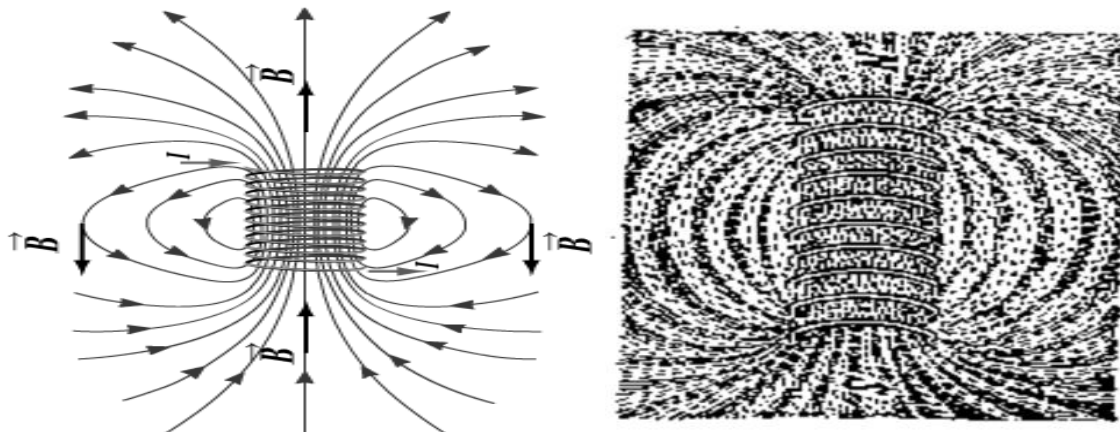


Рис. 1. Схема магнитного потока индукторной печи

В садке выделяется индуцированная мощность [2, 3]

$$P_{инд} = 2 \times 10^{-6} H_e^2 m (f \mu_i \rho)^{0,5} \text{ [кВт/см}^2\text{]},$$

где  $m$  – коэффициент, зависящий от отношения диаметра  $d$  к глубине  $\Delta$  проникновения магнитного поля в садку. При увеличении  $d/\Delta$  с рекомендуемых 3,5 до 20  $m$  возрастает от 0,75 до 0,9 [2]. Легко видеть, что наибольшее влияние на величину  $P_{инд}$  оказывает индукция  $H_e$  (напряженность  $H_e$ ), а не частота  $f$ .

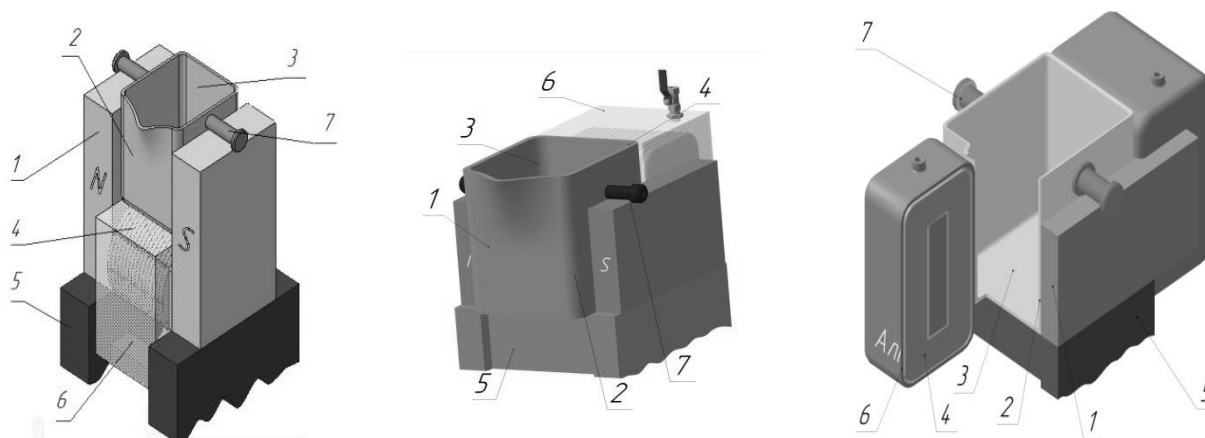


Рис. 2. Схемы электромагнитных печей: ЭМУ, ЭМС и ЭМО [1, 7 – 10]:

- 1 – магнитопровод; 2 – тигель; 3 – ванна тигля; 4 – индуктор;
- 5 – основание; 6 – защитный герметичный кожух для хладагента;
- 7 – цапфы тигля

Горизонтальный же поток создается так же, но горизонтальным индуктором, витки которого охватывают горизонтальный сердечник изогнутого магнитопровода-корпуса. Он сначала намагничивает магнитопровод до магнит-

ной проницаемости  $\mu_i \geq 10$ , что усиливает поток за счет увеличения индукции  $B_{er}$  в 10 и более раз. Затем усиленный горизонтальный поток направляется к тиглю и нагревает шихту и расплав аналогично вертикальному потоку [7 – 10]. При одинаковых параметрах индуктора индукция в ЭМ-печах больше, значит, и нагрев садки эффективнее. Действующие значения других величин можно оценить по формулам:  $Q = I_B^2 R_t$ ;  $I_B = U_B / R_{ш}$ ;  $U_B = 4,44 \Phi_{раб} f = 4,44 B_e S f$ ,  $B_e = \mu_0 I_n w/h$ ,  $B_{er} = \mu_i B_e$ . [1 – 10].

Оба вида печей обеспечивают следующие достоинства индукционной плавки: 1) получение максимально возможных высоких температур во всем объеме шихты и расплава, а не в отдельных частях; 2) высокая производительность, достигаемая благодаря большой удельной мощности; 3) наименьший угар металла из-за его нагрева изнутри наружу, что особенно важно при плавке цветных металлов и сплавов с дорогими и редкими легирующими добавками; 4) получение более чистого сплава из-за малого числа источников загрязнения и окисления; 5) устойчивый режим работы и простое и широкое регулирование мощности и температуры; 6) малые габариты печи и связанная с этим облегченная возможность плавки в вакууме или в специальной газовой среде; 7) относительно легкие и гигиеничные условия труда; 8) возможность полного или частичного опорожнения тигля с последующей завалкой твердой шихты; 9) возможность быстрого перехода с выплавки сплава одной марки на другую; 10) возможность использования в шихте до 100 % низкосортных материалов (стружки, отходов, пивных банок); 11) малая масса футеровки по сравнению с массой расплава, что уменьшает аккумуляцию тепла в футеровке, снижает тепловую инерцию печи и создает удобство для ее периодической работы (с перерывами между плавками в литейном цехе); 12) возможность питания печи от промышленной электросети без дорогих преобразователей частоты, имеющих КПД менее 0,97 и потребляющих дополнительную электроэнергию для своей работы [1 – 10].

Оба вида печей имеют и недостатки [1 – 10].

1. Поскольку шлак не электропроводен, он нагревается только от расплава и является относительно холодным. Это затрудняет протекание реакций между металлом и шлаком и, следовательно, процессы рафинирования в печах обоих видов [1 – 10].

2. Для повышения  $\cos \phi$  и полезного использования электроэнергии в ИП и ЭМ-печах необходимы устройства по компенсации реактивной мощности (обычно конденсаторные батареи). С понижением частоты  $f$  емкость, габариты и стоимость батареи возрастают. При частоте  $f = 50$  Гц стоимость батареи составляет наибольшую часть общей стоимости плавильной установки [2, 3].

3. Пониженная стойкость тонкой футеровки тигля (по сравнению с дуговыми и топливными печами) при резких колебаниях температуры из-за небольшой тепловой ее инерции, воздействия вибрации индуктора и размывающего действия расплава черных сплавов при электродинамических явлениях в ИП [2, 3].

В ЭМ-печах футеровка тигля может быть выполнена толще, а вибрация и размывающее воздействие гораздо меньше.



4. Однофазный индуктор ИП высотой  $h$ , близкой к диаметру  $D_{\text{инд}}$ , создает общий вертикальный магнитный поток  $\Phi$ , который разделяется на две равные части: рабочий  $\Phi_{\text{раб}}$ , действующий в рабочей полости индуктора, и рассеяния  $\Phi_{\text{рас}}$ , находящийся вне этой полости (рис. 1) [1 – 6]. Последний не участвует в нагреве шихты и расплава, но нагревает окружающие индуктор вертикальные магнитопроводы и другие электропроводные элементы печи. Величина его индукции распределена неравномерно в непосредственной близости у наружной поверхности индуктора, а именно: у торцов она значительно больше, чем с боков. По мере удаления от индуктора величина индукции снижается, причем в аксиальном направлении менее заметно, чем в радиальном (рис. 1).

Очень важно, что и значительная часть рабочего потока  $\Phi_{\text{раб}}$  с наибольшим значением индукции не используется для полезного нагрева, т. к. проходит вдоль неэлектропроводных стенок тигля и изоляционного слоя между тиглем и индуктором, а не по садке. Все это уменьшает полезное использование общего потока, создаваемого индуктором, почти до  $\sim 19\text{--}30\%$ , а коэффициент мощности  $\cos\varphi$  до  $0,03 - 0,10$  и повышает расход энергии. Покажем это, используя только известные соотношения между внутренними диаметрами индуктора  $D_{\text{инд}}$  и тигля  $D_{\text{т}}$  для печей ИСТ [3].

Для печи с  $D_{\text{инд}}=0,5$  м диаметр тигля  $D_{\text{т}}=0,31$  м, круговая площадь индуктора  $S_{\text{инд}}=0,19625$  м<sup>2</sup>, а кольцевая площадь, занятая стенками тигля и теплоизоляцией,  $S_{\text{ти}}=0,076$  м<sup>2</sup>. Она составляет 38 % от площади индуктора  $S_{\text{инд}}$ , оставляя для полезной площади  $S_{\text{п}}$  шихты только 62%. Для печи с  $D_{\text{инд}}=1$  м диаметр тигля  $D_{\text{т}}=0,653$  м,  $S_{\text{инд}}=0,785$  м<sup>2</sup>,  $S_{\text{ти}}=0,45$  м<sup>2</sup>,  $S_{\text{п}}=0,335$  м<sup>2</sup>, отношения  $S_{\text{ти}}/S_{\text{инд}}=0,57$  и  $S_{\text{п}}/S_{\text{инд}}=0,43$ . Для печи с  $D_{\text{инд}}=1,5$  м диаметр тигля  $D_{\text{т}}=1,0$  м,  $S_{\text{инд}}=1,766$  м<sup>2</sup>,  $S_{\text{ти}}=0,766$  м<sup>2</sup>,  $S_{\text{п}}=1,0$  м<sup>2</sup>, отношения  $S_{\text{ти}}/S_{\text{инд}}=0,43$  и  $S_{\text{п}}/S_{\text{эж}}=0,57$ . Отметим, что толщина футеровки составляет соответственно 0,095, 0,17 и 0,185 м и увеличивается вдвое для повышения прочности и надежности тигля при одинаковой температуре расплава и теплопроводности футеровки.

Т. о., полезное использование магнитного потока повышается с увеличением диаметра индуктора и вместимости тигля и находится в пределах  $\sim 38 - 57$  % для рабочего потока и  $\sim 19\text{--}30\%$  для общего потока. Однако при этом значительно (практически прямо пропорционально вместимости  $M_{\text{т}}$ ) возрастают мощность печи и расход электроэнергии [1 – 3, 5, 6].

Так, для печи ИСТ-31 с диаметрами  $D_{\text{инд}}=1,97$  м и  $D_{\text{т}}=1,61$  м при толщине футеровки 0,18 м полная расчетная мощность печи равна 44719 кВА, а реактивная мощность в зазоре между садкой и индуктором 37703 кВАр. Это означает, что  $(37703/44719)100=84,3\%$  электроэнергии расходуется впустую [2, 3]. В печи ИСТ-0,16 такие потери составляют 91,1%, а в ИСТ-0,4 – 92,5%.

Особо отметим, что в ЭМ-печах практически один и тот же усиленный рабочий магнитный поток с увеличенной индукцией  $B_e$  проходит от одного полюса к другому через две перпендикулярные ему неэлектропроводные футерованные стенки тигля и через электропроводные шихту или расплав, совершая полезный нагрев. И только малая часть его проходит мимо шихты по неэлектропроводным элементам футеровки. Так, в ЭМО-печи рабочий поток проходит только по двум параллельным боковым стенкам прямоугольного футерованного тигля, в ЭМС-печи – только по одной стенке, а в ЭМУ-печи –

только по его дну (рис. 2). Поэтому полезное использование усиленного рабочего потока с увеличенной индукцией  $B_e$  в ЭМ-печах значительно больше. При использовании электропроводного тигля в обоих видах печей поток нагревает весь тигель.

5. Вертикальный полный магнитный поток (поле) в ИП обычно создается невысоким однофазным индуктором и без садки является очень неоднородным (рис. 1). Он имеет близкую к тороидальной форму и разное направление векторов индукции относительно центра индуктора, а также неравномерное распределение величины индукции в его рабочей полости: 1) по высоте – у торцов она почти в 2 раза меньше, чем в середине; 2) по сечению – у витков она заметно больше, чем в центре. Это приводит к значительным разнонаправленным градиентам индукции в воздухе [1 – 4].

При наличии садки высотой  $h_c$  в виде расплава с плотностью  $\gamma$  и удельным электросопротивлением  $\rho$  ток в витках индуктора и создаваемое им поле направлены противоположно индуцированному ими в расплаве току и полю. Это обуславливает наличие значительных разнонаправленных градиентов индукции и электромагнитных и механических сил  $F$  отталкивания в расплаве и его интенсивное движение (двухконтурную циркуляцию) и перемешивание в разных направлениях с возможным выбросом его из тигля (рис. 3) [1 – 4]. Перемешивание расплава изучено еще недостаточно [5, 6].

В середине ЭК силовое воздействие направлено внутрь, а на ее краях появляется и аксиальная составляющая. Силы  $F$  оказывают давление  $p$  на боковую цилиндрическую поверхность садки (расплава), зависящее от индуцированной мощности  $P_{инд}$  [2]:

$$p = 31,6 P_{инд} 10^{-5} / \pi d_c h_c (pf)^{0,5} \text{ [МПа]}.$$

Оно действует преимущественно в радиальном направлении и выталкивает расплав вверх в средней части тигля. По бокам расплав вновь стекает вниз. Под действием радиальных сил на поверхности расплава с плотностью  $\gamma$  образуется мениск высотой  $H_m = p/\gamma$  (рис. 3). Он увеличивается до тех пор, пока значение металлостатического давления  $\gamma H_m$  не сравняется с электродинамическим  $p$ .

Высота  $H_m$  мениска повышается с уменьшением частоты поля и увеличением давления  $p$ , мощности  $P$  печи и удельной мощности  $P_{уд}$ , передаваемой в садку, и может быть определена и по другим формулам [2, 5]:

$$H_m = k P_{уд} / f^{0,5}, \text{ где } k \text{ – коэффициент пропорциональности;}$$

$$H_m = 7050 P / [d_c h_c \gamma (pf)^{0,5}], \text{ где размеры в дюймах.}$$

Высота  $H_m$  увеличивает высоту тигля. Обычно  $H_m$  составляет до ~15 % высоты  $h_c$  [2].

Давление может быть увеличено до такой степени, что расплав перейдет во взвешенное состояние [2]. Поэтому максимальное значение индукции и электрической мощности ограничивается интенсивностью движения расплава для предупреждения выброса его из тигля.

Перемешивание является причиной недостаточного срока службы тигля из-за повышенного износа стенок, особенно у его дна (в виде «слоновьей ноги») при плавке тяжелых высокотемпературных сплавов, нарушения

сплошности шлакового покрова, увеличения угара металла и замешивания в расплав продуктов износа, воздуха и шлака. Это увеличивает дефектность и брак отливок по включениям. Однако перемешивание ускоряет нагрев расплава, облегчает протекание реакций между металлом и шлаком и способствует получению однородного сплава и равномерного химического состава расплава [2 – 6]. Для уменьшения количества включений в отливках приходится применять дополнительные меры (отстаивание расплава в печи, фильтрация и т. д.). Это особенно актуально для легких сплавов, где разность плотностей расплава и включений невелика и затрудняет их всплытие [2 – 6].

Интенсивность (индекс) перемешивания расплава с площадью  $S_c$  можно оценить по разным формулам [4, 5]:

$\Pi = (0,04 \dots 0,06) P_{уд}$ , %, где низкая интенсивность перемешивания соответствует 1...5 %, средняя – 5...10%, высокая  $\geq 10$  % [1, 4];

$SI = [6000(Pd_c/\gamma pf)^{0,5}] / S_c$ , где размеры в дюймах. Индекс  $SI = 80 \dots 120$  означает перемешивание от сильного до очень сильного; 55...80 – сильное перемешивание; 40...55 – среднее; 20...40 – слабое; 0...20 – очень слабое. Для чугуна рекомендуется  $SI = 40 \dots 55$  и для алюминия 55...80 [5].

Интенсивность снижают увеличением высоты тигля над индуктором, выполнением индуктора из электрических секций и отключением верхней после расплавления сплава (рис. 3), увеличением частоты тока питания и др. [2 – 6].

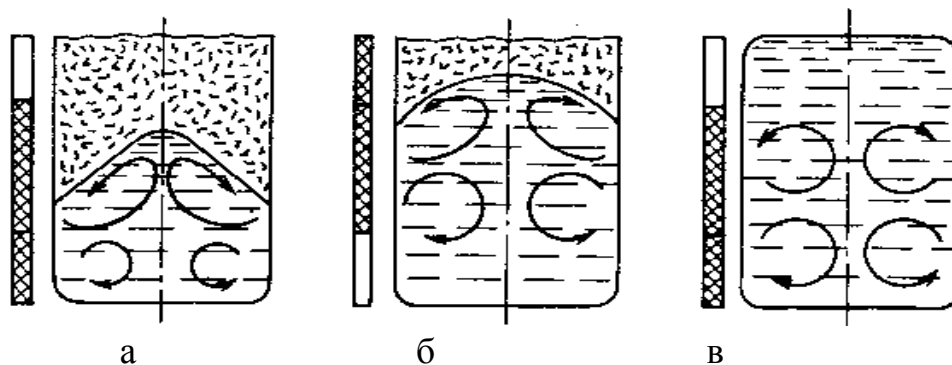


Рис. 3. Схемы циркуляции расплава при переключении трех секций индуктора печи ИАТ-10/2,5И1: а, б – максимальная интенсивность при плавке мелкой шихты; в – минимальная интенсивность при выдержке расплава (заштрихованы включенные секции) [6]

Повышение частоты  $f$  позволяет не только уменьшить интенсивность, но и увеличить скорость плавки и подводимую удельную мощность. Однако это удорожает электрооборудование из-за наличия электронного преобразователя частоты с КПД менее 0,97 и системой его охлаждения кондиционной водой и снижает КПД при выдержке и перегреве расплава [2 – 6].

Поэтому при  $f = 50$  Гц удельная мощность плавки чугуна не превышает 400 кВт/т из-за значительного увеличения газометаллических выбросов, а при 1000 Гц может достигать 1000 кВт/т, обеспечивая скорость нагрева до 50 °С/мин [5, 6]. Так, длительность плавки завалки чугуна в печи с  $M_T = 10$  т ( $f = 60$  Гц) составляет ~ 120 мин, а при 275 Гц – только ~ 26 мин (или в 4 раза быстрее) [5]. Кроме того, при  $f = 50$  Гц верхний уровень индуктора располагают ниже уровня

садки на 20...30% его высоты [6]. При этом во избежание перегрева части тигля над садкой располагают «холостую» (бестоковую) водоохлаждаемую катушку (или кольцо). Если же она является рабочей частью индуктора, то с помощью отпайки отключается после расплавления шихты для уменьшения циркуляции. Однако уменьшение высоты индуктора всегда снижает КПД [5, 6]. Поэтому интенсивное перемешивание скорее недостаток, чем преимущество индукторных печей промышленной частоты.

При высокой степени перемешивания жидкого чугуна ( $\Pi \geq 10\%$ ) количество неметаллических включений в нем увеличивается, а при слабом перемешивании ( $\Pi=1...5\%$ ) уменьшается. Очевидно, при интенсивном перемешивании неметаллические включения не успевают всплывать в шлак и увлекаются вглубь металла. Кроме того, при интенсивном перемешивании все время обновляется слой металла, соприкасающийся с атмосферой, и происходит повышенный угар компонентов чугуна. В печах промышленной частоты науглероживание следует производить при средней степени перемешивания [4].

Интенсивность движения расплава в ИП промышленной частоты влияет и на газосодержание расплава. С одной стороны, происходит насыщение водородом, кислородом и азотом воздуха, с другой, – дегазация за счет образования пузырьков СО и диффузии в них указанных газов [4]. Поэтому газосодержание чугуна в индукторной печи такое же или немного меньше газосодержания ваграночного чугуна, когда капли расплава интенсивно взаимодействуют возле фурменного пояса с потоками воздуха, создаваемыми вентилятором. Так, содержание кислорода в металле (после определенной его выдержки) при температуре 1400 °С составляет 0,006%, с повышением температуры до 1450 °С содержание кислорода уменьшается до 0,0025%. Наоборот, содержание азота может значительно увеличиться (от 0,007 до 0,10%) с возрастанием температуры металла. Содержание водорода увеличивается с 0,0055% при 1460 °С до 0,008% при 1520 °С. С увеличением углеродного эквивалента содержание азота и кислорода в чугуне, выплавленном в индукторной печи, снижается.

ЭМ-печи создают практически плоскопараллельное поле с малыми градиентами, направленными от середины межполюсного расстояния к полюсам. Поэтому интенсивность перемешивания и связанные с ним вредные последствия должны быть меньше и, следовательно, мощность  $P_{уд}$  может быть выше 400 кВт/т [7 – 10].

6. Диаметр однослойного индуктора больше диаметра тигля ИП, т. к. витки индуктора охватывают тигель, но расположены максимально близко к нему, потому что являются опорой для крепления тигля, особенно при его поворотах. Это увеличивает его индуктивность и стоимость, т. к. они выполнены полыми из дорогой толстостенной медной трубки, поверх которой нанесена электроизоляция [2 – 6]. Эти индукторы чаще выполняют однофазными.

В ЭМ-печах витки одно-, двух- или трехслойного индуктора не охватывают тигель и поэтому внутренние размеры индуктора меньше размеров тигля, что уменьшает его индуктивность и стоимость (при одинаковом числе витков). Индукторы этих печей могут быть одно- и трехфазными [7 – 10].

7. Внутри трубки индуктора ИП протекает под давлением до 0,2 – 0,7 МПа со скоростью 1 – 1,5 м/с охлаждающая кондиционная вода (дистиллированная или с содержанием механических примесей до 80 г/м<sup>3</sup>, определенной жесткостью до 7 г-эquiv/м<sup>3</sup>, температурой 35 – 40 °С и водородным показателем рН=7). Охлаждение такой водой повышает расходы по ее кондиционированию и созданию повышенного давления [2, 3].

В ЭМ-печах электроизолированные витки могут быть выполнены в виде гибкого жгута медных проволок и охлаждаться снаружи обычной проточной водопроводной водой, циркулирующей между витками, что снижает расходы на водоподготовку [7 – 10].

8. Из-за необходимости близкого расположения тигля к охватывающим его виткам индуктора снижается надежность ИП и повышаются расходы на предупреждение вытекания расплава на индуктор (при образовании щелей в тигле) [2, 3, 5].

В ЭМ-печах надежность заметно выше, т.к. витки индуктора не охватывают тигель, а находятся сбоку от него (ЭМО- или ЭМС-печи) или под его дном (ЭМУ-печь), отделены от него огнеупорной стенкой кожуха и слоем хладагента (рис. 2) [7 – 10].

9. С повышением частоты и удельной мощности увеличиваются электродинамические силы, вызывающие колебания витков трубчатого медного индуктора и пластин магнитопровода. Они пульсируют с удвоенной частотой по сравнению с частотой тока, что вызывает вибрации индуктора, вертикальных магнитопроводов и корпуса печи и повышенный шум. Для уменьшения шума в среднечастотной печи в фирме АВВ очень сильно сжимают индуктор и запрессовывают пакет магнитопровода в специальный алюминиевый жесткий профиль (каркас). Он прижимается к индуктору только в верхней и нижней ее части с образованием мощной и жесткой конструкции. Кроме того, верхняя платформа печи отделена от ее корпуса демпфирующими элементами, а крышка печи с вытяжным зонтом выполнены звукоизолированными. Однако это приводит к нагреву алюминиевого каркаса [5].

В ЭМ-печах индуктор из гибкого одно- или многожильного кабеля, окруженный жидким хладагентом, не издает шума. Поэтому их шумовыделения могут быть меньше.

10. В печах обоих видов применяют магнитопроводы из электроизолированных пластин трансформаторной стали с коэффициентом заполнения ~ 0,9. В ИП длина одного пакета магнитопровода должна превышать высоту индуктора примерно на четыре толщины футеровки. Это приводит к значительной суммарной массе магнитопроводов: для печей малой вместимости она превышает массу расплава, а для печей средней и большой вместимости – несколько меньше массы расплава (например, для печи вместимостью 1 т эта масса составляет 0,6 – 0,7 т). Потери в магнитопроводах на перемагничивание и вихревые токи составляют 0,4 – 1,0% активной мощности печи при внутренней индукции 0,6 – 1,0 Тл и величине удельных потерь на 1 м<sup>2</sup> боковой поверхности магнитопровода при естественном охлаждении на воздухе менее 750 Вт/м<sup>2</sup> и температуре нагрева до 75 °С [2, 3].

Для ЭМ-печей масса магнитопровода, видимо, будет больше. Поток рассеяния в печах обоих видов локализуют также электропроводными экранами из алюминия, меди, немагнитной стали и т.п.

Сравнение двух видов индукционных печей показывает возможность уменьшения недостатков 3 – 9 индукторных печей путем использования вместо них ЭМ-печей (где это наиболее целесообразно), в т.ч. для подогрева шихты, плавки, выдержки и доводки расплава, доставки съемного тигля к месту заливки. Это позволит расширить область применения перспективного способа индукционной тигельной плавки и подогрева.

В экспериментальных ЭМ-печах невысокого качества с разными рабочими объемами (5...50 дм<sup>3</sup>), магнитопроводами, индукторами из электроизолированных шинки, гибких кабелей и проводов расплавлены при 50 Гц свинец, силумин (со средней скоростью до 15...17 °С/мин) и латунь и медь (до 20...25 °С/мин). Это заметно больше, чем в индукторных печах ИАТ-0,4/0,18 и ИЛТ-1,0/0,4. По эффективности опробованные способы охлаждения составляют следующий ряд: проточной водопроводной водой > трансформаторным маслом > сжатым воздухом > вентилятором [10].

Сравнительный анализ и положительные результаты экспериментов позволяют рекомендовать продолжение исследований индукционной плавки в электромагнитных тигельных печах с горизонтальным магнитным потоком частотой  $f=50$  Гц и более (как перспективной и инновационной) для вполне возможного улучшения параметров.

#### Список литературы

1. Левшин Г.Е., Кульдяйкин Д.С., Левагин А.В. Развитие индукционной тигельной плавки в печах промышленной частоты /Актуальные проблемы в машиностроении, 2014. № 1. С. 33-37.
2. Брокмайер К. Индукционные плавильные печи. – М.: Энергия, 1972. – 304 с.
3. Электрические печи для выплавки черных и цветных сплавов. /Л.М. Романов, А.Н. Болдин, А.Н. Граблев, Д.П. Михайлов. – МГИУ, 2007. – 104 с.
4. Леви Л.И., Мариенбах Л.М. Основы теории металлургических процессов и технология плавки сплавов. – М.: Машиностроение, 1970. – 496 с.
5. Современные плавильные агрегаты: сборник. – М.: ИТЦМ Metallurg, 2014. – 370 с.
6. Исследование и разработка индукционных плавильных печей /Сб. трудов под ред. А.А. Простякова. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 105 с.
7. Пат. 2539490 РФ, МПК F27B14/06. Электромагнитная индукционная тигельная плавильная печь с U-образным магнитопроводом и горизонтальным магнитным потоком [Текст] / Левшин Г.Е., Попов Н.А. Патентообладатель АлтГТУ. – 2013111013/02; заявл. 12.03.2013; опубл. 20.01.2015.
8. Пат. 2536311 РФ, МПК F27B14/06. Электромагнитная тигельная плавильная печь с C-образным магнитопроводом и горизонтальным магнитным потоком [Текст] / Левшин Г.Е., Сергеев С.Ю. Патентообладатель АлтГТУ. – 2013111013/02; заявл. 12.03.2013; опубл. 20.12.2014.

9. Патент № 2536311 РФ, МПК F27B14/06. Электромагнитная тигельная плавильная печь с горизонтальным магнитопроводом и магнитным потоком [Текст] / Левшин Г.Е., Сергеев С.Ю. Патентообладатель АлтГТУ. – 2013111013/02; заявл. 12.03.2013; опубл. 20.12.2014.

10. Левшин Г.Е. Исследование электромагнитной индукционной печи /Ползуновский вестник, 2015. №1. С. 31–34.

## **ЭВОЛЮЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КПД ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК МОЩНОСТЬЮ СВЫШЕ 300 МВт**

В.К. Лозенко, Д.В. Михеев, А.Н. Рогалев

*Национальный исследовательский университет «МЭИ»*

П.И. Окле́й

*ПАО «Интер РАО»*

В работе рассматривается эволюция электрического КПД парогазовых энергоустановок (ПГУ), который является ключевым показателем эффективности функционирования данных технических систем (ТС). Демонстрируются сведения о самых современных российских мощных (свыше 300 МВт) энергоблоках на основе парогазовых технологий, отличающихся высокой энергоэффективностью. Приводятся доказательства, что парогазовые ТЭС являются технологиями пятого уровня бизнес-уклада (БУ).

**Ключевые слова:** парогазовая тепловая электростанция, КПД, энергоэффективность, бизнес-уклад, эволюция.

## **EVOLUTION OF THE ELECTRICAL EFFICIENCY OF COMBINED- CYCLE PLANTS WITH POWER OVER 300 MW**

V.K. Lozenko, D.V. Mikheev, A.N. Rogalev

*National research University «MPEI»*

P.I. Okley

*INTER RAO*

The paper considers the evolution of the electrical efficiency of combined-cycle power plant, which is a key indicator of the efficiency of these technical systems. Authors demonstrate information about modern Russian high power (over 300 MW) combined-cycle power units that are characterized by high energy efficiency. Authors present evidence that combined-cycle thermal power plants are the technology of the fifth the business-mode level.

**Key words:** combined cycle thermal power plant, efficiency, energy efficiency, business-mode, evolution.

В 70-80-х гг. XX века ведущим производителям энергоустановок удалось создать промышленно эксплуатируемые ПГУ, КПД которых в конденсационном режиме достигал 50%. На рубеже XX-XXI столетий электрический КПД вновь вводимых в эксплуатацию мощных ПГУ (свыше 300 МВт) в среднем уже уверенно превышал данное значение.

В настоящее время энергоблоки ТЭС, функционирующие на основе бинарных ПГУ с котлом-утилизатором [1, 2], являются наиболее энергоэффективными и передовыми энергоустановками «большой» энергетики среди всех известных и широко эксплуатируемых ТЭС на органическом топливе. По ключевому показателю (электрическому КПД) парогазовые энергоблоки существенно (на 15-20%) превосходят современные

паротурбинные и газотурбинные ТЭС, являясь более эффективными с энергетической, экономической и экологической точек зрения. Поэтому ряд экспертов прогнозирует [3], что когенерационные парогазовые ТЭС в ближайшем будущем составят около 50% в структуре мировой генерации.

На сегодняшний день КПД самых эффективных ПГУ большой мощности в конденсационном режиме достигает уровня в 60-61% [3], что обеспечивается за счет применения в них более совершенных газотурбинных двигателей. Первыми парогазовыми энергоблоками со столь высоким КПД стали энергоустановки на базе газовых турбин Mitsubishi Heavy Industry M701F4и Siemens SCC5-8000H, введенные в коммерческую эксплуатацию в 2010 году в Японии и в 2011 году в Германии [3].

На рис. 1 представлена ретроспективная зависимость изменения электрического КПД ПГУ для всех видов конструкционных исполнений и всех мощностных диапазонов в течение жизненного цикла данной ТС.

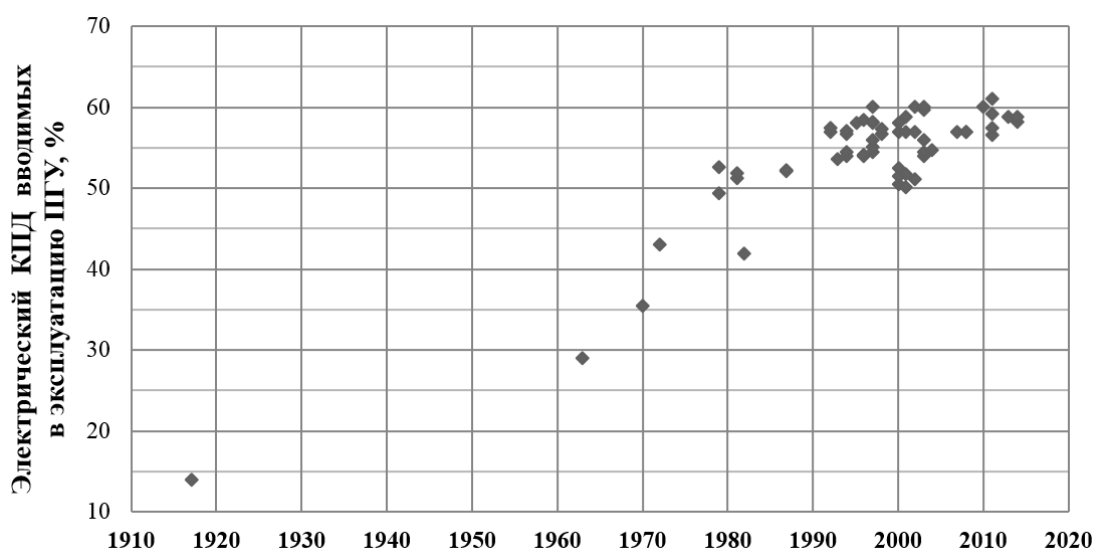


Рис. 1. Динамика изменения электрического КПД ПГУ в XX-XXI вв. [5]

В РФ в период с 1990 по 1995 год были разработаны первые проекты отечественных ПГУ большой мощности. В 2000 году ПГУ-450Т Северо-Западной ТЭС в г. Санкт-Петербург (электрическая мощность – 450 МВт, КПД в конденсационном режиме – 51-52%) стала первой мощной ПГУ, введенной в постоянную эксплуатацию на территории РФ [3]. За строительством указанного энергоблока последовало создание целого ряда ПГУ подобного типа [3].

В данный момент на территории России продолжается реализация инвестиционных проектов по строительству парогазовых энергоблоков, в том числе в составе действующих ТЭС и ГРЭС. Отечественные изготовители в основном разрабатывают и производят паросиловую часть ПГУ вместе с электрооборудованием (КУ и ПТУ). Использование более совершенных газотурбинных установок иностранного производства при строительстве новых ПГУ в РФ позволило выйти на качественно новый уровень КПД выработки электроэнергии на отечественных ТЭС [3]. КПД лучших образцов российских мощных парогазовых энергоблоков достигает 56-59%, что соответствует



лучшим мировым аналогам (информация получена с официальных веб-сайтов компаний):

- энергоблок мощностью 420 МВт на ТЭЦ-26 ПАО «Мосэнерго» (введен в 2011 году), КПД – 59,08%;

- энергоблок мощностью 420 МВт на ТЭЦ-16 ПАО «Мосэнерго» (введен в 2014 году), КПД – 58,2%;

- энергоблок мощностью 419,5 МВт на Серовской ГРЭС ОГК-2 (в стадии строительства), КПД – 58,59%;

- энергоблок мощностью 418,9 МВт на Череповецкой ГРЭС ОГК-2 (введен в 2014 году), КПД – 58,7%;

- энергоблок мощностью 418,9 МВт на Няганской ГРЭС ОАО «Фортум» (введен в 2013 году), КПД – 58,75%;

- энергоблок мощностью 425 МВт на Яйвинской ГРЭС ОАО «Э.ОН Россия» (введен в 2011 году), КПД – 56,6% (нетто);

- энергоблок мощностью 450 МВт на Краснодарской ТЭЦ ООО «ЛУКОЙЛ-Кубаньэнерго» (введен в 2011 году), КПД – 57,4%.

По этому ключевому для ТЭС показателю энергоблок №8 ТЭЦ-26 ПАО «Мосэнерго» на базе ПГУ-420 (далее ПГУ-420), созданный в результате выполнения НИОКР и введенный в эксплуатацию в 2011 году, находится на одном уровне с лучшими мировыми образцами и остается самым экономичным и энергоэффективным энергоблоком, построенным на территории РФ (КПД энергоблока в конденсационном режиме, составляет 59,08%, в нем обеспечен высокий уровень тепловой экономичности в широком диапазоне нагрузок, низкий уровень начальных температур газов (1235 °С) благодаря двум камерам сгорания газовой турбины, что упрощает и удешевляет эксплуатацию установки и увеличивает ее надежность) [4]. Опыт эксплуатации подтверждает высокую эффективность ПГУ-420 и ее соответствие проектным значениям [3].

Параллельное создание высокоэкономичных ПГУ разными производителями очередной раз подтверждает существование независимой от воли конкретных людей объективной закономерности одновременного возникновения в разных местах одинаковых потребностей [5]. Именно поэтому энергетические характеристики ПГУ-420 на момент пуска в эксплуатацию находятся на уровне лучших мировых достижений.

Несмотря на то, что технологии выработки тепловой и электрической энергии на ТЭС согласно С.Ю. Глазьеву [5] принято справедливо относить к технологиям 4-го БУ, парогазовые технологии (при конденсационном КПД более 50%, снижении температуры сгорания, улучшении эксплуатационных характеристик и т.д.) являются уже технологиями 5-го БУ в результате эволюции ключевого показателя эффективности функционирования ТЭС. Для РФ этот период соответствует началу 2000 годов, чему способствовали предшествующие научно-конструкторские разработки в данной области.

Следовательно, можно констатировать, что уровень БУ определяется не только качественными характеристиками (например, наличием той или иной технологии в инфраструктуре организации или отрасли по факту), но и

количественными (то есть интегральной эффективностью данных технологий для конкретной организации или отрасли). С другой стороны, как было отмечено в тексте на примере высокоэффективного энергоблока ПГУ-420, создание данных энергоблоков – результат выполнения НИОКР или, по крайней мере (в других случаях), затрат большого количества ресурсов (человеческих, материальных, энергетических, информационных, финансовых). Решение подобных трудных комплексных задач требует от организации:

- эффективной системы управления [5] и, соответственно, оптимизации внутриорганизационного взаимодействия и взаимодействия с внешней средой (как на организационно-экономическом, так и на вещественном, энергетическом и информационном уровнях);

- организации современной системы управления активами в соответствии с требованиями серии международных стандартов ISO 55000, ISO 55001, ISO 55002 по управлению активами;

- наличия высококвалифицированного персонала [5], способного решать сложные инновационные задачи.

Таким образом, эволюционное совершенствование технологической инфраструктуры организации, основанное на улучшении ключевых показателей технологии/ТС, приводит к:

- улучшению некоторых менее важных показателей эффективности, что повышает интегральную эффективность технологии/ТС;

- переходу технологии/ТС от более низкого уровня БУ к более высокому уровню БУ в результате перехода количества в качество;

- постепенному переходу организации от более низкого уровня БУ к более высокому уровню БУ в результате взаимосвязанности процессов улучшения ключевых показателей эффективности технологии/ТС/инфраструктуры, обеспечения эффективности системы управления и эффективности управлением человеческими ресурсами.

#### Список литературы

1. Трухний А.Д. Парогазовые установки электростанций: учебное пособие для вузов по направлениям «Энергетическое машиностроение», «Теплоэнергетика и теплотехника» / А.Д. Трухний. – М.: Изд. дом МЭИ, 2013. – 648 с. – ISBN 978-5-383-00721-1.

2. Цанев С.В. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций: учебное пособие для вузов / С.В. Цанев, В.Д. Буров, А.Н. Ремезов. – 2-е изд., стер. – М.: Изд-во МЭИ, 2006. – 584 с. – ISBN 5-903072-19-4.

3. Лозенко В.К. Эволюция ключевого показателя эффективности мощных парогазовых установок / В.К. Лозенко, Д.В. Михеев, П.И. Оклей, А.Н. Рогалев. – Микроэкономика. – 2015. – №4. – С. 58-61. – ISSN 1817-1591.

4. Парогазовый энергоблок №8 комбинированного цикла на ТЭЦ-26 ОАО «Мосэнерго» [Электронный ресурс] / Alstom. – Режим доступа: [http://www.alstom.com/Global/Russia/Resources/Documents/Brochures/PFi\\_Prev\\_03.05.pdf](http://www.alstom.com/Global/Russia/Resources/Documents/Brochures/PFi_Prev_03.05.pdf).

5. Лозенко В.К. Эволюция бизнесценозов и бизнесукладов в экономике. Palmarium Academic Publishing / В.К. Лозенко. – 2013. – 181 с. – ISBN 978-3-659-98721-2.

## **РАСЧЕТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ НОРМАЛЬНЫХ ДАВЛЕНИЙ НА НАРУЖНОЙ ПОВЕРХНОСТИ КРИВОШИПНОЙ ГОЛОВКИ ШАТУНА**

Н.Л. Марьина

*кандидат технических наук, доцент, Балаковский инженерно-технологический институт, филиал НИЯУ МИФИ, г. Балаково*

Е.В. Овчинникова

*аспирант, Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина, г. Саратов*

**Аннотация:** Обычно при оценке прочности конструкции МКЭ применяют только для сплошных тел. Поэтому целью настоящей работы является разработка методики расчета контактных задач, учитывающей трение и деформирование поверхностных микронеровностей, и оценка на основании этой методики работоспособности стыкового соединения кривошипной головки шатуна форсированного дизеля. В соответствии с целью исследования был поставлен ряд задач: выбор математической модели контактирования поверхностных микронеровностей и на их основе получение расчетных зависимостей для определения упруго – пластических свойств контакта; разработка алгоритма расчета по МКЭ трибоконтактной задачи; оценки достоверности их путем решения тестовых примеров, имеющих точное аналитическое или экспериментальное значение; для предварительно затянутого соединения разработка расчетной КЭ аппроксимации, включающей в себя части стягивающих деталей шатуна и болта; исследование (с помощью математического эксперимента) стыкового соединения шатуна форсированного дизеля.

**Ключевые слова:** *шатун, метод конечных элементов, напряженно-деформированное состояние, контактные давления.*

## **DESIGN OF PRESSURE BOUNDARY CONDITIONS ON THE OUTER SURFACE OF THE CONNECTING ROD CRANK HEAD**

N.L.Marjina

*candidate of Technical Science, associate professor, Balakovo Institute of Engineering and Technology, (branch) of Moscow Institute of Physics and Engineering, Balakovo*

E.V. Ovchinnikova

*post-graduate, Saratov State Technical University after Yu. Gagarin, Saratov*

**Annotation** Usually, when assessing the strength of the structure FEM is used only for solid bodies. Therefore, the aim of this work is to develop a methodology for calculating contact problems, taking into account the friction and deformation of surface microroughness, and evaluation based on the performance of this technique butt joint crank crosshead diesel forced. In accordance with the purpose of the study was the number of tasks: the choice of the mathematical model of the contacting surface microroughness and, based on model calculations to determine the dependency of elastic - plastic properties of the contact; Development of the algorithm for calculating FEM tribokontaktnoy task; assess the validity of their way to solve the test cases with the exact analytical or experimental value; pre-tighten the connection to the development of computational FE approximation, which includes parts of the tightening rod and bolt; study (with the help of mathematical experiment) butt joint rod forced diesel.

**Keywords:** *rod, finite element method, the stress-strain state, the contact pressure.*

Непрерывный рост цилиндровой и агрегатной мощностей дизелей приводит к возрастанию нагрузок, действующих в деталях КШМ. Для снижения давлений в коренных и шатунных подшипниках, а также для повышения жесткости коленчатых валов шейки последних стремятся делать возможно большего диаметра. Ограничения, накладываемые на размеры кривошипной головки необходимого демонтажа шатунов через цилиндровые втулки, приводят к тому, что с увеличением диаметра шатунной шейки уменьшается длина стыков кривошипной головки. Это существенно ухудшает работу стыкового соединения и делает стык одним из самых опасных элементов конструкции.

Высокие знакопеременные динамические нагрузки на КШМ ставят перед дизелестроением сложную проблему повышения эксплуатационной надежности шатунов, которую невозможно решить без проведения обширного комплекса научно-исследовательских работ. Переход к итерационной процедуре анализа распределения контактных давлений в стыке кривошипной головки шатуна является вторым этапом в общей методике расчета стыка по методу конечных элементов (МКЭ). Для начала необходимо найти напряженно – деформированное состояние кривошипной головки в предположении «спаянности» стыка подобно тому, как это делалось в исследовании [1], посвященной исследованию напряженно-деформированного состояния шатуна.

Кривошипная головка считается сплошным телом и разбивается на конечные элементы с учетом ее геометрической формы (рис. 1).

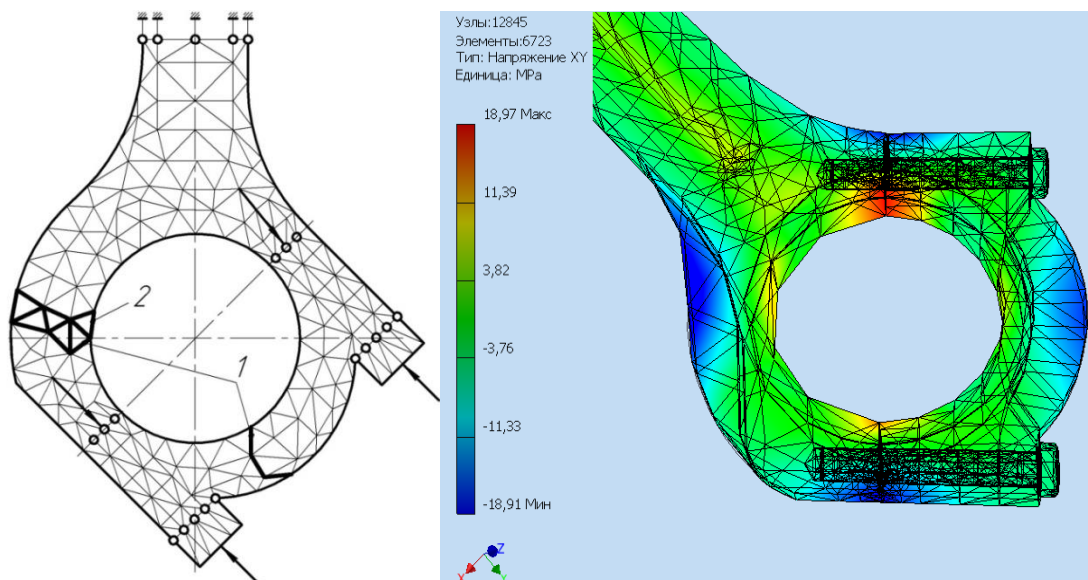


Рис. 1. Конечно – элементная идеализация кривошипной головки шатуна форсированного дизеля 6ЧН 21/21 и схема нагружения от предварительной затяжки: 1 – границы выделяемой подконструкции; 2 – слой конечных элементов, с помощью которого определяются реакции в граничных узлах подконструкциях

В аппроксимацию входят шатунные болты, имеющие общие узловые точки с шатуном в резьбовой части и под головкой болта. В отличие от ранее

изложенной задачи необязательно выполнять расчет шатуна в динамике, одновременно имитируя усилия предварительной затяжки. Применяя принцип суперпозиции к упругой системе, рассчитываем напряженно – деформированное состояние конструкции отдельно от предварительной затяжки и от динамических нагрузок. Суммируя соответствующие результаты, находим полные значения напряжений и перемещений.

Напряженно – деформированное состояние кривошипной головки шатуна для статистического случая предварительной затяжки (при наличии вкладыша и без него) приближенно может быть найдено, если к конструкции вдоль осей болтов приложить сжимающие силы, как показано на рис. 2.

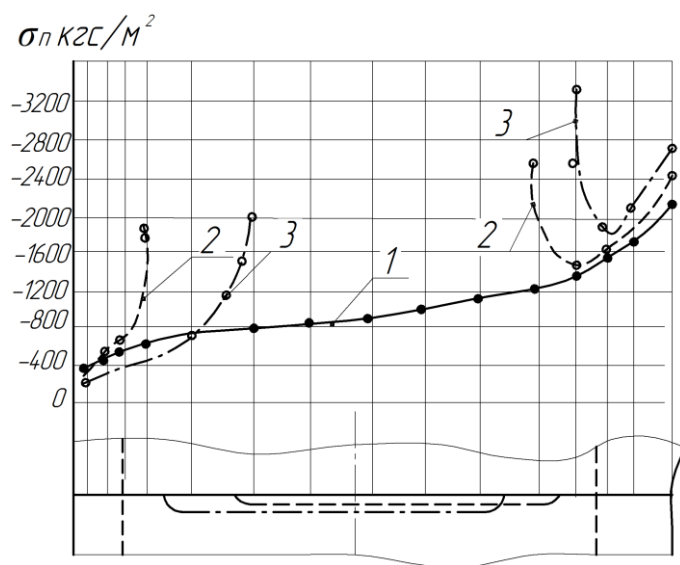


Рис. 2. Эпюра контактных давлений по длине стыка кривошипной головки для случая предварительной затяжки со вкладышем:  
 кривая 1 – полноопорный стык;  
 кривые 2 и 3 – для стыка с различными выборками

Сжимающие силы должны быть больше номинального усилия затяжки на величину отношения площади поперечного сечения болта к площади стыка, т.к. при такой схеме нагружения сжатию подвергаются и болт, и стык.

Взаимодействие разъемного тонкостенного вкладыша подшипника скольжения с упругим контуром постели кривошипной головки шатуна представляет собой одну из разновидностей контактных задач, которые требуют специального решения. Однако для правильно сконструированных подшипниковых узлов (нет потери нормированного затыга) в первом приближении эпюра контактных давлений предполагается равномерной по окружности расточки постелей.

Расчеты усталостной прочности шатунов форсированных двигателей обычно производят в квазистатической постановке.

Динамическая составляющая напряжений в кривошипной головке определялась отдельно от статической. В соответствии с расчетной векторной диаграммой нагрузок на шатунный подшипник для каждого положения

коленчатого вала имеем величину и направление внешней нагрузки. Для достоверного определения напряжений в шатуне необходимо также знать и закон распределения этой нагрузки в подшипнике.

Из множества факторов, влияющих на форму эпюры распределения нагрузки между вкладышем и валом динамически нагруженного подшипника, главными являются гидродинамика в сочетании с податливостью постели. Комплексная упругогидродинамическая задача распределения давлений в масляном клине еще не решена, поэтому при исследовании прочности подшипниковых узлов принималось, что эпюра давлений находится на основании решения контактной задачи «жесткий вал - упругая постель подшипника» [1] без учета сил трения в сопряжении.

В результате расчетов кривошипной головки получены значения напряжений и перемещений отдельно от предварительной затяжки и от динамической добавки.

При переходе к расчету подконструкций необходимо располагать граничными условиями в узлах стыковки с элементами конструкции, из которой она выделена. Это можно сделать, если задать в этих узлах найденные узловые перемещения (кинематические граничные условия). При проведении квазистатических расчетов подконструкции перемещения от затяжки алгебраически суммируются с перемещениями, найденными при динамическом расчете всей головки шатуна. Внутри подконструкции также должны быть приложены действующие на соединение суммарные силы. Так как в расчетах кривошипных головок предполагалось отсутствие стыка, то при решении контактной задачи могут возникнуть погрешности, связанные с наличием разъема, который уменьшает общую жесткость соединения. При этом напряжения в стыке будут несколько занижены, а в КЭ, прилегающих к узловым точкам с заданными перемещениями, завышенными.

Чтобы избежать этих погрешностей, вместо перемещений узлов будем учитывать силовые граничные условия, т.е. силы, действующие на граничные узловые точки подконструкции. Рассмотрим простой способ их точного определения, для чего оценим слой КЭ в упругой задаче для кривошипной головки, прилегающий к границе выделенной подконструкции. Для каждого из его узловых точек имеем расчетные перемещения. Если в основном матричном соотношении в МКЭ для слоя

$$- [K]\{q\} = \{F\}$$

не известен вектор правых частей системы уравнений  $\{F\}$ , то его можно определить простым перемножением матрицы жесткости слоя  $[K]$  на вектор найденных из решения упругой задачи перемещений узловых точек  $\{q\}$ . Вектор  $\{F\}$  представляет реакции КЭ слоя на прилегающие области. Перед проведением соответствующих квазистатических расчетов необходимо в каждом узле просуммировать реакции от статической затяжки и от динамического нагружения. Получив таким образом реакции в граничных узлах, переходим к численному исследованию подконструкции.



Затем из вектора  $\{P\}$  вычеркиваем элементы, которым по диагонали матрицы  $[E_2]$  соответствуют нули, и получаем вектор  $\{P^*\}$ .

Элементы матриц, входящих в уравнение (2), почти не содержат нулей и соответственно не занимают в памяти машины много места. Число строк матрицы  $[R^*]$ , также как и число компонентов векторов  $\{R_p\}$  и  $\{P^*\}$ , определяется числом начальных перемещений (NT). В случае линейной задачи NT определяет число известных начальных перемещений, а при решении нелинейной задачи определяет общее число начальных перемещений: известных и реально возможных. Кроме того, с учетом ленточной структуры матрицы  $[R]$  в машине хранятся строки матрицы  $[R^*]$  с числом элементов всего  $2b$ . Создание матрицы  $[R^*]$  реализовано в процедуре программы, значения элементов которой хранятся в области внешней памяти ЭВМ, что позволяет рассматривать задачи с числом  $NT \leq 400$ .

Когда матрица  $[R]$  создана, преобразуем правые и левые части основной системы уравнений таким образом, чтобы получить решение в виде [23]:

$$[K^*]\{q\} = \{\bar{P}\}, \quad (3)$$

где  $[K^*] = [E_1][K][E_1] + [E_2]$ ,

$$\{\bar{P}\} = [E_1]\{P\} - [E_1][K][E_2]\{q\} + [E_2]\{q\}.$$

Здесь произведения:  $[E_1]\{P\}$  - преобразует вектор  $\{P\}$  так, что его элементы, соответствующие элементам с известными начальными значениями вектора  $\{q\}$ , принимают значения, равные нулю;

$[E_2]\{q\}$  - определяет элементы известных начальных компонентов вектора  $\{q\}$ ;

$[E_1][K][E_2]\{q\}$  - определяет приращение значений тех элементов вектора  $\{P\}$ , для которых в соответствующих элементах вектора  $\{q\}$  значения искомые, а вызваны эти приращения известными начальными компонентами вектора  $\{\bar{q}\}$ . Если проводить определение матриц  $[R], [K^*]$  из вектора  $\{\bar{P}\}$  непосредственно по формулам (2) и (3), то потребуется вводить в машину матрицы  $[E_1]$  и  $[E_2]$ , размерность которых равна матрице  $[K]$ . Потребуется трехкратный объем памяти относительно  $[K]$ , что практически нереально для существующих ЭВМ. Поэтому матрицы  $[R^*]$  размерностью  $[NT \times 2b]$  и  $[K^*]$  размерностью  $[H \times H]$  (в памяти ЭВМ хранится число элементов матрицы  $[K]$ , определяемое произведением  $H \cdot b$ ) строятся с помощью пары одновременных массивов MN и MT с числом элементов NT в каждом, при этом элементы  $[K^*]$  занимают те же ячейки памяти машины, что и элементы матрицы  $[K]$ .

Элементами массива MN являются индексы начальных узловых перемещений, а элементы массива MT содержат значения угловых перемещений  $\delta_i$  в том порядке, в котором их индексы приводятся в массиве MN.



Упорядоченное размещение информации о начальных перемещениях в массивах MN и MT позволяет далее автоматически увеличивать угол охвата при последующих повторениях расчета, связанных с определением реального угла охвата. Очевидно, что на каждом повторном этапе (при каждой итерации) решения по методу последовательных приближений должны исследоваться не все NT пар элементов массива MN и MT, а только те, которые определяют при этом известные начальные перемещения. Обозначим это число через KONT. При последующих итерациях расчета KONT должно быть увеличено в соответствии с последующим значением угла охвата. Очевидно, что на каждом повторном этапе (при каждой итерации) решения по методу последовательных приближений должны использоваться не все NT пар элементов массивов MN и MT, а только те, которые определяют при этом известные начальные перемещения.

После завершения определения вектора  $\{q\}$  по формуле (1) проводится определение значений реакций и в случае решения нелинейной задачи здесь не осуществляется проверка выбора угла охвата по формуле  $R_k < \Delta R$ , где  $R_k$  – значение крайней реакции. Если угол охвата выбран верно, другими словами, выполняется условие и начинается выполнение процедуры Sila. В противном случае угол охвата увеличивается и решения повторяются.

В процедуре Sila по формулам (1) работы [3] проводится определение напряжений в КЭ, т.е. сначала определяются напряжения, направленные по осям координат. Затем по известным формулам определяются главные напряжения и их направления, определенные углом  $\gamma$ :

$$\sigma_1 = 0,5 \left[ \sigma_x + \sigma_y + \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2} \right];$$

$$\sigma_2 = 0,5 \left[ \sigma_x + \sigma_y - \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2} \right];$$

$$\gamma = \arctg \left( - \frac{\tau}{\sigma_x - \sigma_y} \right).$$

В заключение выполнения программы выводятся на печать результаты расчета: перемещения узловых точек, реакции и напряжения.

Очевидно, что эпюра напряжений построена по данным расчета в наружных волокнах зоны контакта объекта расчета и будет эпюрой контактных давлений рассматриваемой пары.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России - УИН ФЦП RFMEFI57414X0015, и Госзадания Минобрнауки России № 9.896.2014/К

The work is executed at financial support of the Ministry of education and science of Russia - UIN FTP RFMEFI57414X0015, and government job of the Ministry of education of Russia № 9.896.2014/К

## Список литературы

1. Василевский, Б.И. Дискретная модель и граничные условия в расчете шатуна методом конечных элементов [Текст]/ Б.И. Василевский. – Л.: Тр. ЦНИДИ, 1997. - №259. – 259 с.
2. Зенкевич, О. Метод конечных элементов в технике [Текст]/ О. Зенкович. – М.: Мир, 1975. – 542 с.
3. Постнов, В.А. Метод конечных элементов в расчетах судовых конструкций [Текст] / В.А. Постнов, И.Я. Хархурим. – Л.: Судостроение. – 1974. – 344 с.

## ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ВИБРИРУЮЩЕГО ТЕСТ-ОБЪЕКТА НА ПЗС-ФОТОПРИЕМНИКЕ С ИЗМЕНЯЕМОЙ КАДРОВОЙ ЧАСТОТОЙ

В.С. Падалко

*Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова*

В данной работе рассмотрен процесс получения смаза тест-объекта при наличии вибраций. Представлены качественные оценки сравнения экспериментальных и теоретических данных. Предложена математическая модель процесса получения смаза.

**Ключевые слова:** *вибрация, смаз, тест-объект, математическое моделирование, компьютерное моделирование.*

## THE IMAGE SIMULATION OF THE CCD PHOTODETECTOR BASED VIBRATING TEST OBJECT WITH A VARIABLE FRAME RATE

V. S. Padalko

*Altai State Technical University after I. I. Polzunov*

The present paper deals with obtaining a motion blur of the test object subjected to vibration. One may find a qualitative comparison assessment of experimental and theoretical data. A mathematical model for obtaining the motion blur has been worked out in the paper.

**Key-words:** *vibration, motion blur, testing object, mathematical modelling, computer design*

### Введение

При контроле состояния промышленного оборудования одной из важных задач является отслеживание вибрационных процессов, происходящих на производстве. Существуют методы измерения параметров вибрации, основанные на анализе изображения тест-объекта. Одним из таких методов является метод определения параметров вибрации по частотно-контрастной характеристике (ЧКХ). Этот метод позволяет измерить амплитуду вибрации и её частоту. В работах [1, 2] описывается теория поведения ЧКХ тест-объекта, состоящего из набора штрихов с разной пространственной частотой, в зависимости от размаха и частоты колебаний. Однако в этих работах не анализируется изображение тест-объекта, полученного при наличии вибрации с помощью высокоскоростной камеры. Определяется только контраст в заранее заданных точках.

**Цель данной работы:** провести анализ изображения смаза вибрирующего тест-объекта, получаемого высокоскоростной камерой, провести

математическое моделирование; качественно сравнить теоретические и экспериментальные данные.

### **Получение экспериментальных данных**

Для проведения эксперимента применим установку и тест-объект, описанные в [1].



Рис. 1. Тест-объект

Настроим установку так, чтобы частота вибрации тест-объекта равнялась кадровой частоте камеры, а время экспозиции было равно времени одного кадра.

Получим 10 изображений, при разных амплитудах колебания тест-объекта. Объединим их в одно, для лучшей наглядности.



Рис. 2. Тест-объект

Как можно увидеть на рис. 2, с ростом амплитуды вибрации происходит смаз изображения. При этом одинаковые изображения смаза у штрихов с разной пространственной частотой происходят при разных амплитудах колебания тест-объекта. Это означает, что для проведения анализа изображения можно использовать либо одну пару штрихов, изменяя амплитуду колебаний, либо весь тест-объект при постоянной амплитуде.

### **Математическое моделирование**

Рассмотрим процесс получения изображения смаза как свертку двух сигналов. Первый сигнал – изображение тест-объекта. Второй сигнал – колебательный процесс, которому подвержен тест-объект. Для большей реалистичности произведем свертку результирующего сигнала с функцией рассеяния точки (ФРТ), что смоделирует искажения, вносимые оптической системой.

В среде математического моделирования MathCAD представим первый сигнал, как показано на рис. 3.

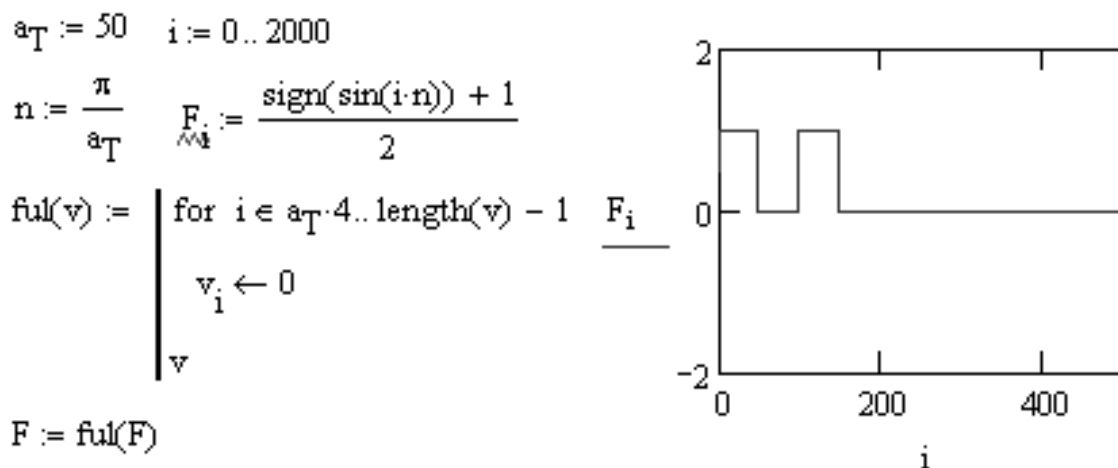


Рис. 3. Представление первого сигнала в среде MathCAD

Переменная  $a_T$  определяет ширину штриха.

Так как тест-объект совершает синусоидальные колебания и мы получаем изображение с помощью высокоскоростной камеры, то второй сигнал – это дуга эллипса. Представим его, как показано на рис. 4.

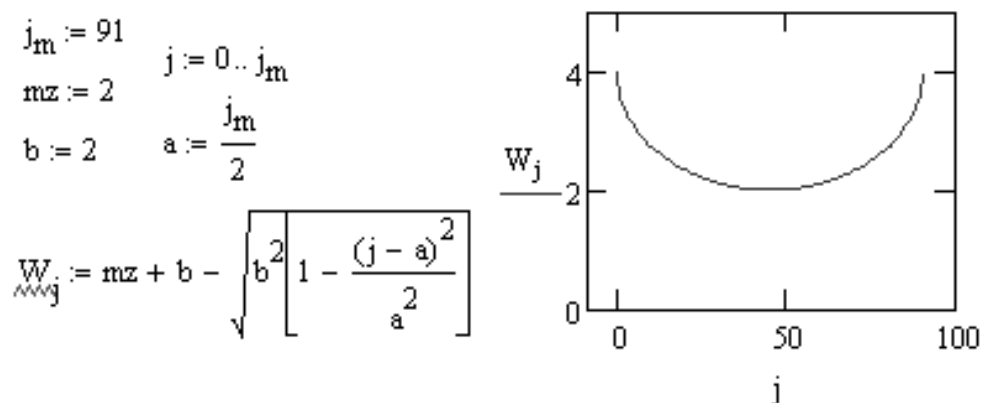


Рис. 4. Представление второго сигнала в среде MathCAD

Представление ФРТ показано на рис. 5.

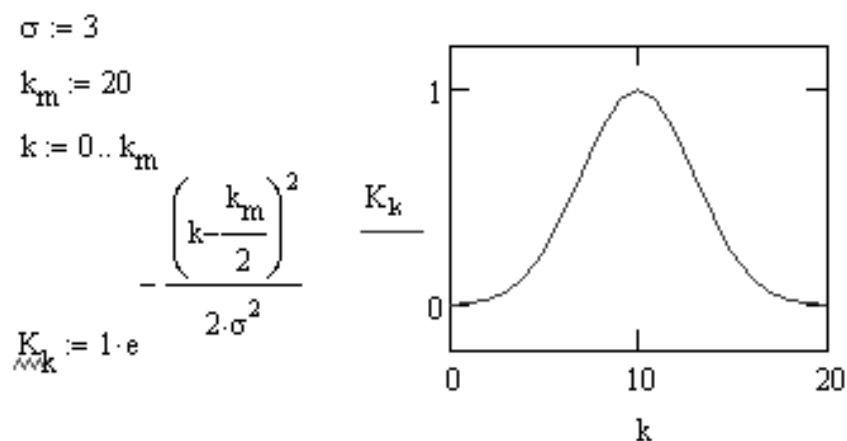


Рис. 5. Представление ФРТ в среде MathCAD

Произведем свертку трех сигналов, изменяя коэффициент  $a_T$  так, чтобы ширина штрихов реального тест-объекта совпадала с шириной моделируемого. Операцию свертки опишем, как показано на рис. 6.

$$\begin{aligned}
 \text{svertka}(a,b) &:= \left\{ \begin{array}{l} \text{for } i \in (0) .. \text{length}(a) + \text{length}(b) - 2 \\ \sum_{k=0}^{(\text{length}(b)-1)} (b_k \cdot a_{i-k}) \\ v_i \leftarrow \frac{\quad}{\text{length}(b)} \end{array} \right. \\
 z &:= \text{svertka}(F, W) \\
 z &:= \text{svertka}(z, K)
 \end{aligned}$$

Рис. 6. Представление операции свертки в среде MathCAD

Получим 10 изображений, при разной ширине штрихов. Объединим их в одно, для лучшей наглядности.

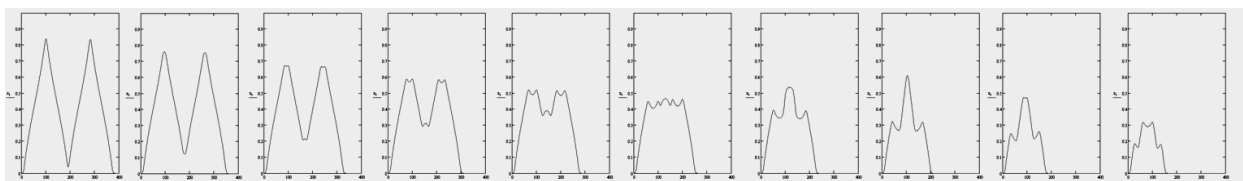


Рис. 7. Результирующие сигналы, полученные в среде MathCAD

Построим график яркости смаза штрихов, полученного при наибольшей амплитуде колебания тест-объекта.

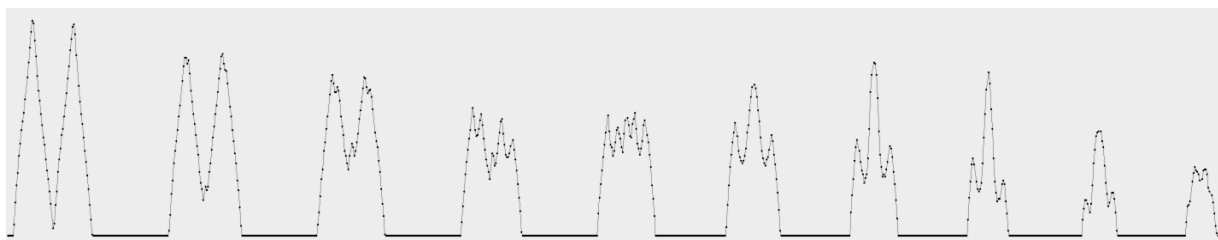


Рис. 8. График яркости смаза тест-объекта

#### Качественное сравнение результатов

При сравнении рис. 7 и рис. 8 прослеживается сходство во всех 10 участках изображений. Прослеживается совпадение формы результирующего сигнала и последовательность её изменения. Неполное совпадение результатов моделирования в среде MathCAD с результатами, полученными на установке,

можно объяснить рядом возможных причин, которые требуют детального рассмотрения:

- Реальные сигналы содержат дополнительные гармоники;
- Частота колебания тест-объекта отличается от частоты опроса камеры, период колебания не совпадает со временем экспозиции;
- На картину смаза влияют особенности цифровой камеры: структура ПЗС линейки, последовательный опрос каждого пикселя ПЗС линейки, разрешение;
- Неточность моделирования в среде MathCAD, связанная с неточным заданием коэффициентов, определяющих форму второго сигнала.

Рассмотрим более детально четвертую пару штрихов.

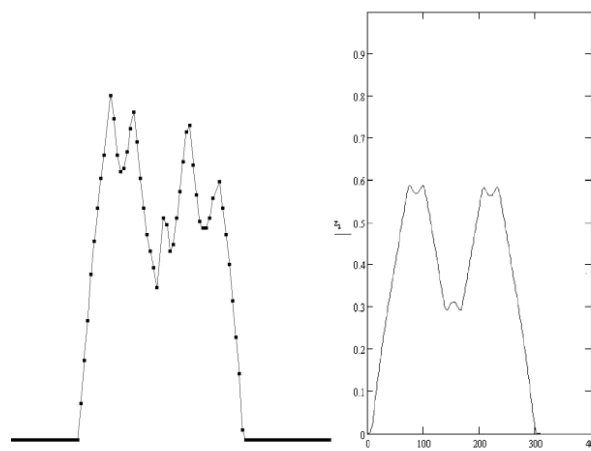


Рис. 9. Четвертая пара штрихов

На графике, полученном экспериментальным путем, видны искажения – уменьшена высота правых малых всплесков яркости.

Предположим, что это произошло из-за рассогласования частоты вибрации и частоты работы камеры. В таком случае штрихи совершат два неполных колебания. Часть пикселей успеет накопить в себе больший заряд. Второй сигнал изменится, как показано на рис. 10.

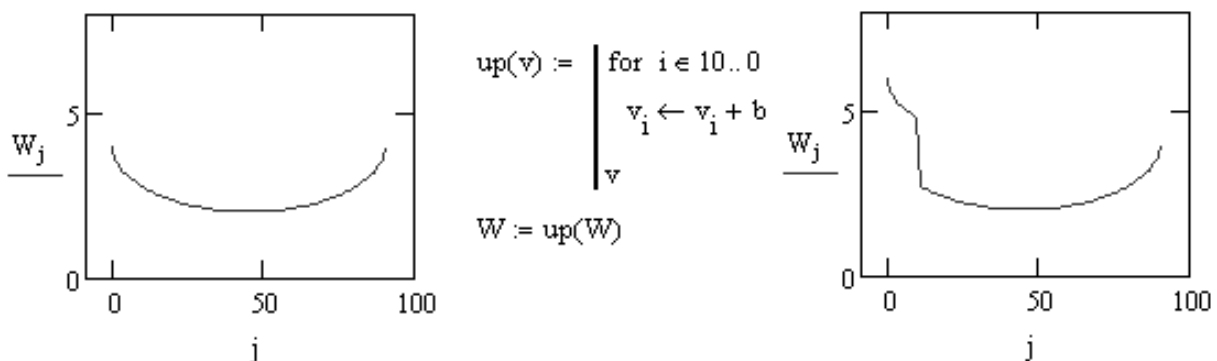


Рис. 10. Преобразование второго сигнала

Произведем свертку с новым, преобразованным сигналом.

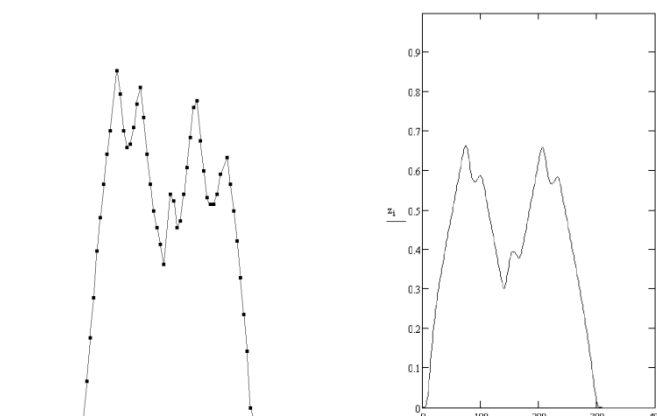


Рис. 11. Свертка с преобразованным сигналом

Как видно на рис. 11, сигналы обрели большее сходство, что подтверждает предположение.

**Выводы:**

- Данные, полученные в реальных условиях на экспериментальной установке, и данные, полученные в результате моделирования в среде MathCAD, сходятся – математическая модель верна;
- По результирующему изображению смаза тест-объекта можно судить об амплитуде колебания и, предположительно, о его частоте;
- Для более полного анализа необходимо провести количественное сравнение данных, полученных в реальных условиях на экспериментальной установке, и данных, полученных в результате моделирования в среде MathCAD.

Список литературы

1. Пронин С.П. Теоретические основы оптических методов измерения и контроля параметров гармонической вибрации: монография / С.П. Пронин, Е.А. Зрюмов, П.А. Зрюмов; Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2011. – 73 с.
2. Патент 2395792 Российская Федерация. Способ измерения параметров вибрации объекта / С.П. Пронин, Е.А. Зрюмов, А.В. Юденков. – Заявка №2009125845; опубл. 27.07.2010.
3. Зрюмов, Е.А. Оптико-электронная стробоскопическая система измерения частоты гармонической вибрации, основанная на применении генетического алгоритма / Е.А. Зрюмов, П.А. Зрюмов, С.П. Пронин // Измерительная техника. – М.: Изд-во ФГУП «Стандартинформ», 2012. №4. – С. 35-38.
4. Зрюмов, Е.А. Анализ частотно-контрастной характеристики видеосистемы на основе ПЗС-фотоприемника при вибрации тест-объекта / Е.А.

Зрюмов, С.П. Пронин // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – СПб.: Изд-во ИТМО, 2013. Т. 57, №3. – С. 81-85.

5. Пронин, С.П. Исследование изменения контраста в изображении вибрирующих парных штрихов с помощью ПЗС-фотоприемника / С.П. Пронин, Е.А. Зрюмов, П.А. Зрюмов // Известия Алтайского государственного университета – Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2012, №1/2. – С. 115-119.

6. Зрюмов, Е.А. Алгоритмы оптического контроля параметров вибрации, основанного на регистрации стробоскопического эффекта в изображении тест-объекта и анализе пространственных фазовых сдвигов в полученном изображении / Е.А. Зрюмов, С.П. Пронин, П.А. Зрюмов // Вестник Алтайской науки – Барнаул: Изд-во ГУЭиИ АК, 2014, №4. – С. 319-325.

## ПРИНЦИПЫ РАЗВИТИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Н.О. Позднякова

*Тюменский государственный нефтегазовый университет*

**Аннотация:** Данная статья посвящена принципам и этапам развития технических систем. В публикации рассматриваются закономерности создания технических систем и их особенности.

**Ключевые слова:** *Техническая система, законы развития технических систем, принципы построения зависимостей в технических системах.*

## Principles development of innovative technical system

N.O. Pozdnyakova

*Tyumen State Oil and Gas University*

**Abstract:** This article focuses on the principles and stages of development of technical systems. This publication analyses the patterns of development of technical systems and their features.

**Keywords:** Technical system, the laws of development of technical systems, principles of dependency in technical systems.

Техническая система – это материальный объект искусственного происхождения, который состоит из *элементов* (составных частей, различающихся свойствами, проявляющимися при взаимодействии) объединённых *связями* (линиями передачи единиц или потоков чего либо) и вступающих в определённые *отношения* (условия и способы реализации свойств элементов) между собой и с внешней средой, чтобы осуществить *процесс* (последовательность действий для изменения или поддержания состояния) и выполнить *функцию* технической системы - цель, назначение, роль. Техническая система имеет *структуру* (строение, устройство, взаиморасположение элементов и связей, задающее устойчивость и воспроизводимость функции технической системы). Каждая составная часть ТС имеет индивидуальное функциональное назначение в системе [1].

Первый этап развития технической системы начинается с момента ее создания. Он характеризуется медленным ростом показателей системы.



На данном этапе происходит уточнение состава системы и конструкции системы. Главной особенностью первого этапа развития технической системы является то, что система еще не удовлетворяет требованиям общества и поэтому практически не используется. Новые технические системы создаются из-за нехватки материальных, трудовых и интеллектуальных ресурсов.

Разработчики технических систем последовательно переходят от проблемы к проблеме, ищут различные пути решения стоящих перед ними задач. Основным недостатком разработки технической системы является выбор доступного вместо оптимального, вследствие чего долгая его приспособляемость и потеря времени.

Техника развивается не сама по себе. Ее разрабатывают конкретные люди, живущие в конкретном обществе. И весь комплекс жизненных обстоятельств влияет на сроки и успех разработки.

Главным признаком первого этапа развития технической системы является тот факт, что данная техническая система еще не вышла на рынок или занимает на нем маленькие, строго ограниченные ниши.

На стадии лабораторных исследований главные показатели системы могут меняться неравномерно, испытывая всплески и периоды застоя. Но все это время они находятся ниже черты минимально допустимых обществом значений, что закрывает им путь на рынок [2].

Следующим этапом развития технической системы является переходный этап. Переходный этап - это часть первого этапа, и характеристика первого в общих чертах справедлива для переходного. Но есть и отличия, они связаны с тем, что техническая система достигает уровня, достаточного для начала проникновения на рынок, и делает первые попытки осуществить этот переход. Система на этом этапе находится в состоянии неустойчивого равновесия, при котором сила, продвигающая ее на рынок, уравнивается тормозящей силой, связанной с недостатками технической системы [3].

Особенностью данного этапа является тот факт, что равновесие может быть нарушено в любую сторону благодаря очень слабым воздействиям. Т.е. внедрение или неуспех такового могут зависеть от случайных причин. Как правило, на переходный этап одновременно выходят несколько модификаций технической системы, обладающих примерно одинаковыми признаками. На переходном этапе побеждает не самая перспективная техническая система, а самая приспособленная к существующей надсистеме (инфраструктуре и доступным ресурсам).

Главная причина данного этапа развития технической системы - неустойчивое равновесие между силами, ускоряющими и тормозящими внедрение.

Признаком переходного этапа является быстрое нарастание темпов роста главных показателей. Техническая система уже внятно демонстрирует свои достоинства, это снижает риск инвестиций в нее, поэтому система получает дополнительные ресурсы для своего развития, что и является причиной быстрого роста главных показателей инновационной технической системы.

## Список литературы

1. <https://ru.wikipedia.org>
2. Альтшуллер Г.С. Творчество как точная наука. - М.: Советское радио, 1979. - С. 122-127.
3. Альтшуллер Г.С. «Линии жизни» технических систем. - М.: Сов. радио, 1979. С. 113-119.
4. Ю.П. Саламатов. Система законов развития техники (основы теории развития технических систем). Изд. 2-е, испр. и доп. 1991-1996.

### ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ В ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЯХ

Л.Д. Собачкина, В.Б. Бутыгин, А.С. Демидов

*ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет  
им. И.И. Ползунова»*

Показаны пути легирования штамповых сталей элементами в количестве, позволяющем повысить ударную вязкость, твёрдость, прочность, пластичность.

Рассмотренные стали имеют повышенную теплостойкость, прокаливаемость, жаропрочность и окислительную стойкость. Их можно рекомендовать для изготовления матриц и пуансонов горячего деформирования.

**Ключевые слова:** *термическая обработка, легирование, теплостойкость, штампы, твёрдость, фазовый состав, ковка, карбиды, температура закалки, интерметаллиды.*

### WAYS OF IMPROVING MECHANICAL PROPERTIES IN TOOL STEELS

L.D. Sobachkina, V.B. Butygin, A.S. Demidov

*Altai State Technical University after I. I. Polzunov*

In this paper we describes the ways of doping die steels by elements in the amount, allowing to increase toughness, hardness, strength, ductility.

Considered steel have a higher heat resistance, hardenability, heat resistance and scaling resistance. They can be recommended for the production of punches and dies of hot deformation.

**Keywords:** *heat treatment, alloying, heat resistance, stamps, hardness, phase composition, forging, carbides, quenching temperature, intermetallide.*

В отечественной промышленности ежегодно всё более широкое применение получают конструкционные материалы, обладающие повышенной прочностью как при комнатной, так и при повышенных температурах.

В связи с этим возникают трудности обработки этих материалов резанием и давлением. Поэтому разработка и внедрение инструментальных материалов с повышенными механическими свойствами и особенно повышенной теплостойкостью остаются актуальными.

Известные быстрорежущие и штамповые стали с карбидным упрочнением не обеспечивают необходимой производительности, прежде всего из-за недостаточной теплостойкости. У наиболее легированных быстрорежущих сталей она не превышает 650°C (для HRC60), а у штамповых сталей 750°C (для HRC45). Это объясняется происходящей при температурах 600–650°C коагуляцией карбидной фазы, являющейся фазой-упрочнителем, и

интенсивным разупрочнением матрицы, так как температуры фазового превращения этих сталей не превышают 800–850°С [1].

Одним из путей повышения свойств, равно как и теплостойкости, являются быстрорежущие стали с интерметаллидным упрочнением на основе системы Fe-W(Mo)-Co, испытывающие фазовые превращения при нагреве и охлаждении.

Температуры превращения этих сталей значительно выше (920–960°С), чем у остальных быстрорежущих сталей. Вследствие этого стали с интерметаллидным упрочнением приобретают высокую теплостойкость (700–720°С) и одновременно высокую твёрдость (HRC65–69) в результате выделения дисперсных интерметаллидов [2]. Эти стали перспективны для дальнейшего изучения и исследования. Продолжение исследования этих сталей с использованием комплексного легирования (хромом, кремнием, марганцем, азотом, цирконием и др.) могут привести к повышению механических свойств и теплостойкости.

Поскольку возможность улучшения теплостойкости сталей с  $\alpha - \gamma$  превращением и с интерметаллидным упрочнением может быть ограниченной, то существенным остаётся изучение рациональных путей использования сплавов, не претерпевающих фазовых превращений, а именно, сплавов с аустенитной структурой. Такие сплавы, в отличие от известных жаропрочных, должны иметь более высокие твёрдость и сопротивление пластической деформации во всём температурном интервале эксплуатации [3].

Таким образом, основными путями улучшения свойств инструментальных сталей являются: выбор основы стали, выбор фаз-упрочнителей, комплексное легирование (выбор легирующих элементов).

С учётом вышеизложенного различные авторы разработали ряд инструментальных сталей с высокими эксплуатационными свойствами [4, 5].

Нами, на основании вышеизложенного, разработан штамповый сплав [6], содержащий углерод, марганец, кремний, хром, вольфрам, ванадий.

В этом сплаве содержится углерода в пределах 0,2–0,3 масс.%. Это обеспечивает достаточное количество упрочняющей фазы, содержание кремния до 0,8 масс.% влияет на вторичную твёрдость при отпуске, повышает легированность твёрдого раствора. Вместе с этим увеличивается ударная вязкость штампового сплава.

Молибден в этом сплаве до 2,5 масс.% способствует повышению температуры рекристаллизации  $\alpha$ -твёрдого раствора и замедляет его разупрочнение, а также приводит к увеличению пластичности и прочности штампового сплава, повышает твёрдость, участвуя в образовании интерметаллидной фазы при высоких температурах. Кроме того, применение легирования с молибденом, ванадием и хромом значительно повышает окалиностойкость.

Хром в количестве до 10 масс.% увеличивает сопротивление штампового сплава окислению при высоких температурах и повышает способность к дисперсионному твердению. А также затрудняет рост зерна при нагреве,

повышая механические свойства сплава при статической и ударной нагрузках, повышая прокаливаемость и жаропрочность.

Вольфрам в количестве до 3 масс.% способствует выделению упрочняющей фазы при отпуске, что приводит к повышению твёрдости и теплостойкости сплава.

Кобальт в количестве до 1,5 масс.% способствует выделению интерметаллидов при высоких температурах отпуска, повышает теплостойкость и твёрдость штампового сплава, а также прочность при ударных нагрузках и улучшает жаропрочность.

Введение в состав штампового сплава марганца в количестве 1,4 масс.% способствует увеличению прокаливаемости и устойчивости к распаду аустенита.

Наличие в сплаве титана в количестве до 0,3 масс.% препятствует образованию межкристаллитной коррозии с одновременным увеличением количества карбидной фазы.

Присутствующий в составе штампового сплава никель, в количестве до 0,8 масс.%, способствует повышению вязкости, усиливает противодействие росту зерна, улучшает прокаливаемость и механические свойства.

Измельчению зерна и повышению окалиностойкости способствует введение в состав штампового сплава ванадия в количестве до 0,3 масс.%.

Наши исследования показали увеличение в 1,5–2 раза стойкости инструмента, в частности пуансонов, выполненных из этого штампового сплава, по сравнению со стойкостью инструмента, выполненного из используемых в промышленности сплавов. Указанный сплав возможно использовать для матриц и пуансонов выдавливания, а также штампов горячего деформирования, рабочая поверхность которых нагревается до 750–850°С.

Нами разработан сплав [7] на никелиевой основе, не претерпевающей фазовых превращений. Этот сплав дополнительно имеет в своём составе, наряду с никелиевой основой, углерод, хром, алюминий, молибден.

В этом сплаве содержание углерода в количестве до 0,12 масс.% способствует образованию карбидов хрома, которые участвуют в процессе дисперсионного твердения.

Наличие в составе сплава хрома в количестве до 13–15 масс.% увеличивает сопротивление штампового сплава окислению при высоких температурах и повышает его способность к дисперсионному твердению, без участия титана.

Алюминий в количестве до 3–6 масс.% обеспечивает максимальное количество упрочняющей фазы интерметаллида  $Ni_3Al$ , что приводит к получению максимальной твёрдости после старения.

А наличие молибдена в сплаве в количестве 4,5–6,5 масс.% обеспечивает повышение температуры рекристаллизации  $\gamma$ -твёрдого раствора и замедляет его разупрочнение. Кроме этого, способствует увеличению пластичности и прочности штампового сплава.

Наши исследования показали увеличение стойкости инструмента в 2–3 раза, в частности концевых фрез, выполненных из применяемых в производстве штамповых сплавов. Это позволяет применять разработанный штамповый

сплав для изготовления прессовых инструментов, например мелких вставок окончательного штампового ручья, матриц и пуансонов выдавливания, а также штампов горячего деформирования, рабочая поверхность которых нагревается до 800–900°С.

#### Список литературы

1. Геллер, Ю.А. Инструментальные стали / Ю.А. Геллер. М.: Металлургия, 1975. 584 с.
2. Бутыгин, В.Б. Металловедение / В.Б. Бутыгин. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 1998. 171 с.
3. Бутыгин, В.Б. Исследование инструментальных сталей и сплавов высокой теплостойкости с интерметаллидным упрочнением. Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук / В.Б. Бутыгин. М., 1975. – 144 с.
4. Патент на изобретение № 2361961 РФ «Быстрорежущая сталь» / Щепочкина Ю.А. от 16.06.2008.
5. Патент на изобретение № 2243283 РФ «Быстрорежущая сталь» / Ильин С.С., Волков Е.Д., Гришин Д.И., Савченко О.В., Митин В.Ф. от 07.06.2001.
6. Патент на изобретение № 2550071 РФ «Штамповый сплав» /Бутыгин В.Б., Демидов А.С. от 04.02.2014.
7. Патент на изобретение № 2235797 РФ «Штамповый сплав» /Бутыгин В.Б. от 20.05.2003.

### ГАРМОНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КВАЗИСТАТИЧЕСКИХ ПЕТЕЛЬ МАГНИТНОГО ГИСТЕРЕЗИСА

Р.А. Соколов, Д.Ф. Нерадовский

*Тюменский государственный нефтегазовый университет*

**Аннотация:** В наше время стали широко распространены в различных областях промышленности. Часто стали и заготовки из нее подвергаются различным механическим и термическим воздействиям, что вызывает рост усталостных изменений, вследствие чего происходит преждевременное старение материала, приводящее к техногенным катастрофам.

**Ключевые слова:** *Гармонический анализ; магнитная структуроскопия; магнитный гистерезис; коэрцитивная сила; твердость; аустенит; мартенсит.*

### HARMONIC ANALYSIS OF THE QUASI-STATIC LOOP MAGNETIC HYSTERESIS

Sokolov Roman Aleksandrovich, Neradovsky Denis Fedorovich, Tyumen State Oil and Gas University

#### Annotation

In our time, we became widespread in various industries. Most steel billets from it are subject to various mechanical and thermal stress, which increases fatigue changes, resulting in premature aging of the material occurs, leading to man-made disasters.

**Key words:** Harmonic analysis; magnetic structurescopy; magnetic hysteresis; coercive force; hardness; austenite; martensite.

## Тезисы

Контроль свойств стали является очень важным процессом в различных отраслях промышленности. Известно, что изменение свойств стали происходит в результате изменения ее структуры, что может быть вызвано обработкой стали давлением, в процессе сварки, при прокатке, а также закалке и отпуске. Указанные выше механические и термические воздействия на сталь на этапах производства и эксплуатации изделий часто вызывают рост усталостных изменений, эти изменения приводят к преждевременному старению материал и, как следствие, к различного рода техногенным катастрофам.

Поэтому важно контролировать свойства стали и изделий из стали. Для этого используются разрушающие методы контроля (измерения твердости; испытания на коррозионную стойкость), а также методы неразрушающего контроля, например магнитная структуроскопия применяемая для магнитных сталей.

В магнитной структуроскопии снимаются петли магнитного гистерезиса, состоящие из большого числа экспериментальных точек. Но только некоторые из этих точек используются для структуроскопии: коэрцитивная сила, магнитная проницаемость, релаксационная коэрцитивная сила, дифференциальная магнитная проницаемость и др.

Приведенные выше магнитные параметры ферромагнетика, а также механические и структурные свойства имеют некоторую корреляционную зависимость между собой [1, 2], которая устанавливается экспериментально. Часто коэффициенты корреляции для этих зависимостей не очень высоки.

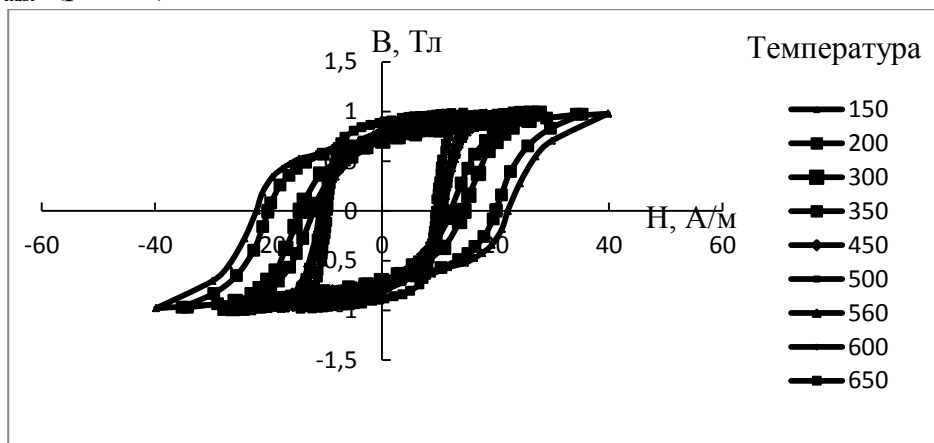
В структуроскопии также хорошо известны и апробированы методы, основанные на анализе ЭДС индукции в измерительной катушке с помощью цифрового анализатора спектра и дискретного преобразования Фурье [3]. Далее полученные гармоники Фурье-спектра ЭДС связываются с изменением структурных свойств материала. В этом случае фактически используются все точки петли магнитного гистерезиса.

Однако при таком виде анализа существуют факторы, снижающие достоверность результатов, а именно: наличие вихревых токов, которые ограничивают глубину промагничивания и искажают амплитуду и фазу выходного сигнала.

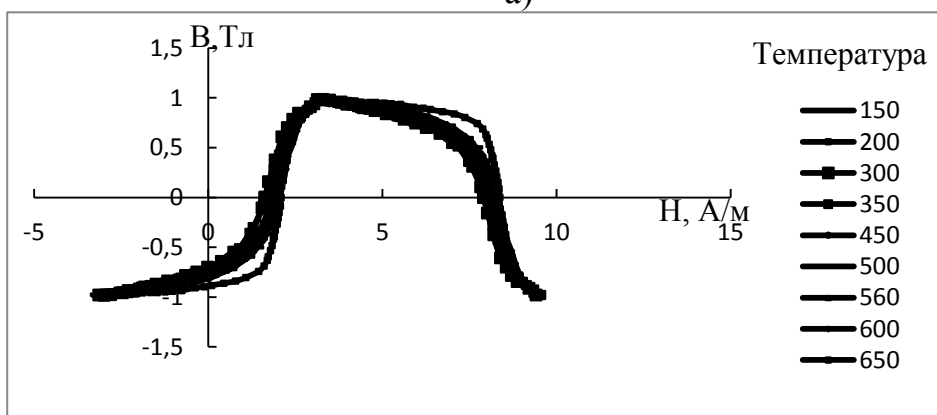
Целью работы является исследование возможности использования преимуществ гармонического анализа петель магнитного гистерезиса, полученных методом квазистатического перемагничивания.

Квазистатические петли гистерезиса ферромагнетиков можно снимать с помощью современных магнитометров (например, модель КРМ – Ц – МА). В такого рода приборах (как и в предлагаемой работе) ток намагничивания и размагничивания, а следовательно, и напряженность поля описывается некоторой пилообразной функцией. Это позволяет сделать замену  $t = H/k$ . Таким образом, можно получить представление петель, аналогичное временному представлению, симметрично отображая нисходящую (верхнюю)

ветвь каждой из петель относительно вертикальной прямой, проходящей через точку  $H_{max}$  (рис. 1).



а)



б)

Рис. 1. Петли гистерезиса стали 34ХН3М, отпущенной при различных температурах: а) в исходном виде; б) развернутые петли, приведенные к периоду  $2\pi$

Полученные в результате зависимости определяются периодическим сигналом с периодом, равным  $2\pi$ , и могут быть разложены в ряд Фурье [4].

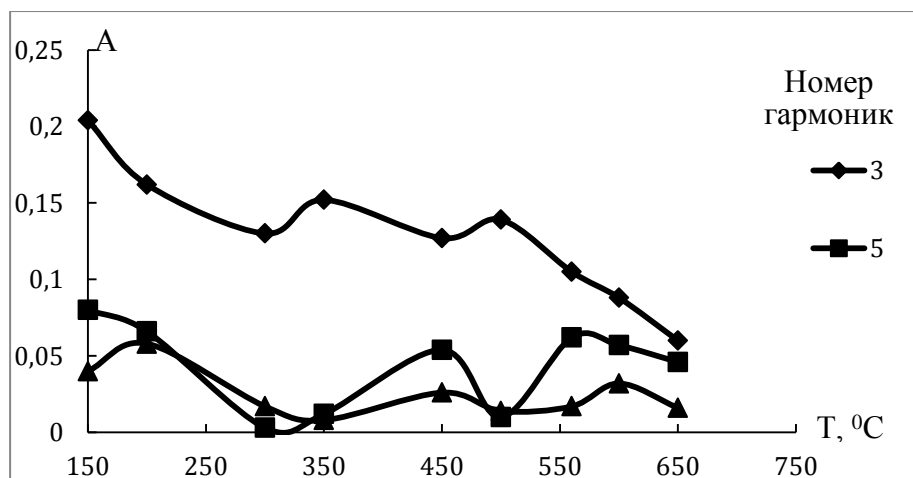
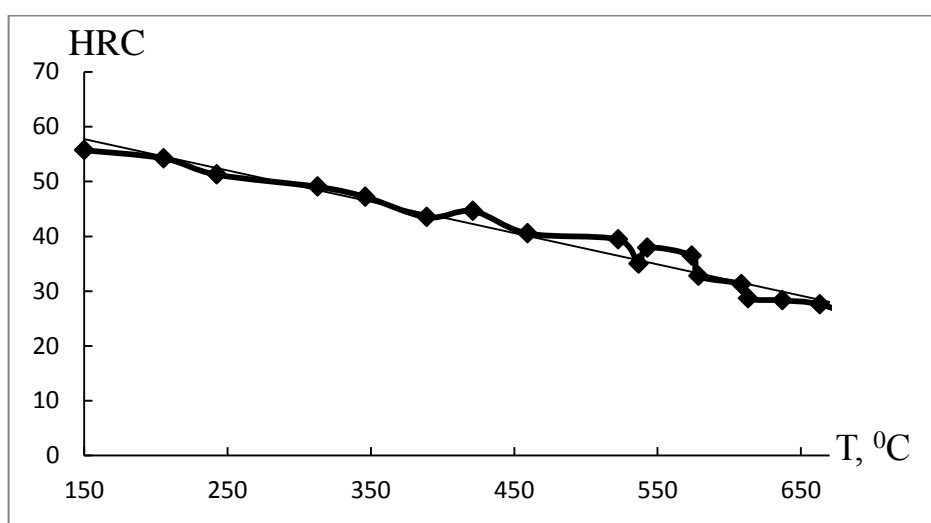


Рис. 2. Зависимости амплитуд нечетных гармоник фурье-спектра петель гистерезиса для стали 34ХН3М от температуры отпуска

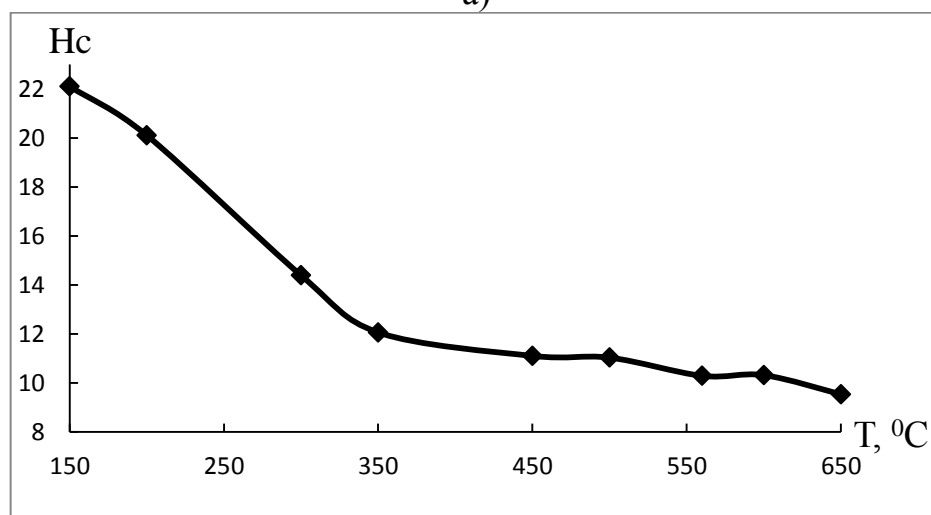
Полученные зависимости амплитуд третьей, пятой и седьмой гармоник приведены на рис. 2.

В работе [1] показано, что в диапазоне температур отпуска от 150 °С до 250 °С для стали 34ХН3М наблюдается изменение намагниченности насыщения, обусловленное процессом распада мартенсита, интенсивно протекающим при температуре около 200 °С, и продолжающимся при более высоких температурах, заходящим в область температур 300–325 °С, и одновременным процессом распада остаточного аустенита и снятием закалочных напряжений.

Такой отпуск сопровождается резким изменением структуры стали и соответственно им изменением физических свойств, которые можно рассмотреть на примере коэрцитивной силы и твердости, зависимости для которых приведены на рис. 3.



а)



б)

Рис. 3. Величина твердости и коэрцитивной силы для стали 34ХН3М, отпущенной при различных температурах: а) твердости; б) коэрцитивной силы

Из приведенного графика для амплитуд 3 – й, 5 – й, 7 – й гармоник можно заметить, что соответствующие им амплитуды существенно убывают в данном



диапазоне температур. Сравнивая зависимости амплитуд гармоник и величины коэрцитивной силы и твердости от температуры отпуска, можно заметить корреляционную зависимость между их величинами.

При дальнейшем повышении температуры отпуска в диапазоне 250–450 °С происходит распад мартенсита на цементит и феррит, сопровождающийся уменьшением закалочных напряжений, происходит рост карбидных частиц, форма их начинает приближаться к равноосной. Искажения решетки твердого раствора снижаются. Закономерная ориентировка решеток  $\alpha$  – фазы и цементита сохраняется до температуры 650–680 °С. В этом диапазоне происходит небольшой рост амплитуд 3 – й, 5 – й, 7 – й гармоник, а также замедление падения величины коэрцитивной силы.

В интервале температур 450–650 °С происходит рекристаллизация матрицы, легирование цементита карбидообразующими химическими элементами, очищение решетки  $\alpha$  – Fe от углерода и коагуляция карбидных частиц, т.е. растворение мелких карбидных частиц и рост более крупных, происходит снижение пластических свойств и ударной вязкости, что объясняется дроблением блоков  $\alpha$  – фазы. Эти процессы взаимосвязаны и ведут к росту среднего размера частиц. При температурах 550–600 °С имеет место растворение карбидов из-за повышения предела растворимости углерод в  $\alpha$  – Fe, происходит снятие напряжений, обусловленное завершением процесса измельчения блоков, а следовательно, и устранение искажений решетки, вызванных их связанностью. На графиках этому соответствует падение амплитуды нечетных гармоник, а также дальнейшее падение величины твердости и коэрцитивной силы. Также можно заметить корреляционную зависимость между амплитудой 5-й гармоники и величиной коэрцитивной силы в этом интервале температур, которая проявляется в возрастании значений этих величин при температуре 500 °С и 600 °С.

В интервале температур 350–550 °С может происходить коагуляция и сфероизация карбидных частиц, связанные с повышением температуры или продолжительности отпуска. Пик дисперсионных напряжений, обусловленный обособлением кристаллов карбидов от твердого раствора, приходится на диапазон 400–500 °С.

В результате можно говорить о том, что представленные результаты отражают чувствительность гармонических составляющих к структурным изменениям в стали и соответствующим им изменениям твердости и коэрцитивной силы, а именно снятие напряжений, выделение карбидов, их изменения в результате увеличения температуры отпуска, что может служить дополнительным средством неразрушающего контроля структурных изменений в сталях.

#### Список литературы

1. Михеев М.Н., Горкунов Э.С. Магнитные методы структурного анализа и неразрушающего контроля. Наука, 1993. С. 50–75.
2. Бида Г.В., Горкунов Э.С., Шевнин В.М. Магнитный контроль механических свойств проката. Изд-во УрО РАН, 2002. - 252 с.

3. Пономарев Ю.Ф. Гармонический анализ намагниченности ферромагнетиков, перемагничиваемых переменным полем, с учетом магнитного гистерезиса. IV. Применение к неразрушающему контролю// Дефектоскопия.1986. №7. С. 67–78.

4. Белашов В.Ю., Чернова Н.М. Эффективные алгоритмы и программы вычислительной математики. СВКНИИ ДВО РАН, 1997. 160 с.

## РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ВЫСЕВАЮЩЕГО ДИСКА ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА

А.С. Фирсов, В.В. Голубев

*Тверская государственная сельскохозяйственная академия*

**Аннотация.** При конструировании машин для посева сельскохозяйственных культур особое внимание следует уделять проектированию отдельных узлов рабочего органа. При обосновании параметров высевающего аппарата важно правильно выявить математические зависимости геометрических параметров высевающего диска.

**Ключевые слова.** *Высевающий диск, высевающий аппарат, пневматический диск, мелкосеменные культуры, посев, расчет параметров диска.*

## CALCULATION OF PARAMETERS OF A PNEUMATIC SEED DISC OF THE SEED DISTRIBUTOR

A.S. Firsov, V.V. Golubev

*Tver State Agricultural Academy*

**Abstract.** When designing machines for planting agricultural crops, particular attention should be paid to the design of individual nodes of the working body. For substantiation of parameters of the sowing unit, it is important to identify the mathematical dependencies of the geometric parameters of a seed disc.

**Keywords.** *The seed metering disk, metering, pneumatic drive, small-seeded crop, the sowing, the calculation of the parameters of the disc.*

Наиболее перспективным направлением развития узлов для дозирования и посева мелкосеменных культур в современных сеялках является создание высокоэффективных дисковых пневматических высевающих аппаратов [1]. Поэтому обоснование параметров дозирующих устройств сеялок является достаточно актуальным вопросом.

Представленная конструкция узла дозирования семян мелкосеменных культур (рис. 1) включает наличие следующих элементов – корпуса высевающего аппарата; вала высевающего аппарата, который приводит в движение высевающий диск; заслонки, обеспечивающей сохранение материала в транспортном положении; семепроводов; высевных окон.

Ячейки высевающего диска выполнены на концентрично расположенных окружностях с радиусом  $R_n$  (рисунок 2).

Зависимость радиуса концентрических окружностей высевающего диска и расстояния между семенами в рядке на полевом ложе представлена на рисунке 3.

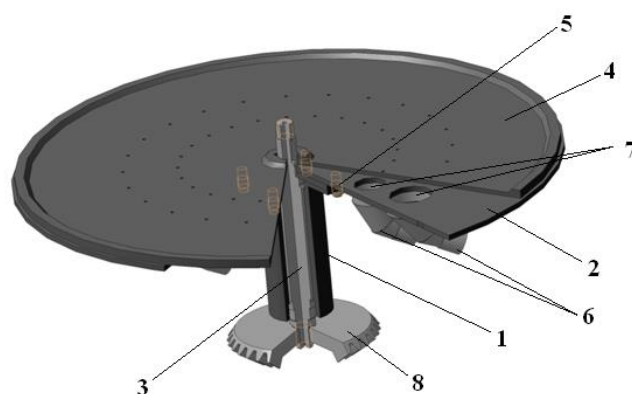


Рис. 1. Высевающий диск пневматического высевающего аппарата для посева мелкосеменных культур:

1 – корпус высевающего аппарата; 2 – дно бункера; 3 – вал высевающего аппарата; 4 – высевающий диск; 5 – заслонка; 6 – семяпроводы; 7 – высевные окна; 8 – коническая шестерня привода

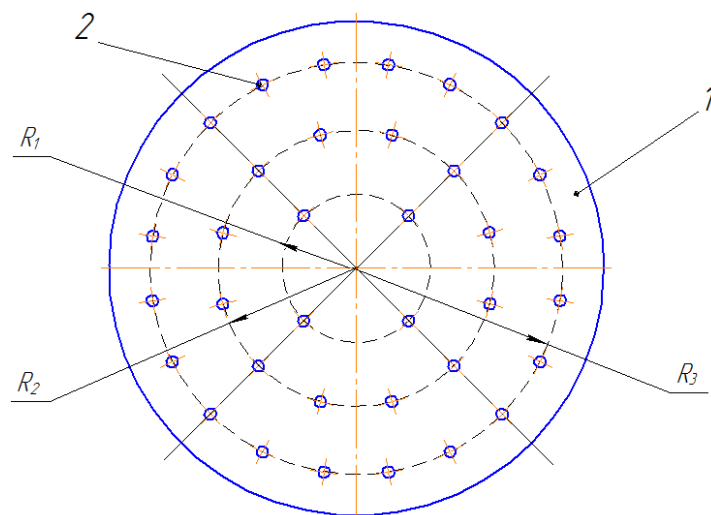


Рис. 2. Схема расположения concentрических окружностей высевающего аппарата:

1 – высевающий диск, 2 – высевающие ячейки диска,  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$  – радиусы concentрических окружностей высевающего диска

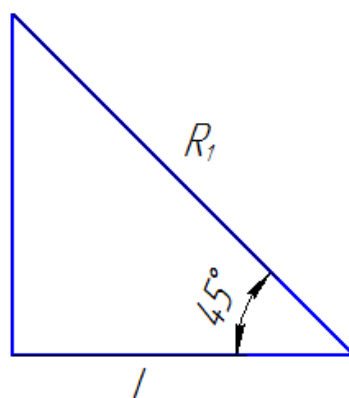


Рис. 3. Зависимость радиуса concentрической окружности от расстояния между рядками

Из представленной зависимости следует:

$$R_1 = \frac{l}{\cos 45}, \quad (1)$$

где  $l$  – расстояние между рядками высеваемых семян мелкосеменной культуры, мм.

Количество ячеек на каждой последующей концентрической окружности кратно количеству на первой:

$$R_1 = l \cdot \sqrt{2}, \quad (2)$$

$$R_2 = 3 \cdot l \cdot \sqrt{2}, \quad (3)$$

$$R_3 = 5 \cdot l \cdot \sqrt{2}. \quad (4)$$

Таким образом:

$$R_n = \sqrt{2 \cdot (2n - 1) \cdot l}, \quad (5)$$

где  $n$  – номер окружности с ячейками от центра высевающего диска.

Расстояние между ячейками (по дуге окружности) на каждой концентрично расположенной окружности высевающего диска одинаково и равно расстоянию между семенами высеваемой культуры (шагу посева), поэтому, чтобы обеспечить равномерное распределение семян в ряду, количество ячеек на высевающем диске увеличивается на каждой последующей окружности от центра высевающего диска, причем пропорционально длинам радиусов последующей и предыдущей окружностей.

Все ячейки выполнены в форме воронки. Семена мелкосеменных культур отличаются друг от друга по форме (круглые, продолговатые) и по размеру, поэтому для посева каждой мелкосеменной культуры используют свой высевающий диск. Основание бункера выполнено с одинаковыми цилиндрической формы отверстиями диаметром, большим размера ячейки высевающего диска, высеваемыми окнами, которые размещены на таком же количестве концентрично расположенных окружностей с такими же радиусами, что и ячейки высевающего диска. Количество высеваемых окон равно количеству высеваемых рядков семян. Чтобы обеспечить одинаковое расстояние между рядками семян высеваемой культуры, на каждой концентрично расположенной окружности размещено одинаковое количество высеваемых окон, выстроенных в ряд на двух взаимно перпендикулярных диаметрах основания, при этом один из них составляет угол  $45^\circ$  с осью симметрии основания, следуя по часовой стрелке от нее.

Благодаря тому, что каждое высеваемое окно снабжено своим семяпроводом, установленным под основанием, удается качественно осуществить посев семян в рядки с одинаковым расстоянием между ними [2].

Предложенная конструкция пневматического высевающего аппарата для посева мелкосеменных культур проста и надежна в работе, обеспечивает высокую его производительность, благодаря одновременному посеву семян несколькими рядками, эксплуатационную надежность и качественный посев, в результате чего снижается погектарный расход высеваемых семян и повышается урожайность возделываемых сельскохозяйственных культур, что приводит к снижению себестоимости возделываемой культуры.

Выполнение представленных условий при проектировании высевающего аппарата обеспечит равномерное распределение семян по полю и выполнение заданной нормы высева культуры [3].

#### Список литературы

1. Фирсов А.С., Голубев В.В. Анализ конструкций высевающих аппаратов для возделывания сельскохозяйственных культур // Вестник Оренбургского ГАУ. – 2013. - № 4. – С. 85-88.
2. Ларюшин Н. П. Посевные машины. Теория, конструкция, расчет / Н.П. Ларюшин, А.В. Мачнев, В.В. Шумаев и др. – М.: Росинформагротех, 2010. – 292 с., ил.
3. ГОСТ 31345-2007. Сеялки тракторные. Методы испытания. М.: Стандартиформ, 2008, 47 с.

### К ВОПРОСУ О МЕХАНИЗМАХ ВАКУУМНОЙ ВЫБИВКИ СЫРЫХ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ

В.П. Штокаленко

*Рубцовский индустриальный институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»*

Рассмотрены процессы выбивки литейных форм с применением вакуума, параметры, влияющие на механизмы разрушения литейных форм.

**Ключевые слова:** *литейные формы, песчано-глинистые смеси, отливки, выбивка, вакуумное разрушение, вакуумное прошивание*

### ON USING VACUUM KNOCKOUT FOR WET SAND/CLAY FOUNDRY MOLDS

V.P. Shtokalenko

*Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of Polzunov Altay State Technical University*

The article deals with knockout processes applied to foundry molds using vacuum and parameters effecting the failure of foundry molds.

**Key words:** *foundry molds, sand/clay mixtures, castings, knockout, vacuum destruction, vacuum flashing.*

Одной из технологических операций процесса изготовления отливок в разовых сырых песчано-глинистых формах является выбивка, то есть разрушение формы для извлечения отливки. Процесс выбивки может быть одноступенчатым и двухступенчатым.

Песчано-глинистые формы разрушаются под действием сил механического статического или ударного воздействия, вибрации. Кроме того, разработаны способы выбивки воздушным импульсом высокого давления, вакуумированием литейной формы.

Вакуумирование сырых песчано-глинистых литейных форм для их выбивки энергетически менее затратно. К таким методам можно отнести:

- объемное вакуумное разрушение литейных форм, помещенных в специальную камеру (рис. 1, а) с использованием скоростного вакуумирования этой камеры и, соответственно, формы [1];

- направленное разрушение (вакуумное прошивание) (рис. 1, б) при вакуумировании со стороны нижнего контрлада литейной формы, установленной на приемный стол выбивной установки [2].

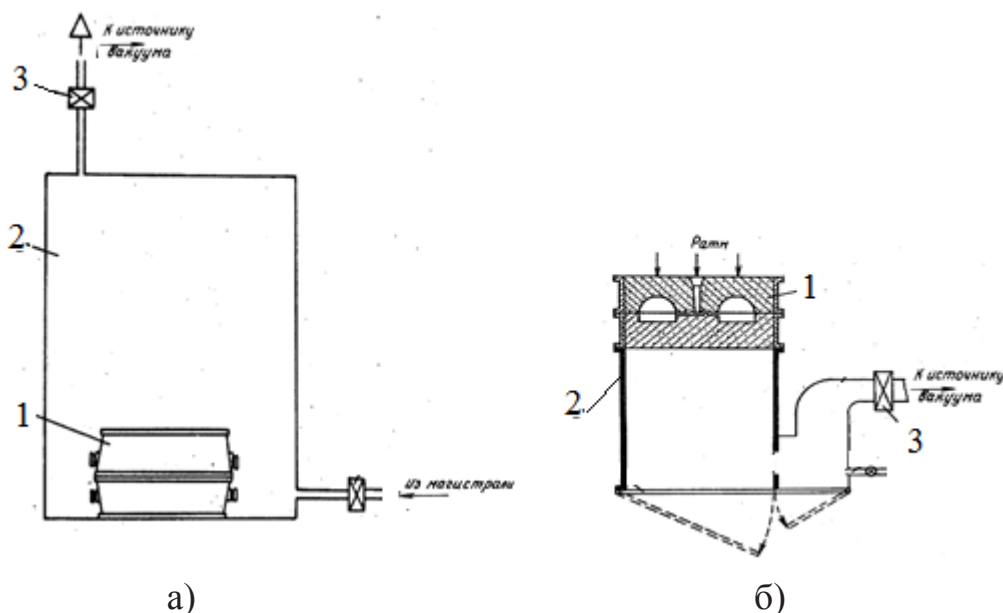


Рис. 1. Схемы установок вакуумной выбивки:

1 – выбиваемая форма; 2 – приемный стол; 3 – быстродействующий клапан

В основе способа вакуумного разрушения форм (ВРФ) лежит использование энергии расширения газа в порах формовочной смеси при резкой декомпрессии формы. Для осуществления выбивки в закрытую камеру 2 [3], находящуюся при атмосферном давлении, помещается выбиваемая форма 1. Камера герметизируется и при помощи быстродействующего клапана 3 большого проходного сечения сообщается с ресивером, в котором вакуумным насосом создано разрежение. В результате резкого падения давления в камере, затрудненной эвакуации газов из формовочной смеси образовавшийся градиент давления по высоте формы приводит к ее разрушению. После закрытия быстродействующего клапана и разгерметизации камеры она открывается и производится удаление выбитой смеси, отливок и опок.

Исследованием способа вакуумного разрушения литейных форм [4] было установлено, что одним из основных факторов, влияющих на разрушение формы, является процесс парообразования, протекающий в нагретых слоях формы. Согласно диаграмме «вода - пар» [5], при уменьшении давления снижается температура кипения воды. Поэтому вода, находящаяся в литейной форме, при ее вакуумировании частично обращается в пар. Образовавшийся пар стремится занять объем, примерно в 1600 раз больший, чем первоначальный объем воды. В результате этого процесс парообразования в форме обеспечивает поддержание перепада давления между внутренними и

внешними слоями формовочной смеси, приводящего к разрушению формы. Экспериментально установлено, что сухие формы и формы залитые, но остывшие до 40...50 °С не выбиваются, что объясняется отсутствием парообразования в формовочной смеси при вакуумировании, так как при уровне конечного давления в камере 10...20 кПа термодинамические параметры воды в порах остывшей смеси не достигают кривой фазовых превращений на диаграмме «вода - пар».

Были проведены исследования по влиянию параметров вакуумирования на перераспределение тепла и влаги в форме [6], по результатам которых сделано заключение о целесообразности дополнительного вакуумирования формы перед осуществлением процесса ВРФ, то есть процесс ВРФ можно проводить в две стадии.

Способ ВРФ имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными способами выбивки. Он позволяет обеспечить высокую производительность, при его реализации полностью отсутствует вибрация и ударные нагрузки, он менее энергоемок, чище в санитарно-гигиеническом отношении, потому что разрушение формы происходит в замкнутом объеме, где локализируются вредные выделения, а шум ограничивается шумом срабатывания клапана.

Применение способа ВРФ ограничивается высотой выбиваемых форм, а также тепловыми параметрами формы (горячие формы при температуре выбивки). Известно несколько модификаций способа и установок для его реализации, которые позволяют расширить диапазон выбиваемых форм и делают способ ВРФ еще более экономичным. В работах [6, 7] даны рекомендации по выбору конструктивных параметров установок ВРФ.

При выбивке форм вакуумным прошиванием (рис. 1, б) литейная форма 1 устанавливается на приемный стол 2, в полости которого при открытии клапана 3 резко снижается давление, так как происходит ее соединение с полостью ресивера, в котором вакуумным насосом создано необходимое разрежение. Вакуумирование полости приемного стола приводит к созданию перепада давления по высоте выбиваемой формы. На уровне верхней поверхности формы давление постоянно и равно атмосферному, а на уровне нижней - давлению в полости приемного стола. Эта разность давлений и учитывается, в первую очередь, при рассмотрении действующих на выбиваемую форму сил.

Подобная схема позволяет локализовать пыле- и газовыделения в объеме приемного стола и ресивера. Выбивка форм происходит без вибрации, при невысоком уровне шума.

Наиболее полные результаты исследования способа вакуумного прошивания содержатся в работах [8, 9]. Были решены следующие задачи:

- определены силы, необходимые для выдавливания смеси из опок при механическом и вакуумном прошивании;
- изучено распределение давления по высоте формы при ее вакуумировании и влияние на него ряда технологических и конструктивных параметров процесса;
- определены моменты начала движения верхней и нижней поверхности выбиваемой формы и продолжительность выхода смеси из опок;



- получена качественная картина процесса вакуумного прошивания и некоторые количественные данные с помощью скоростной киносъемки [8, 10];
- разработана математическая модель процесса вакуумного прошивания формы, характеризующая распределение давления воздуха по высоте формы и в полости приемного стола, а также распределение напряжений, возникающих в смеси, их изменение при разрушении формы.

Силу, необходимую для выдавливания формовочной смеси из опок при выбивке механическим и вакуумным способами, определяли на не залитых жидким металлом формах с учетом того, что прочность не залитой формы выше, чем залитой. Форму изготовляли из единой песчано-глинистой смеси с влажностью 3...5%.

Сила, необходимая для выдавливания кома смеси из опоки, возрастает с увеличением плотности данной смеси и уменьшением ее влажности. Полученные значения удельной силы механического выдавливания находятся в интервале от 0,04 до 0,22 МПа. При вакуумном прошивании максимальный перепад давления по высоте формы составляет 0,09 МПа [8]. На вакуумной выбивной установке прошиваются формы, требующие приложения большей удельной нагрузки при механическом выдавливании кома смеси из опок, чем 0,09 МПа. Это указывает на различие механизмов разрушения формы при механическом и вакуумном прошиваниях.

В работе [8] исследовали распределение давления по высоте выбиваемой формы в процессе вакуумного прошивания, влияние на изменение давления габаритных размеров формы, степени ее уплотнения, конечного давления в полости приемного стола и скорости его достижения. Было определено экспериментально и подтверждено теоретически влияние воздушного потока, фильтрующегося через поры формовочной смеси в направлении полости приемного стола.

Создание перепада давления по высоте выбиваемой формы является причиной возникновения фильтрации воздуха через поры формовочной смеси в направлении приемного стола. Чем выше плотность газа, чем меньше пористость формовочной смеси и чем ниже перепад давления по высоте формы, тем меньше будет скорость его фильтрации. Из-за сопротивления, оказываемого пористой средой процессу развития фильтрации, градиент давления в направлении верхнего контрлада формы уменьшается. Действие перепада давления на смесь вызывает обратную реакцию противодействия силы трения смеси о стенки опоки и способствует появлению растягивающих напряжений в смеси. Когда величина этих напряжений достигает прочности смеси при разрыве, то происходит нарушение сплошности кома смеси на какой-то высоте. Оторвавшаяся часть кома смеси приобретает определенное ускорение и выходит из опоки. Выход части кома смеси приводит к увеличению перепада давления по высоте оставшейся в опоке форме и способствует более активному протеканию процесса вакуумного прошивания. Уровень конечного давления в полости приемного стола и скорость его получения должны обеспечивать такой перепад давления по высоте формы,



величина и продолжительность действия которого достаточны для полного прошивания формы.

На кривых давления (рис. 2) наблюдали резкое его снижение на некоторых уровнях по высоте формы. Объяснить это можно нарушением сплошности кома смеси и выходом отделившейся часть кома смеси из опоки. Давление в освободившемся снизу объеме опоки (кривая 2) становится почти равным давлению в полости приемного стола (кривая 1).

Уровень конечного давления в полости приемного стола обеспечивает в каждом случае определенный перепад его по высоте формы. Выбивка формы одинаковой плотности при более низком давлении в приемном столе занимает меньше времени. Снижение перепада давления по высоте выбиваемой формы приводит к тому, что выход кома смеси из опоки проходит практически при постоянном давлении в полости приемного стола и, возможно, нарушение его сплошности, которое можно предположить как причину, вызвавшую более резкое изменение давления, на определенной высоте формы, способствует ускорению всего процесса выбивки и полному выходу смеси из опоки.

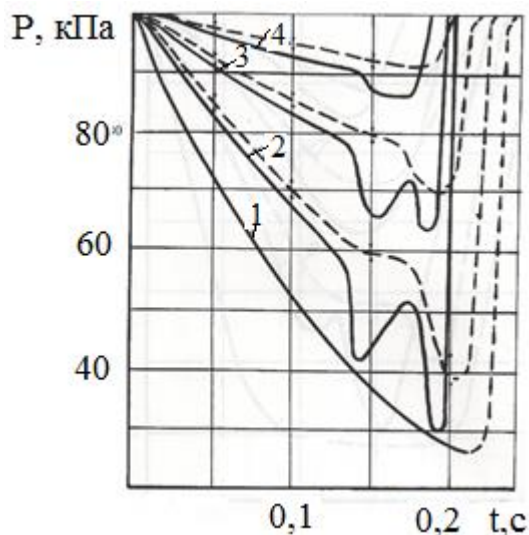


Рис. 2. Изменения давления в формах на уровнях датчиков 2, 3, 4 в форме и 1 в полости приемного стола:

пунктир – расчетные кривые, сплошные – экспериментальные

Повышение скорости вакуумирования полости приемного стола приводит к снижению продолжительности выбивки, причем процесс идет более интенсивно. Процесс прошивания идет дольше при большей плотности смеси в форме, так как в этом случае выше остаточные напряжения в смеси и сила выдавливания должна быть больше. Газопроницаемость более плотной смеси ниже и падение давления в слоях формы продолжается дольше, такая форма позже проходит стадию разрушения.

Скоростная киносъемка [8, 11] позволила расширить представления о механизме процесса и наглядно показать, как происходит вакуумное прошивание формы, увидеть, что действительно смесь выходит из опоки последовательно, начиная с нижнего слоя. Интервал между началом движения

нижней поверхности кома смеси и его верхней поверхности зависит от параметров вакуумирования, основных характеристик формы и смеси. Наблюдается нарушение сплошности кома на отдельных уровнях по высоте формы. При вакуумном прошивании форма разрушается, в конечном итоге, на мелкие части, и только смесь верхних слоев выходит из опоки в виде более крупных кусков. Графический анализ кадров кино съемки позволил определить скорости движения слоев смеси в процессе выхода из опоки.

Решение вышепоставленных задач позволило разработать математическую модель процесса выбивки вакуумным прошиванием для одномерного пространства. При разработке модели процесса принято, что все напряжения и силы изменяются только вдоль одной, вертикальной, оси; во всех точках любого горизонтального слоя в данный момент времени действуют одинаковые напряжения и давление воздуха; силы, действующие в слое, равномерно распределены по всему слою [10]. Отсюда следует, что все горизонтальные слои будут перемещаться параллельно самим себе. В отношении распределения давления воздуха, скорости фильтрации, перепада давления это допущение вполне корректно, так как плотность смеси изменяется незначительно по сечению, воздух равномерно поступает в форму и отводится от нее по всей площади двух параллельных плоскостей. То же касается сил тяжести и сил инерции. В рассматриваемой модели принято допущение, что силы трения слоя смеси о стенку опоки воздействуют на весь горизонтальный слой. В действительности наибольшее влияние трения испытывают пристенные участки смеси.

Предложенная математическая модель вакуумного прошивания является, безусловно, первым приближением к истинному протеканию процесса разрушения формы, которая будет уточнена и рассмотрена для двух-, трехмерного пространства. В том числе для форм, залитых металлом, при выбивке которых к рассмотренным выше действующим силам добавится воздействие парообразования, силы тяжести отливок.

Теоретическая попытка предложить в работе [12] на основе анализа источников [9, 11, 13] новое понимание механизма процесса вакуумного прошивания выразилась в такой формулировке: «для понимания механизма процесса следует, на наш взгляд, предложить рассмотреть разрушение нижних слоев формы, видимое на кино съемке, где хорошо видно, что разрушение начинается примерно в середине контрлада (*какого?*) формы: наблюдается отделение пластинки смеси, и появляется зазор между ней и основной массой смеси. Зазор увеличивается и в нем, видимо, должно снижаться давление воздуха до значения его в полости приемного стола. Это ставит 2-й слой смеси в такое же положение, как и 1-й, и наблюдается отделение пластинки от 2-го слоя. Далее происходит то же самое в 3-м, 4-м, 5-м слоях. В срединной части формы образуется картина, напоминающая лестницу, расстояния между ступеньками которой убывают по направлению к ладу полуформы».

Авторы [12] используют собственную терминологию: «чешуйка смеси», «пластинка смеси», «конгломерат частиц», «картина, напоминающая лестницу», которой нет ни в одной соответствующей заявленной теме работе.

Кроме того, утверждения, что «отрыв группы частиц от вышележащих слоев можно объяснить тем, что на отделение частиц в более высоких слоях нет еще условий для образования достаточного количества пара, так как там нет еще необходимого разрежения. После отрыва конгломерата частиц появляется зазор, в котором резко падает давление, создавая условия для парового взрыва» и другие, в которых упоминается наличие водяного пара, «паровых взрывов» неуместны. Проанализированные работы [9, 11, 13] характеризуют процессы вакуумного прошивания незалитых металлом форм, а при комнатной температуре даже при снижении давления вода в форме не закипит, что подтверждено исследованиями [6, 7].

#### Список литературы

1. А.с. 1061927 СССР *МКИ*<sup>4</sup> В 22 Д 29/00. Устройство для выбивки литейных форм [Текст]/ Мысовский В.С., Шамонина И.Н., Герцовский А.А., Кисляков А.К. (СССР). - № 3308672/22-02; заявл. 30.06.81; опубл. 23.12.83, Бюл. № 47.
2. А.с. 1232368 СССР *МКИ*<sup>4</sup> В 22 Д 29/00. Устройство для выбивки литейных форм [Текст]/ Мысовский В.С., Благодоров Б.П., Шамонина И.Н., Сергеева Ж.А. (СССР). - № 3863832/22-02; заявл. 03.07.84; опубл. 23.05.86, Бюл. №19.
3. А.с. 1063538 СССР *МКИ*<sup>4</sup> В 22 Д 29/00. Способ выбивки сырых литейных форм / Мысовский В.С., Шамонина И.Н. [Текст]/ Мысовский В.С., Шамонина И.Н., Герцовский А.А., Кисляков А.К. (СССР). - № 3008254/22-02; заявл. 26.11.80; опубл. 30.12.83, Бюл. № 48.
4. Шамонина И.Н., Мысовский В.С., Бродский А.М. Вакуумное разрушение сырых форм [Текст]/ И.Н.Шамонина, В.С. Мысовский, А.М. Бродский//Литейное производство. - 1988.- № 4 - С. 6-7.
5. Охотин В.С., Жидких В.Ф., Лавыгин В.М., Саломадзе Ф.Г. Основы теплотехники [Текст]/ В.С. Охотин, В.Ф. Жидких, В.М. Лавыгин, Ф.Г. Саломадзе. М.: Высшая школа, - 1984. - 216 с.
6. Свечников Н.И. Уточнение механизма вакуумного разрушения форм с целью расширения технологических возможностей метода, повышения его эффективности и снижения энергоемкости [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.16.04 : защищена 29.12.88 / Свечников Николай Иванович. - М., 1998. - 189 с.
7. Герцовский А.А. Уточнение механизма вакуумной выбивки сырых литейных форм с целью определения рациональных конструктивных параметров выбивных установок. [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.16.04 : защищена 28.11.87 / Герцовский Александр Альфредович. - М., 1997. - 197 с.
8. Штокаленко В.П. Механизм процесса вакуумного прошивания и определение рациональных параметров выбивной установки. [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.16.04 : защищена 23.12.99 / Штокаленко Вера Петровна. - М., 1998. - 140 с.
9. Орлов Г.М., Штокаленко В.П. Выбивка литейных форм вакуумным прошиванием [Текст] / Г.М. Орлов, В.П. Штокаленко//Автомобильная промышленность. – 1992. - №9. - С. 29-30.

10. Штокаленко В.П. Характер разрушения литейной формы при вакуумном прошивании [Текст] / В.П. Штокаленко // Ползуновский альманах. – 2005. - №3-4. - С. 23-29.

11. Штокаленко В.П. Киносъемка процесса вакуумного прошивания [Текст] / В.П. Штокаленко // Вузовская наука в современном мире: сб. науч. тр. - Рубцовск, 1999. – С. 123-134.

12. Благодоров Б.П., Леснов В.Н., Мешков В.П. К вопросу о механизме выбивки сырых песчано-глинистых литейных форм [Текст] / Б.П. Благодоров, В.Н. Леснов, В.П. Мешков / Литейщик России.– 2008. - №4. - С. 24-28.

13. Мысовский В.С., Бродский А.М., Штокаленко В.П. Выбивка литейных форм вакуумным прошиванием [Текст] / В.С. Мысовский, А.М. Бродский, В.П. Штокаленко // Пути повышения качества и экономичности литейных процессов: сб. науч. тр. - Одесса, 1988. – С. 37-38.

### **СЕКЦИЯ 3. НАЗЕМНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ**

**Председатель секции: кандидат технических наук, профессор кафедры «Наземные транспортные системы» Площаднов Александр Николаевич**

### **ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АВТООБСЛУЖИВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

**Р.В. Абаимов**

*Сыктывкарский лесной институт*

Функционирование отраслей сферы услуг самым непосредственным образом ориентировано на удовлетворение спроса физических и юридических лиц на оказываемые услуги, подтверждая известный тезис о том, что спрос рождает предложение. Научнообоснованная программа развития автообслуживающих предприятий, должна базироваться на показателе максимального удовлетворения спроса при минимальных затратах времени, средств, простоя оборудования и мощностей. Количественное определение спроса затрудняется отсутствием адекватной концепции его формирования в условиях становления и развития рыночных отношений и значительно осложняется отсутствием необходимого информационного обеспечения. Все это указывает на актуальность исследования и необходимость разработки методики оптимизации производственной деятельности автообслуживающих предприятий.

К автообслуживающим предприятиям относят: СТО, стоянки, автозаправочные станции и комплексы.

К СТО относят: непосредственно СТО, автомойки, предприятия, осуществляющие только шиномонтажные и шиноремонтные работы, диагностирование, кузовные и окрасочные работы, тюнинг автомобилей.

Рассмотрим оптимизацию производственной деятельности на примере СТО.

Созданные в течение последних пятнадцати лет автообслуживающие предприятия практически не располагали зданиями, инфраструктурой и современным технологическим оборудованием, подавляющее большинство станций технического обслуживания (СТО) выполняли продажу, предпродажную подготовку, техническое обслуживание (ТО) и ремонт в мало приспособленных помещениях (гаражах, зданиях и сооружениях закрывшихся предприятий и т.п.). Данные станции в основном являлись универсальными, т.е. обслуживали легковые автомобили разных типов и марок. Размещение этих станций носило хаотичный характер. Персонал, работающий на этих станциях, на начальном этапе становления имел достаточную квалификацию, для выполнения работ по ТО и ремонту.

Со временем не только значительно увеличилось количество автомобилей, но и возросла конкуренция среди СТО.

Здесь на спрос может оказать влияние комплексность оказываемых услуг, время обслуживания клиентов, качество предоставляемых услуг, сложившаяся репутация предприятия, надежность его работы, определяемая наличием резервных мощностей, штатом квалифицированной рабочей силы и т.д. Немаловажную роль здесь может оказать и система информирования клиентов о работе предприятия, что обеспечивается эффективной рекламой.

Для любого коммерческого предприятия основной целью является получения максимальной прибыли. Поэтому перед инвесторами при принятии решения о строительстве нового предприятия, расширении, реконструкции или техническом перевооружении встает проблема повышения эффективности производственной деятельности СТО.

**Ключевые слова:** *автообслуживающие предприятия, оптимизация, прогнозирование.*

## **THE OPTIMIZATION OF PRODUCTION ACTIVITY OF VEHICLE MAINTENANCE ENTERPRISES**

R.V. Abaimov

*Syktuykar Forest Institute*

The activity of the service industries is directly focused to meet needs of individuals and legal entities for rendered services, that is to confirm a well-known thesis that demand creates supply. Scientifically proved programme of the development of vehicle maintenance enterprises should be based on the maximum meet the demand at minimum cost of time, money, equipment downtime, and capacity. Quantitative determination of demand is hampered by the lack of an adequate concept of its formation in the conditions of establishment and development of market relations and is also significantly complicated by the absence of necessary information support. All of the above points to the importance of research and the need to develop a methodology for the optimization of production activity of vehicle maintenance enterprises.

Vehicle maintenance enterprises include: servicing stations, parking lots, gas stations and complexes.

Servicing stations include: servicing stations, car washes, tire mounting and repair work, diagnostics, bodywork and painting, tuning.

Let's consider the optimization of production activity of vehicle maintenance enterprises as example.

Vehicle maintenance enterprises created during the past fifteen years virtually had no buildings, infrastructure and modern equipment. The majority of service stations offered mainly sales and pre-sales technical service and repair in little-suited premises for such kind of work (garages, buildings and constructions of closed enterprises, etc.). These stations were mainly universal, i.e. serviced the cars of different types and brands. The placement of these stations had a chaotic character. The staff working at these stations at the initial stage of the enterprise formation had sufficient qualifications to perform maintenance and repair work.

Over time both the number of cars and the competition among vehicle maintenance companies has significantly increased.

So the demand may be influenced by some factors: the complexity of the rendered services, the service time of customers, the quality of services, the current reputation of an enterprise, the reliability determined by the existence of reserve capacity of an enterprise, skilled staff of workers, etc. The system of informing customers of the enterprise activity provided by effective advertising can also play an important role here.

The main aim of any enterprise is to get maximum profit. So the investors, when making decision to construct a new enterprise, to expand it, to reconstruct or technically re-equip it, should

think of the problem of increasing the efficiency of production activity of vehicle maintenance enterprises.

*Keywords: vehicle maintenance enterprises, optimization, forecasting.*

За последние двадцать лет резко выросли темпы развития услуг в сфере автобизнеса как в России, так и в Республике Коми. Существенную роль в развитии автобизнеса играет увеличение парка автотранспортных средств.

Такое увеличение парка автомобилей сказывается на конкуренции между автообслуживающими предприятиями, связанными «борьбой» за клиента.

На начало 2015 года, по данным [5, 7, 9], парк легковых автомобилей составил 273 автомобиля на 1000 человек по РФ и 271 автомобилей на 1000 человек населения по Республике Коми.

За последние пять лет наблюдается тенденция омоложения парка легковых автомобилей, связанная с увеличением платежеспособности населения, государственной программы утилизации старых автомобилей и гибкой политикой автопроизводителей и банков в сфере кредитования.

Доля ввозимых из-за рубежа подержанных автомобилей также сокращается и составляет около 150 тысяч в год.

В Республике Коми на учёте в УГИБДД на сегодняшний момент состоит 103,5 тысяч легковых автомобилей, в г. Сыктывкаре 43,5 тысячи, различных марок и типов. Прирост парка в регионе составляет 5,5% от общего количества за 2014 г.

Также важным фактором для повышения эффективности производственной деятельности СТО является видовозрастная структура парка легковых автомобилей.

Согласно данным УГИБДД МВД по Республике Коми, основу парка г. Сыктывкара составляют автомобили старше 10-летнего возраста – около 56%, автомобили в возрасте 5-10 лет – около 17%, автомобили моложе 5 лет - около 27%.

Доля автомобилей иностранного производства, в том числе автомобилей, которые собраны на территории России, составляет 30 % в г. Сыктывкаре.

На сегодняшний момент в г. Сыктывкаре существует 63 предприятия, которые оказывают услуги по обслуживанию и ремонту легковых автомобилей. В Республике Коми таких предприятий около двухсот.

В экономически развитых странах, в том числе и в России, получила развитие концепция ориентации на клиента [1, 3, 4, 8], которая успешно функционирует в условиях жесткой конкуренции между различными предприятиями, осуществляющими автосервисные услуги, т.е. в условиях превышения предложений по оказанию услуг по ТО и ремонту над спросом на них. При этом деятельность предприятия нацелена на изучение потребностей конечного потребителя товаров (услуг) и, следовательно, ориентирование возможностей предприятия на наиболее полное их удовлетворение. Оценка спроса на оказание услуг должна производиться на основе показателей, используемых для этих целей их потребителями, которые сравнивают некоторые фактические значения оценок с ожидаемыми ими величинами, и



если эти ожидания совпадают, то качество услуг признается удовлетворительным.

Основной задачей перед предприятиями, работающими в сфере автобизнеса, является прогнозирование спроса на услуги СТО. Спрос может измеряться как в натуральных показателях (количество обращений на обслуживание и ремонт автомобилей, разовая трудоемкость одного обращения, коэффициент загрузки участка или поста), так и в стоимостном выражении. Описанные проблемы определяют необходимость разработки методики, позволяющей прогнозировать показатели, а также выработать рекомендации, направленные на повышение эффективности производственной деятельности, учитывающие мнения клиентской базы предприятия.

Рассмотрим функцию  $f(t)$ , заданную на промежутке  $[0, T]$ . Будем считать, что эта функция является реализацией некоторого случайного процесса, характеристики которого неизвестны. Предполагаем, что реализация  $f$  может быть разложена в сумму функций  $f_T$ , каждая из которых соответствует некоторой существенной стороне исследуемого явления. Тем самым наша цель – получить и исследовать разложение:

$$f(t) = \sum_n f_T, \quad (1)$$

где слагаемые  $f_T$  были бы "интерпретируемы" и "независимы".

Стандартным способом для этого является введение подходящей регрессионной модели, параметры которой оцениваются по реализации  $f$ . Существует, однако, большой произвол в выборе таких моделей, что зачастую приводит к чисто механической подгонке "под результат". Такая подгонка не имеет реального смысла и всегда возможна при большом числе параметров. Наиболее предпочтительным для описания процессов в автосервисной отрасли является метод «главных компонент» [6]. Достоинство метода состоит в том, что производится изучение относительно слабых и низкочастотных колебательных компонент, где адаптивность метода играет большую роль. Аналогом метода главных компонент в теории случайных процессов является разложение Карунена-Лоэва, а в линейной алгебре – сингулярное разложение матриц.

Для описания процессов в отрасли можно использовать функцию:

$$f(t) = f_T(t) + f_n(t) + f_r(t) + \varepsilon(t), \quad t \in [0, T], \quad (2)$$

где  $f_T(t)$  - медленная нерегулярная составляющая (тренд), описываемая алгебраическими полиномами невысоких порядков;  $f_n(t)$  - периодическая составляющая (сезонные, суточные вариации);  $f_r(t)$  - быстрые нерегулярные малые вариации (случайные шумы);  $\varepsilon(t)$  - чисто случайная составляющая, описываемая случайным процессом определенного типа.

Для описания функций  $f(t) = f_T(t) + \varepsilon(t)$  используют теорию аппроксимации или метод наименьших квадратов математической статистики, для функций вида  $f(t) = f_n(t)$  хорошо работает теория гармонических рядов Фурье. Однако во многих ситуациях возникают достаточно большие сложности эффективного исследования функций. Примером может быть случай  $f(t) = f_T(t) + f_n(t)$ , где при отсутствии априорной информации о частотах

компонент периодической составляющей не работают ни теория аппроксимации, ни теория рядов Фурье.

Для полной реализации поставленных задач разработана математическая модель, отвечающая потребностям станций технического обслуживания, по реализации своей производственной программы. Экономико-математическая модель в общем виде имеет следующий вид:

$$\begin{cases} \mathcal{E} = \sum_{i=1}^n N_3^{CTO} \cdot t_{3i} \rightarrow \max; \\ 0 < N_3^{CTO} \leq N_A^{\max} \\ N_3^{CTO} = f(K, C, PP, CY, P, BY), \end{cases} \quad (3)$$

где  $\mathcal{E}$  – общая трудоемкость производственной программы СТО, чел·ч;  $N_3^{CTO}$  – количество автомобиле-заездов на станцию технического обслуживания по видам работ;  $t_{3i}$  – трудоемкость одного автомобиле-заезда по видам работ, чел·ч;  $N_A^{\max}$  – максимально возможное количество автомобилей населения региона (района города), нуждающихся в выполнении какой-либо услуги;  $K$  – качество услуг (работ);  $C$  – спектр оказываемых услуг (работ);  $PP$  – режим работы станции технического обслуживания;  $CY$  – стоимость оказываемой услуги (работы);  $P$  – реклама станции технического обслуживания;  $BY$  – быстрота выполнения услуги (работы).

Выражение (3) показывает, что предприятие должно реализовать максимально возможную производственную программу.

В результате решения экономико-математической модели могут быть получены численные значения переменных, характеризующих прогнозируемое качество работы автосервиса в регионе: количество заездов на СТО, средняя трудоемкость обслуживания клиента; прибыль предприятия данного региона.

Внешняя среда СТО представлена, прежде всего, потребителями (населением и различными организациями), предъявляющими спрос на услуги; поставщиками комплектующих материалов, запасных частей и т.д., а также всей совокупностью государственных, политических, социальных и демографических условий, влияние которых на показатели деятельности предприятий имеет существенное значение.

С целью прогнозирования количества автомобилей, принадлежащих населению, осуществлялся сбор соответствующей информации на ретроспективном периоде и определяется прогноз изменения по рассматриваемым периодам с помощью уравнений регрессии.

Для прогнозирования количества автомобилей, поступающих на СТО (участки и посты), трудоемкости выполняемых операций, уровня загрузки рассматривалось многообразие классических методов исследования, из которых наиболее оптимальным для региона оказалось использование метода «главных компонент». Данный метод эффективен, когда производится изучение относительно слабых и низкочастотных колебательных компонент, где адаптивность метода играет большую роль.



Рассмотрим временной ряд  $\{x_i\}_{i=1}^N$ , образованный последовательностью  $N$  равноотстоящих значений функции  $f(t)$  (например, среднесуточного количества обращений на посты ТО станции технического обслуживания).

Произведем развертку одномерного ряда в многомерный.

Выберем число  $M$ , называемое длиной прогноза (обычно по методу  $M \leq N/2$ ). Представим первые  $M$  значений последовательности  $f(t)$  в качестве первой строки матрицы  $X$ . В качестве второй строки матрицы берем значения последовательности с  $x_2$  по  $x_{M+1}$ . Последней строкой с номером  $k = N - M + 1$  будут последние  $M$  элементов последовательности:  $x_k, x_{k+1}, \dots, x_N$ ,

$$X = (x_{ij})_{i,j=1}^{k,M} = \begin{pmatrix} x_1 & x_2 & \dots & x_M \\ x_2 & x_3 & \dots & x_{M+1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_k & x_{k+1} & \dots & x_N \end{pmatrix}, \quad (4)$$

с элементами  $x_{ij} = x_{i+j-1}$ .

Второй этап – анализ главных компонент: сингулярное разложение выборочной корреляционной матрицы.

Обозначим через  $X^* = (x_{ij}^*)_{i,j=1}^{k,M}$  матрицу, полученную из  $X$  в результате центрирования по столбцам и нормирования на стандартные отклонения  $S_j$ :

$$x_{ij}^* = \frac{(x_{ij} - \bar{x}_j)}{S_j}, \quad i=1, \dots, k, j=1, \dots, M. \quad (5)$$

Далее вычисляется матрица:

$$R = \frac{1}{k} \cdot X^* \cdot (X^*)^T, \quad (6)$$

где  $(X^*)^T$  – векторы-столбцы, индекс  $T$  означает транспонирование.

Если элементы  $X^*$  вычисляются по формуле (4), то матрица  $R$  является выборочной корреляционной матрицей с элементами:

$$r_{ij} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \frac{1}{S_i \cdot S_j} (x_{i+j-1} - \bar{x}_i)(x_{j+i-1} - \bar{x}_j). \quad (7)$$

Совершим разложение матрицы  $R$ , т.е. вычислим ее собственные числа и векторы:

$$R = P \cdot \Lambda \cdot P^T, \quad (8)$$

где  $\Lambda$  – диагональная матрица собственных чисел:  $\Lambda = \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \lambda_M \end{pmatrix}$ ;

$P$  – матрица собственных векторов:  $P = (p_1, p_2, \dots, p_M) = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{21} & \dots & p_{M1} \\ p_{12} & p_{22} & \dots & p_{M2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{1M} & \dots & \dots & p_{MM} \end{pmatrix}$ .

Матрицу  $P$  можно рассматривать как матрицу перехода к главным компонентам (определение количества главных компонент):

$$X^* \cdot P = Y = (y_1, y_2, \dots, y_M). \quad (9)$$

Собственные числа матрицы  $R$  являются выборочными дисперсиями соответствующих главных компонент, а квадратные корни из них - выборочными стандартами. Выборочные стандарты пропорциональны длинам полуосей эллипсоида рассеяния, описываемого матрицей  $R$ . Графическое представление собственных чисел используется для выявления структуры исследуемой совокупности и отбора и интерпретации главных компонент.

Если пронормировать значения главных компонент на выборочные стандарты, то легко увидеть, что главные компоненты оказываются ортонормированными:

$$Y^{*T} \cdot Y^* = I_M. \quad (10)$$

т.е. получается разложение  $M$ -мерного процесса на естественные ортогональные компоненты. Каждый из векторов  $y_j$  во многих случаях может быть проинтерпретирован так же, как соответствующий собственный вектор  $p_j$ . Также вектор  $y_j$  можно рассматривать как результат проектирования исходной  $M$ -мерной нормированной в центрированной совокупности на направление, определяемое соответствующим собственным вектором  $p_j$ . Данный метод можно интерпретировать как метод аппроксимации исходного временного ряда рядами конечного ранга. Каждому синусоидальному слагаемому ряда соответствуют две главные компоненты, имеющие вид отрезков синуса и косинуса одной и той же частоты. Их легко обнаружить по двумерным графикам для пар собственных векторов корреляционной матрицы или пар соответствующих главных компонент. Для таких пар собственные числа оказываются достаточно близкими. Это позволяет построить очень простой алгоритм оценки частот этих функций.

Для прогнозирования исследуемой функции используем выражения:

$$\begin{cases} x(t) = r(t) \cos(\omega(t)) \\ y(t) = r(t) \sin(\omega(t)) \end{cases}, \quad (11)$$

где  $\omega(t)$  – мгновенная частота;

$$r(t) = a(t) \cdot \alpha(t) = \omega(t) \cdot t + T(t), \quad (12)$$

где  $a(t)$  – линейная составляющая функции;  $\alpha(t)$  – полярный угол;  $T(t)$  – мгновенный период.

Третий этап – восстановление одномерного ряда. Эта процедура основана на простых соотношениях. Из ортогональности матрицы  $P$  следует, что при умножении матрицы главных компонент  $Y$  на  $P^T$  восстанавливается матрица  $X^*$ , при этом получается разложение нормированной и центрированной матрицы  $X^*$  в сумму матриц  $X_l^*$ , каждая из которых порождена одним собственным вектором матрицы  $R$ :

$$X^* = Y \cdot P^T = (y_1, y_2, \dots, y_M) \cdot \begin{pmatrix} p_1^T \\ p_2^T \\ \dots \\ p_M^T \end{pmatrix} = \sum_{i=1}^M y_i \cdot p_i^T = \sum_{i=1}^M X_i^* \quad (13)$$

Далее производится денормировка  $X^*$  с помощью умножения этой матрицы на диагональную матрицу  $S$ , состоящую из выборочных стандартов, и децентрирование путем добавления к элементам каждого столбца соответствующих выборочных средних:

$$X = \sum_{i=1}^M X_i^* \cdot S \quad (14)$$

В результате получается исходная матрица диагональной структуры в виде суммы  $(M + 1)$  матриц. Переход к исходному ряду может быть осуществлен усреднением по побочным диагоналям. Таким образом, получается разложение исходного временного ряда (например, средне суточного количества обращений на посты ТО станции технического обслуживания) на сумму  $(M + 1)$  рядов.

В общем виде прогнозирование ряда  $f(t)$  имеет вид (15):

$$f(t) = \frac{1}{1 - \left( \frac{\sin^2(\omega(\tau-1))}{\frac{1}{2} \left( \tau + \sin^2(\tau\omega) + \frac{\cos(\omega)\cos(\tau\omega)\sin(\tau\omega)}{\sin(\omega)} \right)} + \frac{\cos^2(\omega(\tau-1))}{\frac{1}{2} \left( \tau - \sin^2(\tau\omega) - \frac{\cos(\omega)\cos(\tau\omega)\sin(\tau\omega)}{\sin(\omega)} \right)} \right)} X \cdot X^*$$

Для подтверждения теоретических разработок изложены общая и частная методики экспериментального исследования.

Имеющийся рынок предприятий в сфере автобизнеса представлен [8]:

1) Технические (дилерские) центры, занимающиеся продажей, гарантийным и послегарантийным обслуживанием и ремонтом автомобилей. Для таких предприятий существуют льготы по закупке оригинальных запасных частей и эксплуатационных материалов у завода-изготовителя. К ним завод-изготовитель предъявляет определенные требования к оборудованию, квалификации и оформлению экстерьера и интерьера СТО. Дилеры обеспечиваются новейшей документацией на обслуживаемые марки автомобилей. Предполагается, что работы, проводимые в таких центрах, характеризуются высоким качеством и высокой стоимостью. Основную клиентуру данных центров составляют, в основном, владельцы новых автомобилей (имеющих заводскую гарантию) иностранного и отечественного производства.

2) Универсальные СТО. Занимаются обслуживанием различных марок автомобилей. К их преимуществам относится невысокая стоимость проводимых работ, что привлекает владельцев подержанных автомобилей, составляющих основную клиентуру данного вида предприятий. Клиентура данного вида СТО представляет собой самый широкий спектр: сюда относятся

владельцы и новых, и подержанных автомобилей как зарубежного, так и отечественного производства.

Основные тенденции существующего рынка автосервисного обслуживания таковы:

1) Обслуживанием новых автомобилей зарубежного и отечественного производства занимаются в основном технические (дилерские) центры, что связано в первую очередь с высокой стоимостью автомобиля и предоставляемой на них гарантией, а также использованием в конструкции автомобилей электронных систем управления двигателем, трансмиссией и ходовой части. По завершении срока гарантии владельцы данных автомобилей чаще всего переходят к универсальным СТО либо приобретают новый автомобиль.

2) Владельцы подержанных автомобилей предпочитают универсальные СТО, так как считают их оптимальными с точки зрения соотношения цена-качество.

3) Самостоятельное выполнение простейших видов работ.

Перечисленные выше факторы приводят к тому, что, с учетом постепенного роста благосостояния населения, не существует наиболее приоритетного развития на рынке в сфере услуг автобизнеса. Так как и технические (дилерские) центры, и универсальные СТО могут предоставить широкий спектр работ по обслуживанию и ремонту автомобилей по доступным ценам. Описанная ситуация приводит к усложнению задачи формирования спроса на услуги СТО. При этом следует отметить, что необходимость решения поставленных задач вызывается тем, что рынок автосервисного обслуживания будет развиваться, так как будет неуклонно увеличиваться парк легковых автомобилей. Поэтому наиболее важной задачей для действующих автообслуживающих предприятий будет являться их адаптация к новым условиям.

Для повышения эффективности производственной деятельности СТО существуют направления развития и совершенствования производственно-технической базы (ПТБ) предприятий автосервиса:

1) Приспособление под нарастающий спрос на услуги по ТО и ремонту с постепенным развитием ПТБ, что характеризуется низким риском недогрузки своих производственных мощностей. Данный способ имеет свои недостатки, заключающиеся в том, что клиент, при существующем уровне развития предоставления услуг, если время ожидания в очереди будет неоправданно высоким, обратится на другую, конкурирующую станцию. При этом, вследствие потребительской инерции, в следующий раз обращение произойдет на ту же станцию. Таким образом, есть риск потери потенциальной клиентуры.

2) Прогнозирование спроса на услуги своего предприятия, с учетом перспектив развития парка, с изучением потребностей и составляющих частей эффективности предоставления услуг для клиентов. Таким образом, станция постоянно приспособливается под существующий спрос и потребности клиентуры, что приводит к улучшению ее имиджа в глазах потребителей ее услуг и способствует привлечению новых.

На сегодняшний день можно выделить этапы повышения эффективности производственной деятельности существующих автообслуживающих предприятий:

1) Приспособление под нарастающий спрос на услуги по ТО и ремонту с постепенным развитием производственно-технической базы, что характеризуется низким риском недозагрузки своих производственных мощностей.

2) Прогнозирование спроса на услуги своего предприятия с учетом перспектив развития парка, с изучением потребностей и составляющих частей эффективности предоставления услуг для клиентов.

В связи с этим необходимо проведение соответствующих экспериментальных исследований, основными этапами которых являлись:

1) формирование и обоснование совокупности факторов, оценивающих эффективность производственной деятельности СТО;

2) сбор и анализ статистической информации о численности и структуре транспортных средств в регионе;

3) прогнозирование численности транспортных средств в регионе;

4) использование предложенной математической модели прогнозирование производственной деятельности.

Для получения достоверной и однородной информации обследования проводились в одно и то же время для совокупности предприятий, обеспечивающих достаточную репрезентативность выборки.

Учитывая результаты предыдущих обследований [2], которые показали недельную неравномерность и цикличность колебаний потоков заявок на обслуживание автомобилей, наблюдения проводили дифференцированно по дням недели по всем основным технологическим циклам операций ТО и ремонта.

Сбор информации по показателям, характеризующим спрос, производился на базе ООО «Авторесурс». Данное предприятие является самым крупным на территории Республики Коми и имеет семь СТО, расположенных в различных частях региона и занимающихся разнообразными видами услуг (работ).

Динамика изменения показателей на отдельные виды работ в течение года (по месяцам) представлена на рис. 1-2. Очевидно, что рассматриваемые ряды нестационарные как по математическому ожиданию, так и по дисперсии.

Сбор, обработка и анализ показателей спроса на услуги ООО «Авторесурс» позволяют целенаправленно подойти к их прогнозированию с целью изучения возможностей предприятия по удовлетворению обращений клиентуры по ТО и ремонту на перспективу.

При моделировании, согласно (15), были получены результаты, показанные на рис. 3-5.

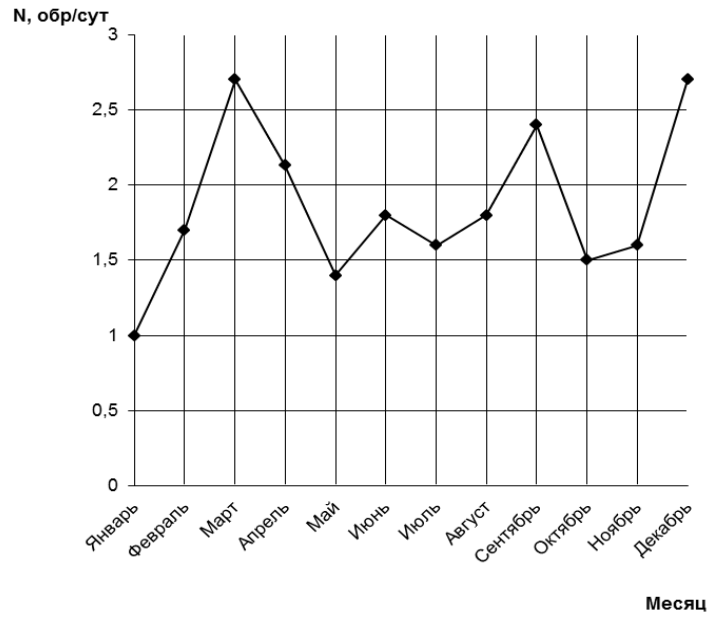


Рис.1. Изменение количества обращений на ТО по периодам года

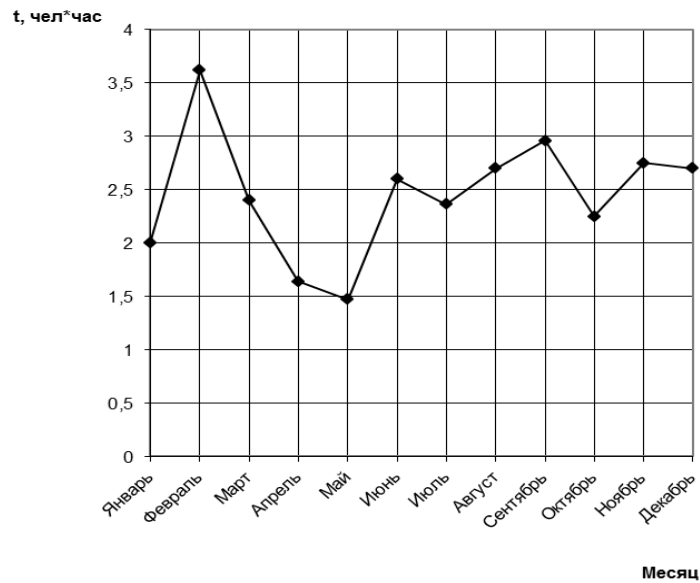


Рис. 2. Изменение среднесуточной трудоемкости на ТО по периодам года



Рис. 3. Прогнозирование среднесуточного количества обращений на посты, выполняющие ТО (по двум ГК)

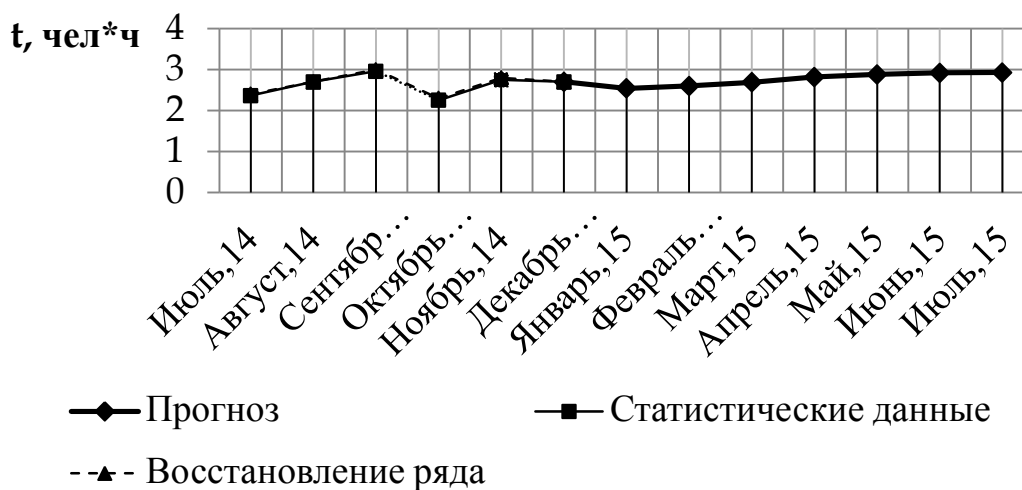


Рис. 4. Прогнозирование среднесуточной трудоемкости на постах, выполняющих ТО (по двум ГК)

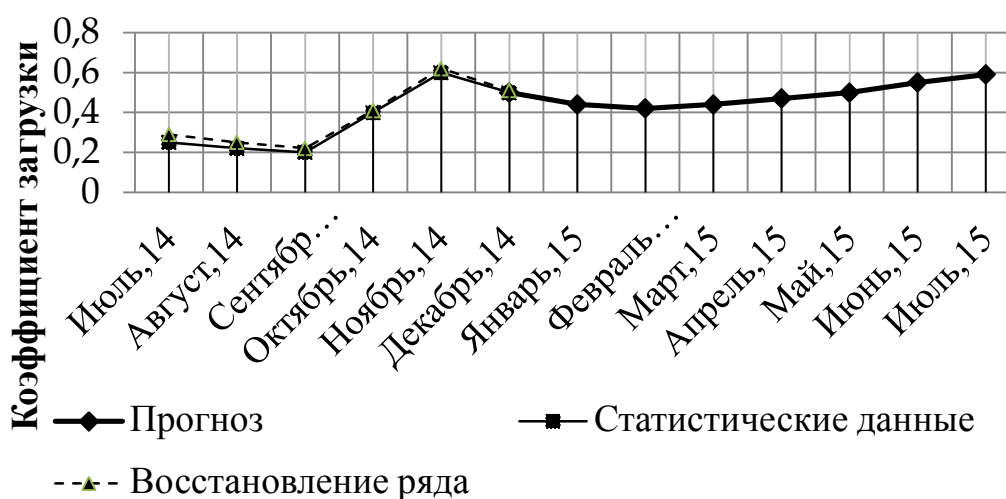


Рис. 5. Прогнозирование коэффициента загрузки на постах, выполняющих ТО (по двум ГК)

Приведенные зависимости позволяют утверждать об устойчивом спросе на услуги рассматриваемого предприятия ООО «Авторесурс», что, в свою очередь, предполагает проведение оценки его возможностей по удовлетворению нарастающего спроса по таким параметрам, как количество заездов на посты и участки, коэффициент загрузки  $\Psi$ ; средняя трудоёмкость и продолжительность выполнения работ для одного автомобиля.

Для последующей оценки эффективности конкретного предприятия в целом необходимо осуществить выбор временного периода (квартал, месяц, неделя), исходя из необходимости учета максимальной нагрузки на производственные подразделения моделируемого предприятия, а также требования нахождения количества обращений в данном периоде в области верхней доверительной границы колебаний.

Показатели спроса для выбранного временного периода, являющиеся исходными данными для моделирования спроса, представлены в табл. 1.

Массив информации для статистического анализа показателей  
по рассматриваемому виду услуг

Месяц	Участок	$N$	$\bar{x}(N)$	$\sigma(N)$	$\bar{t}$	$\bar{x}(\bar{t})$	$\sigma(\bar{t})$	$\psi$
Январь 2014 г.	ДЭСУД	1,8	1,4	0,8	7,5	3,44	0,403	0,75
	ТО	1	1,1	0,9	2	1,9	0,47	0,45
	...	...	...	...	...	...	...	...
Февраль 2014 г.	ДЭСУД	2,2	1,5	0,85	0,8	1,2	0,33	0,9
	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...

Сопоставление полученных значений показателей спроса на услуги СТО ООО «Авторесурс» с показателями ретроспективного периода указывает на значительное увеличение производственной программы предприятия для перспективного временного периода.

Для ООО «Авторесурс» были выполнены расчёты по повышению эффективности производственной деятельности по двум участкам: участку шиномонтажных и шиноремонтных работ и участку тюнинга автомобилей.

На рис. 6 показаны результаты моделирования показателей шиномонтажного и шиноремонтного участка при одной и двух постовых схемах. В качестве критериев оптимизации использовались: количество обращений, коэффициент загрузки и прибыль.

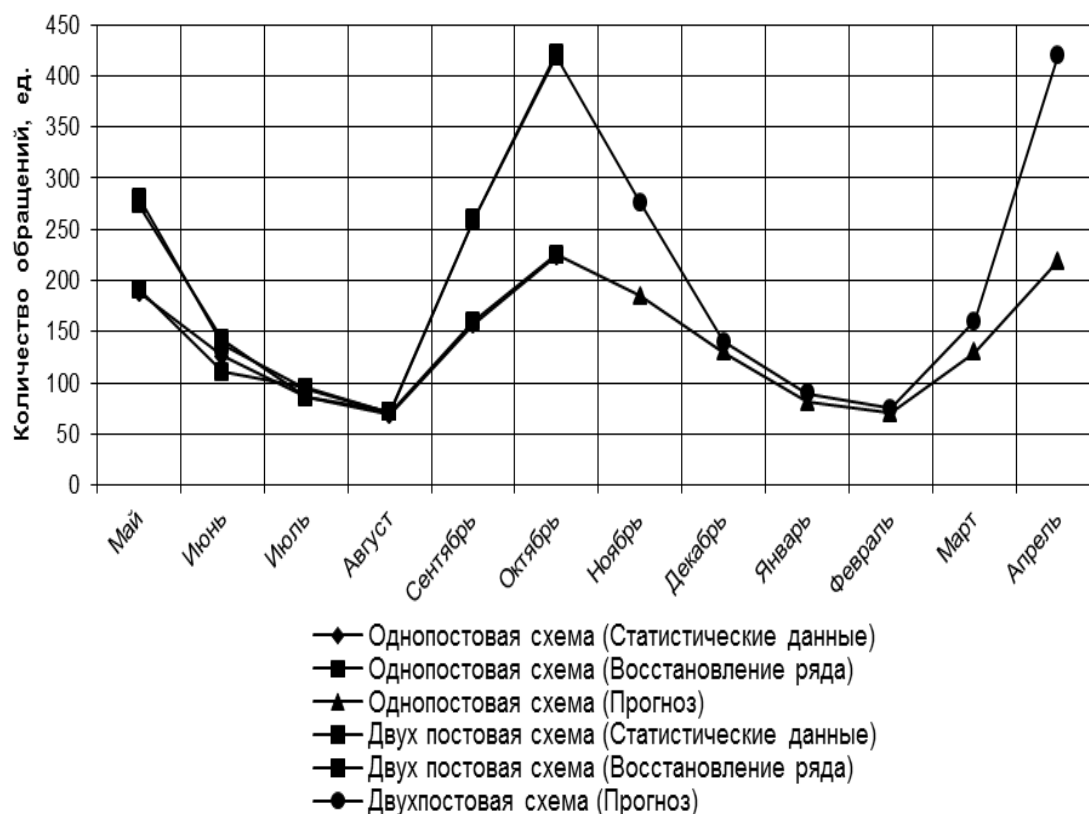


Рис. 6. Результаты моделирования показателя работы участка (по пяти ГК)



Критерии отбора инвестиционного проекта, его привлекательности таковы, чтобы прирост капитала проекта смог компенсировать инвестору вложенные финансовые ресурсы, вознаградить его риски и возместить потери от инфляции в течение расчетного срока.

На основе разработанных теоретико-методических положений, методик и математических моделей появилась возможность решать важную научно-практическую задачу качества технического сервиса и повышения эффективности производственной деятельности станций технического обслуживания легковых автомобилей.

Представленный комплекс аналитических моделей отражает основные факторы внутренней и внешней среды предприятий автосервиса, степень удовлетворенности клиентов СТО, с целью последующего определения рациональных направлений мероприятий, направленных на повышение эффективности производственной деятельности СТО.

Разработана математическая модель реализации производственной программы СТО при ограничении по количеству автомобилей населения региона (района города), нуждающихся в выполнении какой-либо услуги автосервиса.

В ходе теоретического анализа разработана математическая модель оптимизации производственной деятельности СТО легковых автомобилей. Выполнение исследования на модели позволили выявить недостатки функционирования ООО «Авторесурс» (Республика Коми, г. Сыктывкар) и разработать эффективные научно-технические мероприятия, обеспечивающие повышение качества услуг и стабильное развитие предприятия.

Научно-методические подходы позволили использовать математические методы для анализа и прогнозирования значений показателей, оценивающих уровни качества и эффективности работы СТО, что дает возможность разрабатывать рациональные управленческие решения, обеспечивающие устойчивое развитие предприятий автосервиса.

#### Список литературы

1. Биктагиров, Н.Л. Прогнозирование и планирование в условиях рынка. – Казань, 1997. – 74 с.
2. Дауров Д.С. Разработка методики оптимального использования мощности ПА в малых городах: дисс. канд. техн. наук – М., – 2000. 164 с.
3. Егорова Н. Е. Применение моделей и методов прогнозирования спроса на продукции сферы услуг. – М., 2000. – 335 с.
4. Курганская Н. И. Прогнозирование, планирование и анализ производственной деятельности предприятия. – Ростов-на-Дону, 1996. – 157 с.
5. Территориальный органа Федеральной службы государственной статистики по Республике Коми. Официальные сайт: <http://komi.gks.ru/> (дата обращения: 11.12.2013, 20.02.2014, 21.11. 2014, 18.01.2015)
6. Эсбенсен К. Анализ многомерных данных, сокр. пер. с англ. под ред. О. Родионовой. Из-во ИПХФ РАН, 2005. – 193 с.

7. Федеральная служба государственной статистики. Официальный сайт: <http://www.gks.ru/> (дата обращения: 11.12.2013, 20.02.2014, 21.11. 2014, 18.01.2015)

8. Чернышов А.Е. Комплексная оценка эффективности функционирования автосервисных предприятий. На примере СТО легковых автомобилей: дис. канд. техн. наук. – М., 2005 – 38-82 с.

9. Моржаретто И. [ЭР] За рулем. – 2015. - №2 – С. 184. – Режим доступа : <http://www.zr.ru/> (дата обращения: 18.01.2015)

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ

Р.В. Абаимов

*Сыктывкарский лесной институт*

**Аннотация:** Повышение эффективности функционирования транспортных систем региона неразрывно связано с задачами прогнозирования результатов их экономической деятельности в условиях хозяйственного риска. Так как от прогнозирования напрямую зависит принятие управленческих решений и между ними существует непрерывный обмен информацией, то прогнозирование информации необходимо рассматривать как элемент разработки и принятия управленческих решений.

Специфика транспорта как отрасли материального производства заключается в том, что, с одной стороны, транспорт имеет свой производственный процесс, с другой, транспорт не перерабатывает сырьё и не создает продуктов.

Современный мировой транспорт руководствуется двумя принципами: обеспечить полный цикл перемещения по схеме «от двери до двери» (from door to door) и «точно в срок» (just in time). То есть грузы должны быть перевезены от двери склада производителя или грузовладельца до дверей склада потребителя или грузополучателя. При этом ни грузовладелец, ни грузополучатель могут не участвовать в организации процесса перевозки. Они только оплачивают все расходы. То же и с пассажирами. Они должны быть перевезены от места отправления до места прибытия, например, от дверей своей квартиры или офиса до «дверей» в месте назначения. И весь процесс должен быть реализован в установленный срок.

Такой транспортный процесс – идеальный вариант. Естественно, что реализация в транспортной деятельности требует современной техники и инфраструктуры транспорта и, что очень важно, современных форм организации перевозок и управления на транспорте.

Основной целью прогнозирования является уменьшение влияния неопределенностей и факторов хозяйственного риска на экономические результаты деятельности транспортных организаций.

Теоретическую основу работы составили работы отечественных и зарубежных авторов в области оптимизации взаимодействия различных видов транспорта, логистики, а также работы по математическому моделированию.

**Ключевые слова:** прогнозирование, транспортный процесс, логистика.

## FORCASTING TRANSPORT PROCESSES AND SYSTEMS INTERACTION

R.V. Abaimov

*Syktывkar Forest Institute*

**Abstract:** Increasing the efficiency of the transport systems in the region is inextricably linked to the problem of forecasting the results of their economic activity in the context of economic risk. Since the forecast depends on management decisions, and there is a continuous exchange of information in between, forecasting information should be considered as an element of making management decisions.

The specifics of transport as a branch of material production are that, on the one hand, transport has its manufacturing process; on the other hand, it does not process raw materials or produce products.

The modern world transport is guided by two principles: to ensure the entire cycle of transportation according to the scheme "from door to door" and "just in time". That is, the goods must be transported from the manufacturer's or cargo owner's store door to the store door of their customer or consignee. Neither the cargo owner nor the consignee wherein may participate in the organization of the transportation process. They only pay all the costs. It is the same with the passengers. They must be transported from the place of departure to the place of arrival, for example, from the door of the apartment or the office to the "door" at the place of their destination. And the whole process must be implemented within the prescribed time limit.

This transportation process is ideal. Implementation of transportation activities actually requires modern vehicles and infrastructure and, perhaps more importantly, current forms of transportation organization and transport management.

The primary purpose of forecasting is to reduce the impact of uncertainty and economic risk factors on the economic performance of carriers.

The theoretical basis of the work includes the works of Russian and foreign authors in the field of optimization of interaction between different transport modes, logistics, as well as work on mathematical modeling.

**Keywords:** forecasting, transportation process, logistics.

Назначение прогнозирования состоит в разработке прогнозной информации, характеризующей процессы взаимодействия транспортных систем региона с внешней средой, и ее использовании для решения задач согласованного планирования и управления на уровне транспортных систем и в целом транспортного комплекса региона.

Основной целью прогнозирования является уменьшение влияния неопределенностей и факторов хозяйственного риска на экономические результаты деятельности транспортных организаций.

Для прогнозирования экономической эффективности функционирования транспортной системы в зависимости от уровня спроса на транспортные услуги с учетом хозяйственных рисков в работе использован математический аппарат, базирующийся на элементах теории вероятностей и экспертного прогнозирования [6, 7].

Алгоритм решения задачи состоит из следующих этапов:

1. Формирование списка событий, по которым должна предсказываться вероятность их наступления и взаимное влияние на экономическую эффективность;

2. Организация процесса экспертной оценки вероятности наступления сформированных на первом этапе событий;

3. Определение количественных значений вероятности свершения событий и вероятности их влияния на главное событие. Формирование сводной таблицы указанных вероятностей;

4. Для отражения, взаимовлияния вероятности свершения событий друг на друга, и на главное событие формируется матрица взаимосвязанных вероятностей;

5. Формирование схемы взаимовлияния исходных данных на функцию цели и решение задачи по разработанной аналитической модели.

Основной список возможных событий:

1. Надежность прогноза стабильного спроса.

2. Повышение спроса на транспортные услуги за счет ценовой политики транспортной организации.

3. Снижение спроса на транспортные услуги за счет ценовой интервенции конкурентов.

4. Повышение спроса на транспортные услуги за счет качества оказываемых услуг.

5. Снижение спроса на транспортные услуги за счет снижения предпринимательской активности в регионе.

6. Увеличение спроса на транспортные услуги за счет диверсификации деятельности транспортной организации.

7. Снижение спроса на транспортные услуги за счет ужесточения налоговой политики.

8. Увеличение спроса на транспортные услуги под влиянием улучшения общей экономической ситуации в регионе.

9. Снижение спроса на транспортные услуги за счет недостаточной рекламы.

10. Увеличение спроса за счет заключения выгодных контрактов на оказание транспортных услуг.

11. Уменьшение спроса за счет распространения негативной информации о фирме.

В экономических задачах, где главным событием является функция цели (получение максимальной прибыли), стремящаяся к экстремуму, а все остальные события стремятся или улучшить функцию цели, или ухудшить ее, проблема установления взаимной корреляции не представляет большой трудности, т.к. реальные взаимосвязи и влияния наступающих событий на вероятность функции цели можно определить в количественной форме через вероятности их влияния на уровень функции цели [9].

Сложным процессом является определение вероятностей возможностей осуществления мероприятий (свершения событий) и их влияния на уровень вероятности главного показателя (функции цели). В таких случаях целесообразно применять методы, использующие результаты опыта и интуицию, то есть методы экспертных оценок, как индивидуальных, так и групповых (коллективных). Достоинством индивидуальной экспертизы является оперативность получения информации и относительно небольшие затраты, а недостатком высокий уровень субъективности и, как следствие, отсутствие уверенности в достоверности полученных результатов.

Указанный недостаток призваны устранить или ослабить коллективные экспертные оценки, основанные на открытом обсуждении вопросов с последующим голосованием. Но эти методы также страдают рядом недостатков, таких как влияние авторитетных и «напористых» экспертов на

суждение остальных и нежелание участников обсуждения отказываться от идей, ранее высказанных публично.

Подсистема транспортного узла – часть системы, представляющая совокупность некоторых элементов и отличающаяся подчиненностью единой цели функционирования всего узла (например, подсистема автомобильного транспорта) [3, 4].

Под транспортным узлом следует понимать совокупность транспортных процессов и средств для их реализации в местах стыкования двух или нескольких магистральных видов транспорта.

Подсистема транспортного узла – часть системы, представляющая совокупность некоторых элементов и отличающаяся подчиненностью единой цели функционирования всего узла (например, подсистема автомобильного транспорта).

Элемент транспортного узла – объект, не подлежащий дальнейшему расчленению, например автобусные станции, грузовые терминалы.

Для транспортного узла характерны входы и выходы, которыми являются потоки автомобилей, грузов или пассажиров, подлежащие обслуживанию.

Транспортный узел включает в себя:

1. Перевозочный процесс (передвижение пассажиров и перемещение грузов);
2. Технические устройства (станции, терминалы, магистрали, склады и т.д.);
3. Средства контроля и управления.

Транспортный узел функционирует в условиях различного рода возмущений (выход из строя технических устройств, вероятностный характер транспортных процессов и т.п.), для компенсации которых используются управляющие воздействия, вырабатываемые на основе информации, поступающей от вышестоящих систем, и информации о работе узла, получаемой по каналу обратной связи. При этом происходит обмен информацией с другими системами.

Решение вопросов взаимодействия работы различных видов транспорта в транспортных узлах и их подсистемах с исследованием показателей их качества требует введения единых понятий и терминов.

Под транспортным узлом как системой следует понимать совокупность транспортных процессов и средств для их реализации в местах стыкования двух или нескольких магистральных видов транспорта. Следовательно, понятие транспортного узла включает собственно перевозочный процесс (передвижение пассажиров и перемещение грузов), технические устройства (станции, порты, магистрали, склады и т.д.), средства контроля и управления.

Основные управляющие воздействия обеспечивают рациональное распределение перевозок между различными видами транспорта; комплексное проектирование и планирование развития транспортного узла, его подсистем и элементов; оптимизацию параметров подсистем и отдельных элементов в процессе их эксплуатации и развития; оперативную оптимизацию транспортных процессов и режимов взаимодействия.

Обратная связь обеспечивает управление процессами в узле при изменении условий взаимодействия различных видов транспорта или другого рода возмущении. Обратные связи в транспортных узлах проявляются, как правило, с запаздыванием, отражая инерционность системы. Поэтому свойства, накапливаемые в системах, проявляются лишь по истечении времени  $t$ . Например, изменение ритма погрузки грузов отдельных назначений может с запаздыванием отразиться на ритме движения составов разных видов транспорта, участвующих в перевозке. Более сложные примеры инерционности обратных связей можно привести на уровне взаимодействия транспортного узла с планировочной структурой города или другими узлами и элементами единой транспортной системы.

Так, сооружение новой пассажирской станции приводит к перераспределению пассажиропотоков, а через некоторое время оказывает влияние и на систему расселения. Аналогичное воздействие вызывает, например, строительство станции, терминала, порта, приводя к перераспределению грузопотоков и изменению параметров работы всей отрасли любого вида транспорта.

Следовательно, компенсация запаздывания и обеспечение режимов работы транспортных узлов с предвидением составляет основную задачу теории и практики автоматического управления транспортными процессами.

Структура транспортного процесса включает три элемента (подпроцесса):

1. Процесс погрузки (посадки);
2. Процесс перевозки;
3. Процесс разгрузки (высадки).

Основной элемент транспортного процесса – перевозка грузов, все другие элементы подчинены ему. Перевозочный процесс включает работу подвижного состава с момента подачи под погрузку, его движение с грузом до постановки под разгрузку.

Процессы погрузки и разгрузки состоят из возможного ожидания погрузки (разгрузки) и обслуживания. Ожидание погрузки (разгрузки) грузов может быть связано с опозданием транспортных средств, занятостью погрузочно-разгрузочных средств и др. Обслуживание включает собственно погрузку (разгрузку), а также оформление документов, если эта операция полностью не осуществляется во время ожидания погрузки (разгрузки) и обслуживания.

Транспортный процесс характеризуется не простым перемещением груза и пассажиров, а соблюдением конкретных параметров и условий удовлетворения потребностей. Эти условия можно назвать параметрами транспортного процесса. Если в условиях реальной эксплуатации эти параметры соблюдаются, то транспортный процесс удовлетворяет потребителя и полностью реализуется. При отклонении параметров транспортного процесса от установленного уровня удовлетворенности наступает частичный или полный отказ от его осуществления. Эти параметры можно восстановить для последующей эксплуатации АТС, на что потребуются некоторое время и затраты. Возможности восстанавливать транспортный процесс характеризуются так же, как и интервалы между отказами: временем [5, 8].

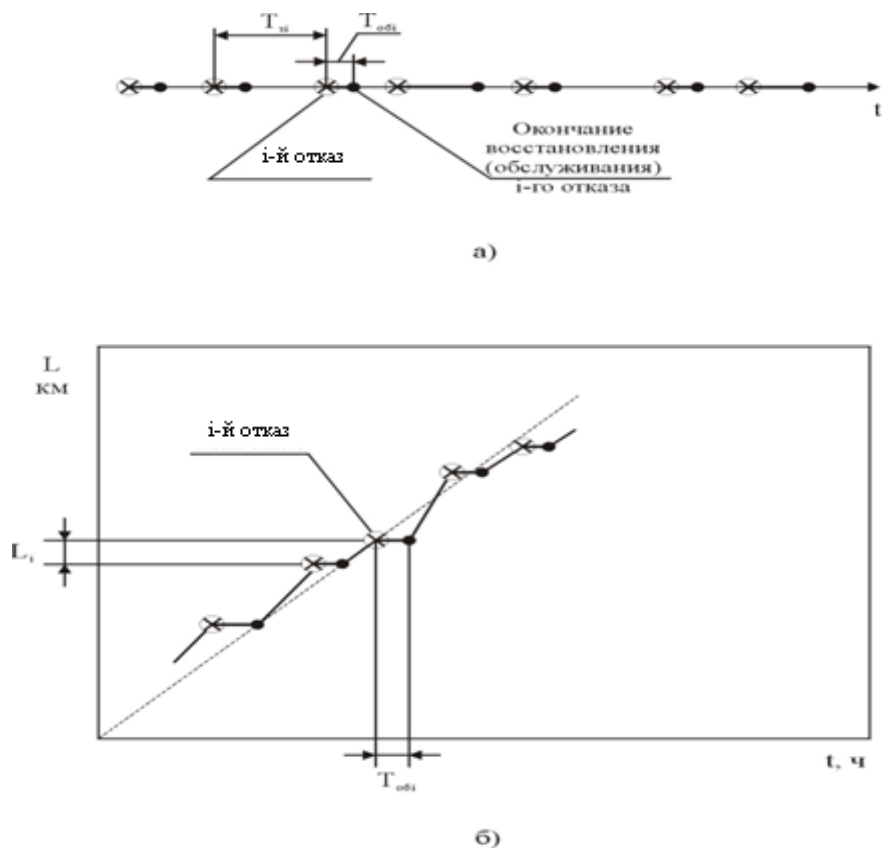
Надежность осуществляемого транспортного процесса зависит от выбора типа и класса автотранспортного средства (АТС).

Выбор типа и класса АТС зависит от:

1. Транспортных условий (вместимость автобуса, вид перевозимого груза, размеров, веса, а также потребного объема перевозок, партионности, маршрутизации и др.);
2. Дорожные условия (прочность покрытия дорог, ровность поверхности, рельеф, климат и т.п.);
3. Характеристика режимов технического обслуживания и ремонта.

При реализации транспортного процесса может произойти отказ. Отказ транспортного процесса выражается (рис. 1):

1. Приостановкой его осуществления;
2. Приобретением транспортного средства из-за неполного удовлетворения потребностей потребителя;
3. Параметрами транспортных или дорожных условий;
4. Техническими отказами транспортного средства в эксплуатации.



- ⊗ - приостановки транспортного процесса (отказы АТС),
- - окончание восстановления (обслуживания) после отказа

Рис. 1. Представление транспортного процесса как набора случайных событий:

а) транспортный процесс как последовательность интервалов его осуществления и восстановления;

б) транспортный процесс как накопление пробега автомобиля с перерывами на его обслуживание или восстановление

Современную цивилизацию невозможно представить без развитой транспортной системы, обеспечивающей широкомасштабный обмен сырьем, материалами, товарами, которые являются технологической основой экономики [1].

Транспортные системы называют кровеносной системой экономики. Причем удельный вес использования транспорта далеко не одинаков как в пассажирском и грузовом товарообороте, так и в различных регионах страны. Так сложилось вследствие многочисленных исторических, географических, экономических, социальных и других причин.

Основная цель совершенствования надежности автотранспортного комплекса в регионе – достижение уровня развития передовых стран и интеграция в мировую транспортную систему.

Надежность АТС в подобной постановке становится столь же интегральной оценкой в системах «типаж», «водитель – автомобиль - дорога - среда» и «автотранспортное предприятие», как и надежность транспортного процесса, если эта надежность определяется в условиях реальной эксплуатации.

С практической точки зрения при таком подходе к оценке продукции автомобильной промышленности показателями, интегрирующими свойства и характеристики удовлетворения потребностей автомобильного транспорта, приоритетными являются безотказность и восстанавливаемость транспортного процесса.

Следует подчеркнуть направленность такого развития на максимальное удовлетворение интересов отдельного человека, т.е. обеспечение всех производственных структур и населения страны транспортными услугами в необходимом объеме и качестве.

На рис. 2 изображена структурно-функциональная схема автотранспортного комплекса.

Стабилизация и развитие экономики любой страны, а тем более страны с такой колоссальной территорией, как Россия (в частности Республика Коми), начинается, как правило, с развития собственной транспортной системы [2].

Транспортная система Республики Коми (РК) характеризуется:

1. малой разветвленностью автомобильных дорог и ж/д путей;
2. недостаточно развитой инфраструктурой;
3. коротким временем навигации водного транспорта;
4. климатическими условиями.

Но главное – это нестабильное экономическое положение РК, собственников транспортных компаний, перевозчиков пассажиров и грузоотправителей, что негативно сказывается на прогнозировании их взаимодействия.



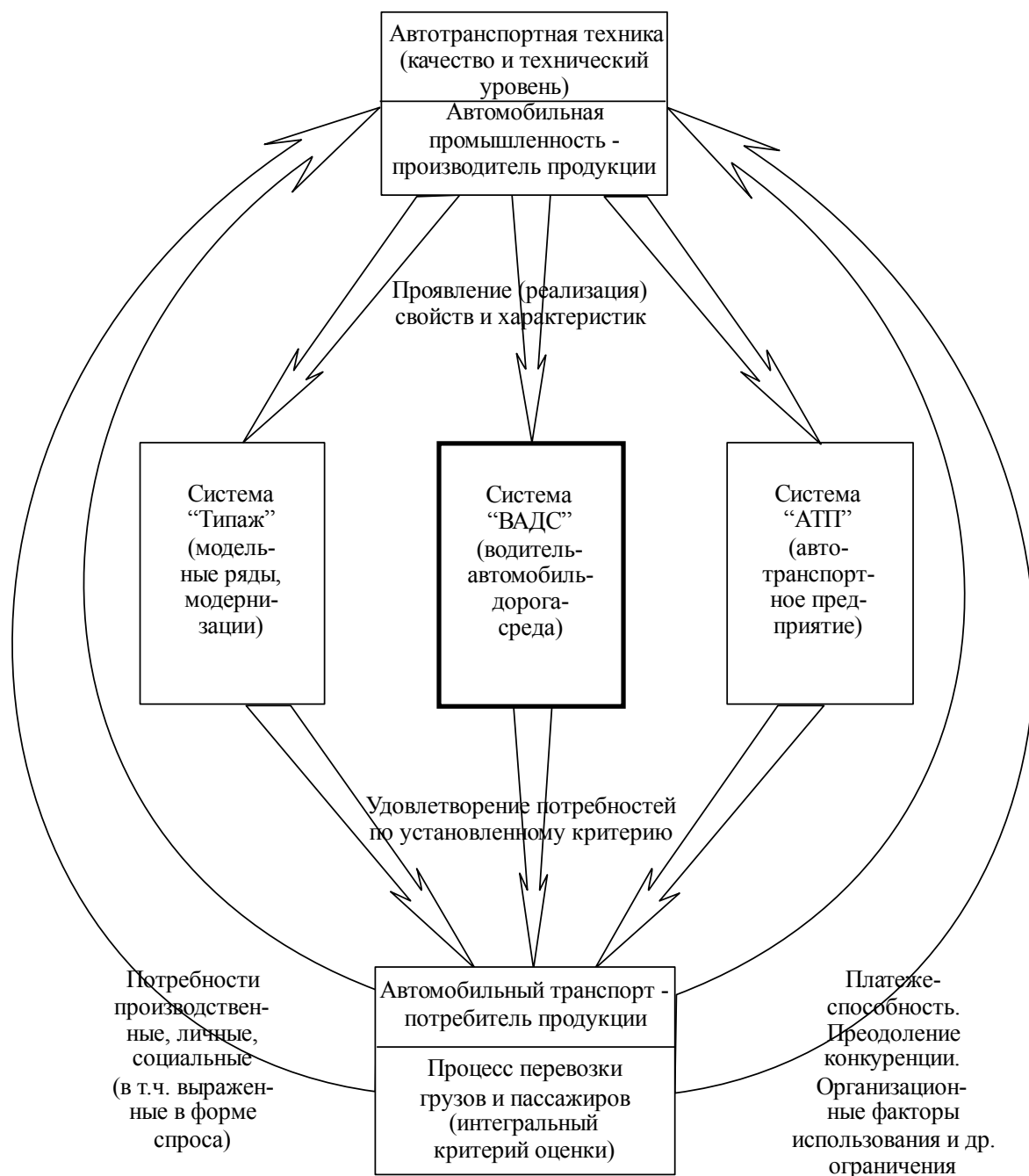


Рис. 2. Структурно-функциональная схема автотранспортного комплекса

Для обеспечения устойчивого развития транспортной системы РК необходимо:

1. Развитие транспортной инфраструктуры (автомобильные дороги, мосты, эстакады, развязки, терминалы, стоянки, автозаправочные станции и т.п.);
2. Интеграции всех видов транспорта и транспортных структур в единую транспортную систему страны;
3. Максимальная комфортность перевозок, безопасности и экологической защищенности окружающей среды.

Основная цель - достижение уровня развития передовых стран и интеграция в мировую транспортную систему.

Острейшая необходимость развития транспортной системы России в настоящее время обусловлена рядом причин:

- проводящимися экономическими реформами, связанными с перераспределением форм собственности;
- нерациональным распределением объемов перевозок между отдельными видами транспорта;
- их слабым взаимодействием.

Эти шаги приобретают особую актуальность при реализации государственного управления в период перехода к многоукладной экономике и различным формам собственности на транспорте.

#### Список литературы

1. Аксенов И.Я. Транспорт: история, современность, перспективы, проблемы. - М.: ТЕИС, 2000. - 216 с.
2. Басовский, Л.Е. Прогнозирование и планирование в условиях рынка: Учеб. пособие / Л.Е. Басовский. - М.: ИНФРА-М, 2003. – 260 с.
3. Громов Н.Н., Панченко Т.А., Чудновский А.Д. Единая транспортная система. - М.: Транспорт, 2003. – 256 с.
4. Единая транспортная система: Учебник для вузов/ под ред. В.Г. Галабурды. - М.: Транспорт, 1996. - 295 с.
5. Котеленц А.П. Экономика и организация использования автомобильного транспорта. – М.: Транспорт, 1997 – 310 с.
6. Сегунин Н.С. Транспортный комплекс / Учебник для вузов - М.: Инфра-М, 2005. - 231с.
7. Транспортная логистика: Учебник для транспортных вузов / Под редакцией Л.Б. Миротина. – М.: Экзамен, 2003. – 512 с.
8. Федоров С.П. Транспортная система в мировой экономике. - М.: Дрофа, 2004. – 201 с.
9. Экономическая и социальная география России Учебник /Под ред. А.Т. Хрущева. - М.: МГУ, 2005. – 195 с.

### **КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К СНИЖЕНИЮ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ КОРПУСА ГУСЕНИЧНОЙ МАШИНЫ**

М.И. Артеменко, Е.М. Артеменко

*Рубцовский индустриальный институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И.Ползунова»*

**Аннотация:** Для снижения динамической нагрузки корпуса гусеничной машины используется математическая модель и алгоритм расчета позволяющий описать динамику гусеничной машины с различными типами подвески, для выбора рационального варианта при проектировании новых гусеничных машин.

**Ключевые слова:** *гусеничная машина, математическая модель, динамическая нагрузка, подвеска гусеничного движителя, алгоритм расчета.*

# AN INTEGRATED APPROACH TO REDUCE DYNAMIC LOADING BODY OF A TRACKED VEHICLE

M.I.Artemenko, E.M.Artemenko

*Polzunov Altai State Technical University*

**Abstract:** For reduce the dynamic loading of the housing tracked vehicle used a mathematical model and calculation algorithm. Algorithm allows to describe the dynamics of tracked vehicle with different types of suspension, to select management options in the design of new tracked vehicles.

**Key words:** *tracked vehicles, mathematical model, dynamic loading, suspension of caterpillar tracked, calculation algorithm.*

Динамическая нагруженность корпуса гусеничной машины действует на водителя, узлы и агрегаты и неразрывно связана с выбором оптимальных параметров подвески гусеничного движителя. Работы Дружинина В.А., Вербилова А.Ф. [1-4] были посвящены этому вопросу.

Для снижения динамической нагруженности механических систем необходимо понимание их динамического поведения. Динамические процессы неразрывно связаны с колебаниями элементов гусеничного движителя, что отражается на надежности гусеничного движителя, а также воздействию на водителя.

В работе используется математическая модель и алгоритм расчета [1], позволяющие описать динамику гусеничной машины с различными типами подвески гусеничного движителя. В указанных работах уравнение динамики как отдельных элементов и механизмов, так и всего гусеничного движителя выражает зависимость параметров состояния механической системы от времени.

Рассматриваем гусеничный движитель как плоскую механическую систему, состоящую из  $n$  элементов, соединенных между собой.

Для численного решения линеаризованных уравнений, составляющих систему, используется метод временных конечных элементов [1,7].

Вариационная формулировка задачи, эквивалентная системе дифференциально-алгебраических уравнений, базируется на основании принципа Гамильтона [8]

$$\partial L = \partial \int_{t_1}^{t_2} (E - \Pi + W) dt = 0, \quad (1)$$

где  $E$  – кинетическая энергия системы;

$\Pi$  – потенциальная энергия;

$W$  – работа неконсервативных внешних сил.

Используя программный комплекс DTRAK, провели исследования динамического поведения гусеничной машины 521 [9].

Полученные результаты отражают зависимость динамических напряжений от конструктивных параметров подвески на динамические перемещения, скорости и ускорения корпуса машины для определенных профилей дорожного полотна.

Установка амортизаторов на каждый опорный каток гусеничной машины 521 снижает по сравнению с серийным вариантом (два амортизатора) вибрации, действующие на водителя, на 20-25%.

Зависимость амплитуды ускорений носовой части от длины волны и скорости перемещения корпуса гусеничной машины представлена на рис.1 [9].

На рисунке показаны зоны в двухмерной области экстремумов значений амплитуд ускорений носовой части корпуса гусеничной машины.

Такие же расчеты можно получить для любых гусеничных движителей различного конструктивного исполнения, для выбора рационального варианта при проектировании новой гусеничной машины.

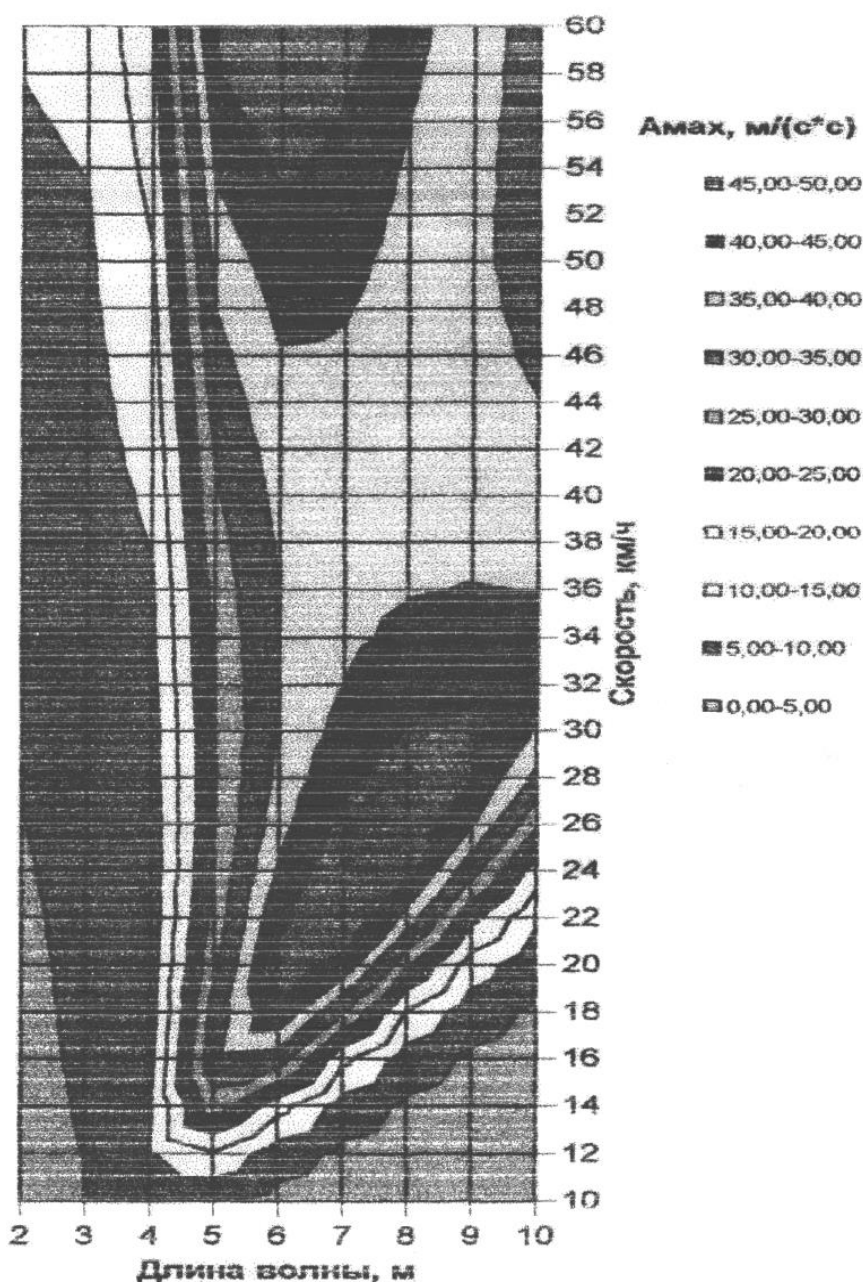


Рис. 1. Зависимость амплитуды ускорений носовой части от длины волны и скорости перемещения

## Список литературы

1. Дружинин В.А., Вербилов А.Ф. Оптимизация параметров гусеничного обвода с резинометаллическими шарнирами // Прочность и устойчивость инженерных конструкций: Межвуз. сб. / Алтайский политехнический институт – Барнаул, 1991. С. 106-116.
2. Дружинин В.А., Вербилов А.Ф. Расчет плавности хода гусеничного трактора // Совершенствование рабочих органов сельхозмашин и агрегатов: Тезисы докладов междунар. науч.-техн. конф. / Алтайский гос. тех. ун-т. им И.И. Ползунова, Барнаул, 1994. С. 106-107.
3. Дружинин В.А., Вербилов А.Ф. Оптимальное проектирование параметров подвески транспортных средств // Транспорт в современных условиях: Сб. статей науч.-техн. конф. / Красноярский гос. тех. ун-т ГТУ, Красноярск, 1994. С. 103-108.
4. Дружинин В.А., Вербилов А.Ф. Моделирование динамического поведения ведущего участка гусеничного движителя с резинометаллическими шарнирами // Повышение экологической безопасности автотракторной техники: сб. статей / под ред. д.т.н., профессора, академика А.Л. Новоселова / Академия транспорта РФ, АлтГТУ им. И.И. Ползунова, Барнаул, 1998. С. 44-46.
5. Дружинин В.А. Моделирование динамического поведения гусеничного движителя // Повышение технического уровня тракторного и сельскохозяйственного машиностроения: Межвуз. сб. Алтайского политехнического ин-та, 1989, с 36-40.
6. Вербилов А.Ф. Оптимизация параметров узлов ходовой части гусеничных машин с целью снижения их динамической нагруженности. - Автореферат дис. на соискание ученой степени к.т.н. Барнаул, 2000. – 16 с.
7. Argyris J.H. Scharpf D.W. Finite Elements in Time and Space // Nuclear Engineering and Design-Amsterdam: North-Holland Publishing Company, 1969 - №10, p. 456-464.
8. Добронравов В.В. Основы аналитической механики. – М.: Высшая школа, 1976. – 264 с.
9. Артеменко М.И. Динамическая нагруженность быстроходных гусеничных машин, подлежащих конверсии. Автореферат дис. на соискание ученой степени к.т.н. Барнаул, 2001. – 16 с.

## ОПТИМИЗАЦИЯ МАССОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОДЕЛИ ВОДИЛА

В.М. Батизи

*Университет машиностроения (МАМИ)*

**Аннотация.** В проведенной работе представлен метод оптимизации массовых характеристик элементов планетарной автоматической коробки передач для легкового автомобиля с использованием метода конечных элементов (МКЭ) без ухудшения жесткостных и прочностных характеристик.

**Ключевые слова.** Численные методы, оптимизация, метод конечных элементов, планетарная автоматическая коробка передач.

# OPTIMIZING WEIGHT PARAMETERS OF THE CARRIER MODEL

V. M. Batesi

*University of mechanical engineering (MAMI)*

**Abstract:** The paper presents a method of optimizing weight parameters of the planetary automatic transmission elements for a passenger car using finite element method (FEM) without compromising stiffness and strength properties.

**Keywords:** numerical methods, optimization, finite element method, a planetary automatic transmission.

Целью расчёта является определение жёсткости модели водила (с определением перекосов осей сателлитов в двух плоскостях) и расчёт максимальных эквивалентных напряжений в наиболее нагруженных областях водила в условиях статического приложения нагрузок, а также получение рекомендации по дальнейшей оптимизации конструкции водила по массовым и прочностным характеристикам.

Водило планетарных передач представляет собой пространственную раму, состоящую из двух колец (щёк), соединенных равностоящими друг от друга балками (рисунки 1, а). Щёки могут сопрягаться с шейками опорного вала водила или с фланцем для его крепления в корпусе передачи. Во избежание перекоса осей сателлитов при проектировании водила ограничили конструктивными мерами его деформацию под действием передаваемой нагрузки [2].

Составные элементы водила:

- левая щека водила (предполагаемый материал – 20ХНМ ГОСТ 4543-71);
- сателлиты (предполагаемый материал - 20ХНМ ГОСТ 4543-71);
- оси сателлитов (предполагаемый материал - 20ХНМ ГОСТ 4543-71);
- вал (предполагаемый материал - 20ХНМ ГОСТ 4543-71);
- правая щека водила (предполагаемый материал - 20ХНМ ГОСТ 4543-71);
- корона (предполагаемый материал - 20ХНМ ГОСТ 4543-71).

Упорные кольца, игольчатые подшипники и подшипники скольжения, входящие в данное водило, для упрощения расчётной модели не показаны.

В качестве исходных данных в расчёте использовались следующие значения нагрузок, приложенные в зацеплении сателлитов:

- окружное усилие:  $F_{t1} = 7290$  Н;
- радиальное усилие:  $F_{r1} = 2747$  Н;
- осевое усилие:  $F_{a1} = 1954$  Н.

Значения нагрузок, приложенные в зацеплении короны:

- окружное усилие:  $F_{t2} = 9367$ ;
- радиальное усилие:  $F_{r2} = 3530$  Н;
- осевое усилие:  $F_{a2} = 2510$  Н.

Данные нагрузки возникли при действии момента на входном валу, равного 1200 Нм, на первой передаче.

На рисунке 2 изображена схема нагружения.

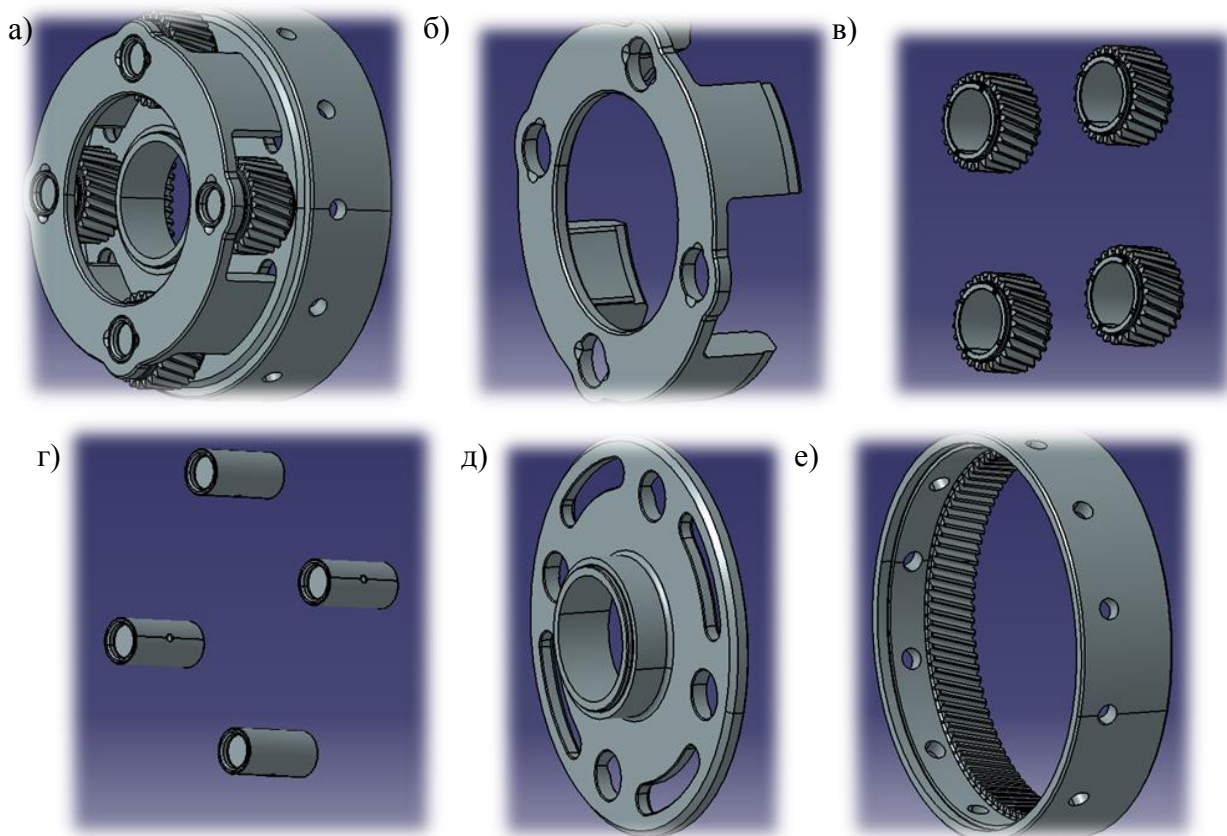


Рис. 1. Водило (а), составные элементы водила: левая щека водила (б), сателлиты (в), оси сателлитов (г), вал и правая щека водила (д), корона (е)

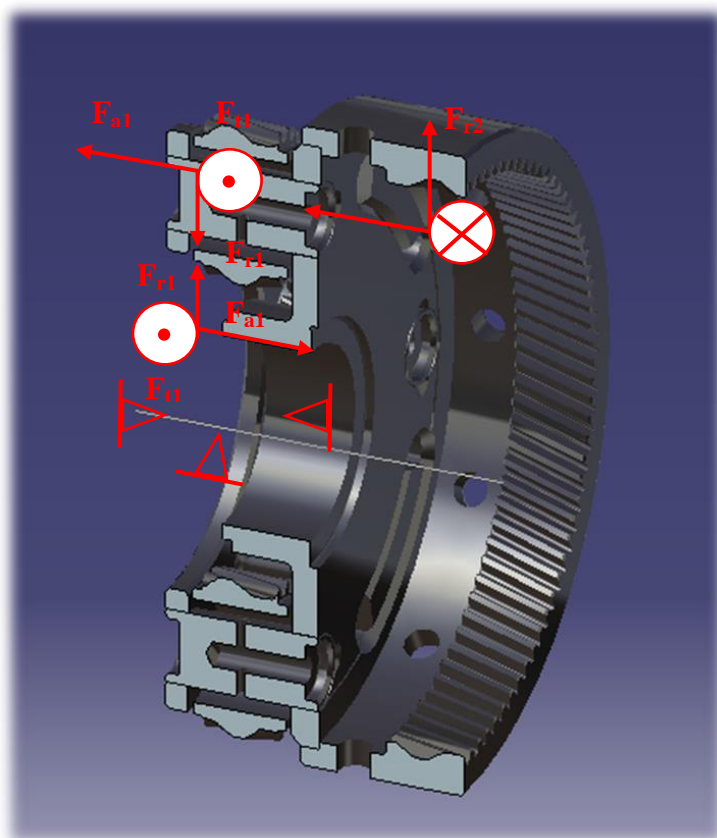


Рис. 2. Схема нагружения водила

Расчёт, проведённый методом конечных элементов, содержал следующие этапы:

- подробное описание конечных элементов модели с указанием количества и типов, и характерных размеров используемых конечных элементов, а также изображения конечно-элементной сетки с описанием особенностей её построения (изображения участков в которых присутствуют концентраторы напряжений);

- приложение нагрузок и граничных условий, сопровождающихся рисунками и схемами;

- результаты расчёта максимальных эквивалентных напряжений (цветные контурные изображения с указанием наиболее напряжённых областей и величин напряжений в них);

- заключение о прочности конструкции водила с указанием минимальных коэффициентов запаса прочности (по пределам текучести и прочности) в этих областях (а также максимального напряжения и минимальных величин коэффициентов запаса по конструкции в целом).

В соответствии с ГОСТ 4543-710 материал имеет следующие механические свойства:

- предел упругости  $\sigma_{0,2}$ , МПа 685,
- предел прочности  $\sigma_b$ , МПа (не менее) 880.

Анализ методом конечных элементов начинается с дискретизации исследуемой области и делении ее на ячейки сетки.

Аппроксимировав область задачи набором дискретных конечных элементов, задаем характеристики материала и граничные условия для каждого элемента, а именно предел текучести и упругости. Коэффициент Пуассона следует установить равным 0,3. Это будет соответствовать табличным данным. Указав различные характеристики для различных элементов, можно анализировать поведение объекта, состоящего из различных материалов.

Для дискретизации использовались объёмные конечные элементы второго порядка аппроксимации. Общее количество элементов – 331 741, узлов – 560 165.

В постановках задач механики сплошной среды, и в частности теории упругости, используются смешанные граничные условия. Это означает, что в данной точке поверхности тела одновременно заданы некоторые компоненты перемещений и поверхностных сил.

Кроме граничных условий, для разрешения уравнений необходимо задать характеристики материала для каждого КЭ, из которого изготавливается объект исследования. В исследовании напряженно деформированного состояния параметры определяют связь напряжения и деформации.

После задания граничных условий и материала программа конечно-элементного анализа формирует систему уравнений, связывающую граничные условия с неизвестными, после чего решает эту систему относительно неизвестных.



Выходные данные программы анализа методом конечных элементов обычно представляются в числовой форме [4].

Общий вид КЭ модели с граничными условиями представлен на рисунках (3-5).

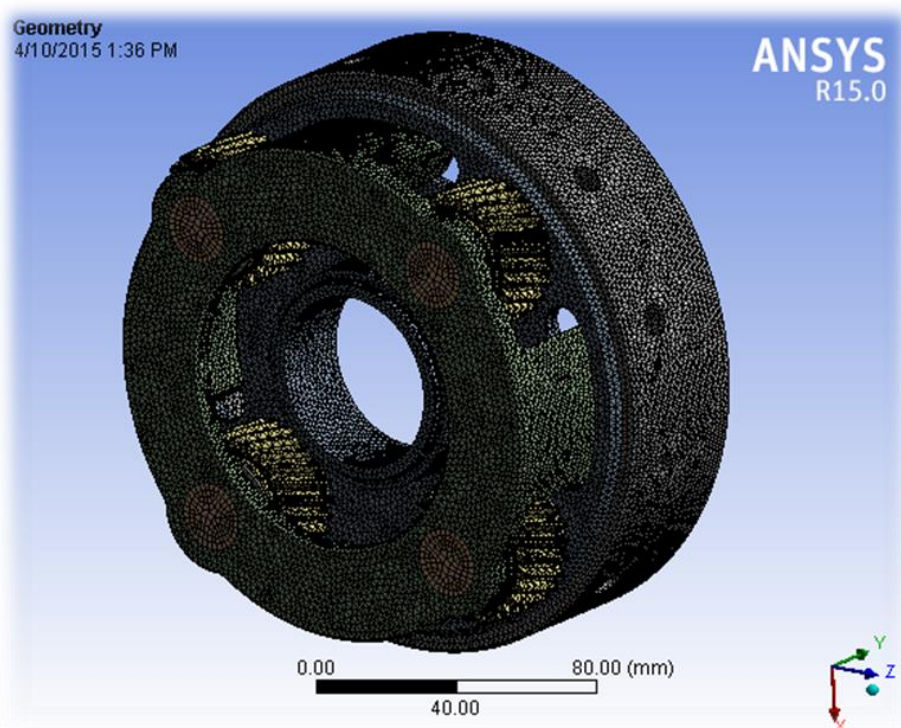


Рис. 3. Общий вид КЭ модели

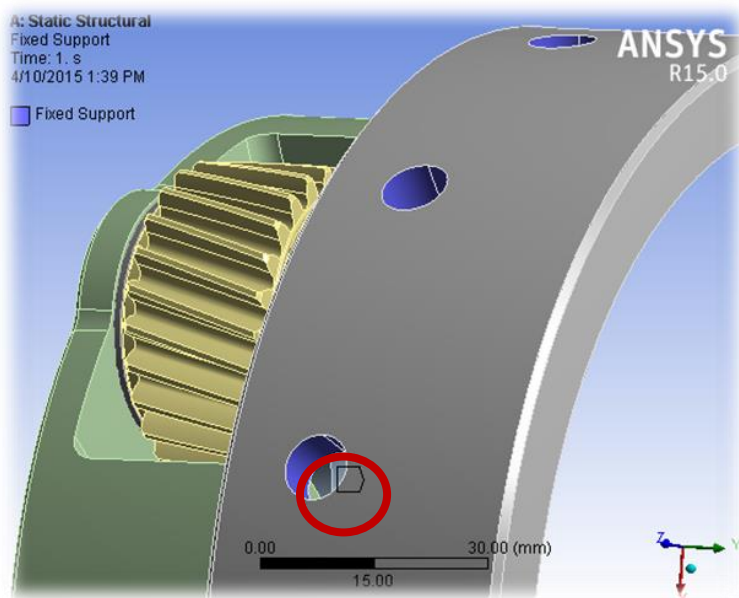


Рис. 4. Область приложения граничных условий

Согласно терминологии математической физики, рассматривающей различные дифференциальные уравнения, описывающие физические поля, с единой математической точки зрения, граничные или краевые условия для данных дифференциальных уравнений делятся на два основных типа:

существенные и естественные. Обычно существенные условия накладываются на искомую функцию, а естественные на ее производные по пространственным координатам.

С позиции метода конечных элементов существенные граничные условия – это такие, которые непосредственно влияют на степени свободы модели и накладываются на компоненты глобального вектора неизвестных  $U$  (перемещения). Естественные граничные условия – это такие, которые опосредованно влияют на степени свободы через глобальную систему конечно-элементных уравнений и накладываются на правую часть системы – вектор  $F$  (действующие силы).

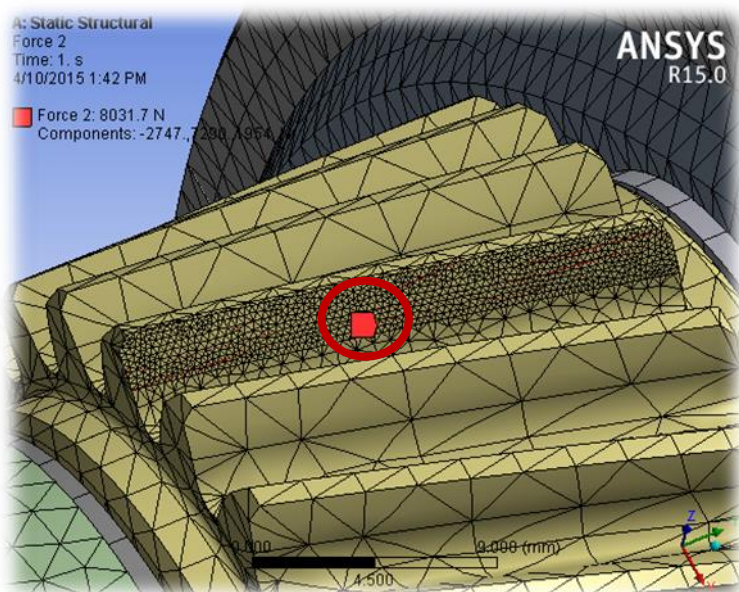


Рис. 5. Область приложения нагрузки

Следующий шаг – анализ деформации после нагружения. Деформации, представляющие собой производные перемещений по пространственным координатам, согласно терминологии теории упругости, называются кинематическими [1].

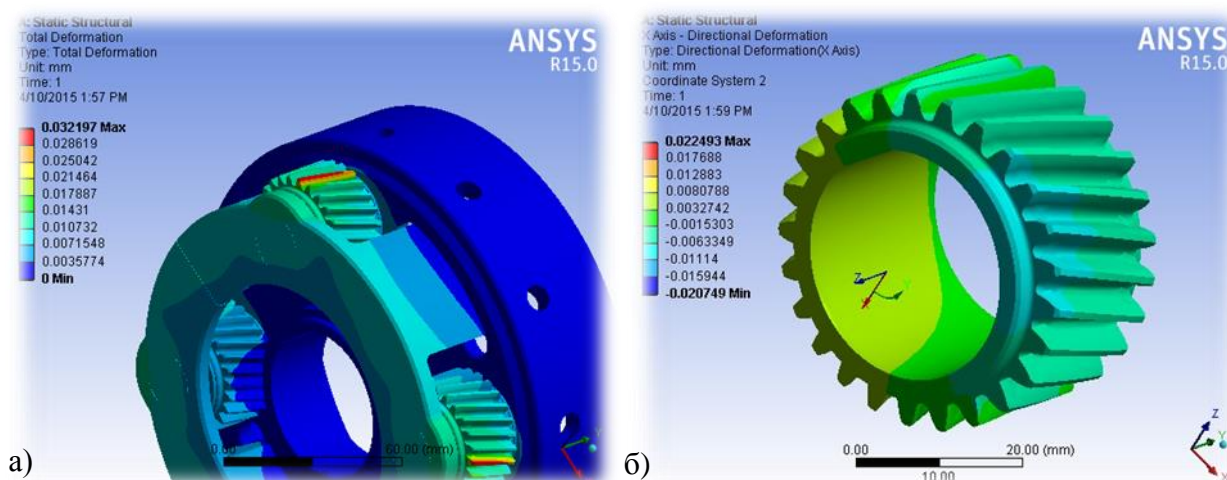


Рис. 6. Распределение суммарных перемещений [мм] (а); распределение радиальных перемещений в шестерне [мм] (б)

Далее закладывается критерий максимального напряжения по фон Мизесу (von Mises), основывается на теории Мизес-Хенки (Mises-Hencky), также известной как теория энергии формоизменения.

В исчислении главных напряжений  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  и  $\sigma_3$ , напряжение по Мизесу выражено как

$$\sigma_{vonMises} = \left( \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}{2} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (1)$$

Теория утверждает, что пластичный материал начинает повреждаться в местах, где напряжение по Мизесу становится равным предельному напряжению. В большинстве случаев предел текучести используется в качестве предельного напряжения. Однако программа позволяет использовать предельное растяжение или задавать свое собственное предельное напряжение.

$$\sigma_{vonMises} > \sigma_{предел} \quad (2)$$

Предел текучести - свойство, зависящее от температуры. Настоящая заданная величина предела текучести должна учитывать температуру компонента. Коэффициент запаса прочности в данном месте подсчитывается на основе коэффициента запаса прочности [1]:

$$[n] = \frac{\sigma_{предел}}{\sigma_{vonMises}}. \quad (3)$$

В случае чистого сдвига (среза)  $\tau$ , напряжение по фон Мизесу может быть выражено как

$$\sigma_{vonMises} = 3^{\frac{1}{2}} * \tau. \quad (4)$$

Разрушение появляется, если:

$$\tau_{max} = 0,577 * \sigma_{текуч.} * \tau. \quad (5)$$

Таким образом можно определить максимальное значение напряжения. Оно будет отображено на шкале Color Map [3].

На следующих рисунках (7-9) показаны распределение деформации и эквивалентное напряжение (10-12):

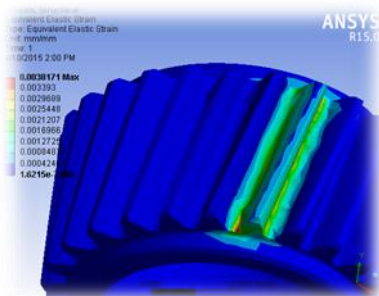


Рис. 7. Распределение деформаций (эквивалент)

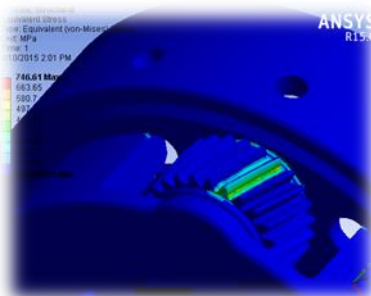


Рис. 8. Распределение эквивалентных напряжений (по Мизесу), МПа

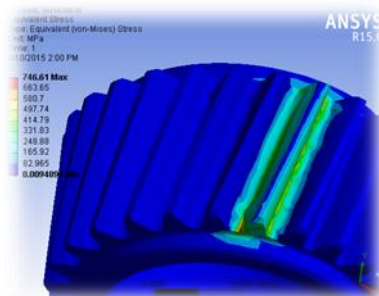


Рис. 9. Распределение эквивалентных напряжений (по Мизесу) в шестерне, МПа



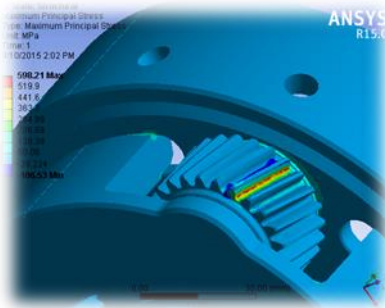


Рис. 10. Распределение первых главных напряжений ( $\sigma_1$ ), МПа

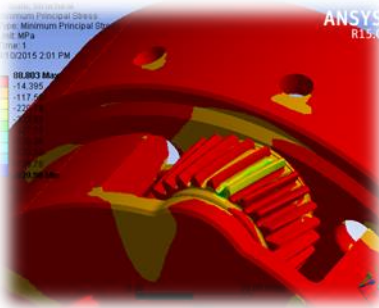


Рис. 11. Распределение третьих главных напряжений ( $\sigma_3$ ), МПа

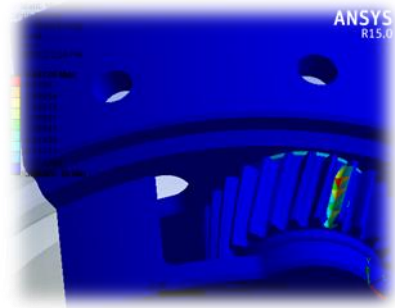


Рис. 12. Распределение энергии деформации

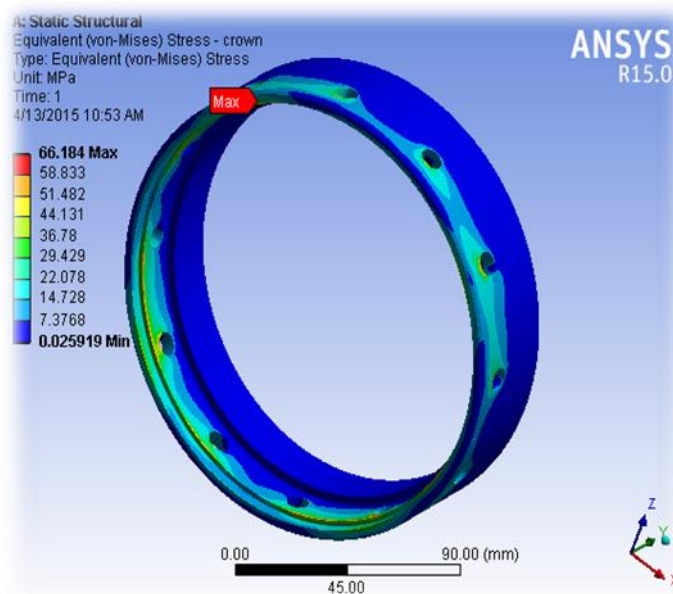


Рис. 13. Распределение эквивалентных напряжений (по Мизесу) в короне, при уменьшении внешнего радиуса дна 1 мм, МПа

На основании проведенных расчётов и сравнения механических свойств материалов деталей можно утверждать, что вычисленный уровень эквивалентных напряжений практически везде в конструкции не превышает значения предела упругости материала.

По результатам расчёта получено, что величины эквивалентных напряжений в области эпициклической шестерни превышают величину 10 МПа. Таким образом, это позволит провести уменьшение массы узла за счёт уменьшения толщины корпусных деталей. Так, при уменьшении внешнего радиуса детали “эпицикла” на 1 мм максимальные значения действующих напряжений не превышают 70 МПа (рисунок 13), что позволит произвести дальнейшую оптимизацию конструкции по массе.

Рекомендация по дальнейшей оптимизации конструкции водила по массовым и прочностным характеристикам:

- провести расчёт долговечности по нагрузочному спектру, проверить на сбалансированность конструкцию;
- оптимизировать конструкцию путем уменьшения толщин стен водила (левая и правая щека), сохранив жёсткостно-прочностные характеристики;
- оптимизировать конструкцию с целью достижения максимальных коэффициентов запаса за счет подбора оптимальных геометрических параметров шестерен, свойств материалов и технологии изготовления, а также добиться снижения массы шестерён.

#### Список литературы

1. Зенкевич О. Методы конечных элементов в технике. – М., 1975. 240 с.
2. Кудрявцев В.Н., Кирдяшев Ю.Н. и др. Планетарные передачи. Справочник. - Санкт-Петербург, 1977. 536 с.
3. Бруйка В.А. Инженерный анализ в Ansys Workbench. Учебное пособие. Часть 1, 2010. 271 с.
4. Бруйка В.А. Инженерный анализ ANSYS Workbench. Часть 2, 2013. 147 с.

## РАСЧЁТ ФЛАНЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ПРОЧНОСТЬ И ПЛОТНОСТЬ

В.М. Батизи

*Университет машиностроения (МАМИ)*

**Аннотация.** В данной работе представлена методика расчёта фланцевых соединений сосуда большого диаметра с уплотнениями, расположенными внутри болтовой окружности.

Рассматривается случай сопряжения цельного плоского фланца с тонкими цилиндрическими и сферическими оболочками (рис. 1). Авторы большинства работ на эту тему используют расчётные формулы, основанные на исследованиях С.П. Тимошенко, однако эти формулы в полной мере пригодны к сосудам малого диаметра, так как при выводе не учитывалось взаимное радиальное перемещение элементов фланцевого соединения под действием краевой поперечной силы. Это радиальное смещение обусловлено значительной податливостью уплотнительной прокладки на сдвиг.

**Ключевые слова.** фланцевые соединения, метод конечных элементов, прочность и плотность.

## CALCULATION OF FLANGE CONNECTIONS FOR STRENGTH AND DENSITY

V.M. Batisi

*University of mechanical engineering (MAMI)*

**Abstract.** In this paper the method for calculation of flange connections of large diameter vessel with seals, located inside bolt circle is presented.

The case of pairing one-piece flat flange with thin cylindrical and spherical shells (Fig. 1) is considered. The majority of works on this topic use the calculation formulas based on S. P. Timoshenko's researches. However, these formulas are fully suitable to vessels of small diameter, since the mutual radial movement of the elements of flange connections under the action of boundary shear force was not taken into account while making conclusion. This radial displacement is determined by significant yielding of the gasket on the shift.

**Key words:** flange connection, finite element method, strength and density.

В данной работе для сосудов большого диаметра указывается, что пренебрежение радиальным перемещением приводит к заметным погрешностям в расчёте напряжений. Решение проводилось методом конечных элементов и аналитическим методом.

Для аналитического метода в практических работах обычно принимается, что нагрузка болтов  $Q$  равномерно распределена по болтовой окружности диаметров  $D_1$  (рис. 1). Рабочая нагрузка в виде внутреннего давления уравнивается тремя силами:

1)  $P_1$  – осевой силой, действующей на соединение от давления рабочей среды, распределенной по средней окружности оболочки.

$$P_1 = 0,785 * D^2 * q. \quad (1)$$

2)  $P_2$  – минимальным усилием на прокладку, для сохранения герметичности.

$$P_2 = \pi * b * D_2 * x * q, \quad (2)$$

где  $b$  – эффективная ширина прокладки;

$x * q$  – удельное давление на контактную площадь прокладки;

$x$  – коэффициент, зависящий от типа прокладки и вида фланцевого соединения.

3)  $P_3$  – силой, действующей на кольцо между внутренним краем фланца и средним радиусом прокладки, распределенной по окружности диаметром  $D_3$ .

$$P_3 = 0,785 * (D_2^2 - D^2) * q. \quad (3)$$

Если нагрузку болтов  $Q$  и силы  $P_1, P_2, P_3$  заменить приведенной нагрузкой болтов  $Q_{np}$ , то деформация фланца не изменится, так как действие  $Q_{np}$  на фланец равноценно действию всех перечисленных выше составляющих сил. Величина приведенной нагрузки находится из условия, что ее момент равен моменту всех сил, приложенных к фланцу.

$$Q_{np} = \frac{P_1 * (D_1 - D_4) + P_2 * (D_1 - D_2) + P_3 * (D_1 - D_3)}{D_{н.ф.} - D}, \quad (4)$$

где  $D_{н.ф.}$  – расчётный наружный диаметр фланца.

Расчётный наружный диаметр фланца определяется с учетом снижения жесткости фланца отверстиями для болтов.

$$D_{н.ф.} = D_n * \frac{4 * D_1^2 - z * d_{отв.}^2}{4 * D_1^2 + z * d_{отв.}^2}, \quad (5)$$

где  $D_n$  – наружный диаметр кольца фланца;

$z$  – число отверстий для болтов;

$d_{отв.}$  – диаметр отверстия для болта [1].

Аналитический расчёт проведен для фланцевого соединения по методу сил. Расчётная схема представлена на рисунке 2, где  $X_1$  и  $X_2$  – искомые неизвестные – краевая поперечная сила и краевой изгибающий момент.

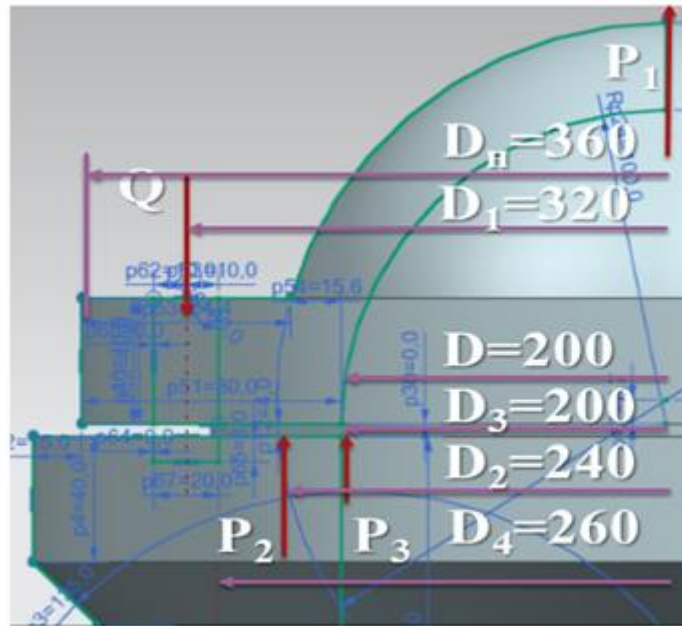


Рис. 1. Схема к расчету фланцевых соединений на изгибающий момент

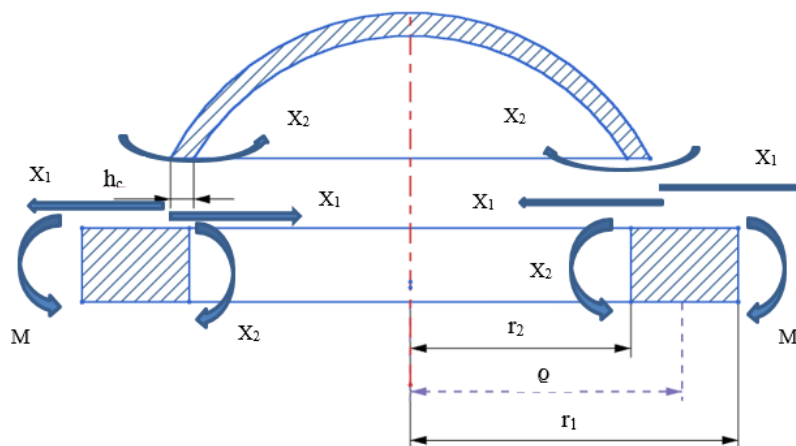


Рис. 2. Расчётная схема для фланца, жестко соединенного со сферической оболочкой

Для определения этих неизвестных составляем два канонических уравнения метода сил, выражающих равенство смещений и углов поворота фланца и оболочки в месте их стыка.

$$\delta_{11} * X_1 + \delta_{12} * X_2 + \Delta_{1p} = 0;$$

$$\delta_{21} * X_1 + \delta_{22} * X_2 + \Delta_{2p} = 0.$$

Вычислим коэффициенты системы, используя принцип независимости действия сил. Взаимное радиальное перемещение краев цилиндрической оболочки и кольца под действием единичного усилия определится следующей формулой:

$$\delta_{11} = \frac{1}{E} * \left( \frac{2 * k * r_2^2}{h_2} + \frac{3 * r_2 * q}{b * h_1} + \frac{r_2 * q}{F_1} \right), \quad (6)$$

где  $F_1$  – площадь сечения кольца;

$E$  – модуль упругости материала фланца и оболочки;

$k = \frac{\sqrt{3*(1-\mu^2)}}{\sqrt{r_2*h_2}}$  – геометрическая характеристика.

Для того, чтобы второе и третье слагаемые формулы (6) были описаны с одинаковой степенью точности, внутренний радиус кольца фланца заменен средним радиусом.

Взаимное радиальное смещение краев цилиндрической оболочки и кольца под действием единичного момента  $X_2 = I$  определяется формулой

$$\delta_{12} = \delta_{21} = -\frac{1}{E} * \left( \frac{2*k^2*r_2^2}{h_2} - \frac{6*r_2*\varrho}{h_1^2*b} \right). \quad (7)$$

Взаимный угол поворота краев цилиндрической оболочки и фланца под действием единичного момента  $X_2 = I$  определяется формулой

$$\delta_{22} = \frac{1}{E} * \left( \frac{4*k^3*r_2^2}{h_2} - \frac{12*r_2*\varrho}{h_1^3*b} \right). \quad (8)$$

Свободные члены канонической системы уравнений определяются по следующим формулам:

$$\Delta_{1p} = -\frac{6*M*r_2*\varrho}{E*h_1^2*b}; \quad (9)$$

$$\Delta_{2p} = -\frac{12*M*r_2*\varrho}{E*h_1^3*b}, \quad (10)$$

$\Delta_{1p}$  – относительное смещение краев фланца и оболочки;

$\Delta_{2p}$  – относительный угол поворота от момента  $M$ .

Решение системы уравнений метода сил для стыка цилиндрической оболочки и кольца представлено следующими формулами:

$$X_1 = \frac{\Delta_{2p}*\delta_{12} - \Delta_{1p}*\delta_{22}}{\delta_{11}*\delta_{22} - \delta_{12}^2}, \quad (11)$$

$$X_2 = \frac{\Delta_{1p}*\delta_{12} - \Delta_{2p}*\delta_{11}}{\delta_{11}*\delta_{22} - \delta_{12}^2}, \quad (12)$$

Для стыка фланца со сферической оболочкой коэффициенты системы уравнений метода сил определяются следующими формулами:

$$\delta_{11} = \frac{1}{E} * \left( \frac{2*k_1*r_2*\sin\varphi_0}{h_c} + \frac{3*r_2*\varrho}{h_1*b} + \frac{r_2*\varrho}{F_1} \right); \quad (13)$$

$$\delta_{12} = \delta_{21} = -\frac{1}{E} * \left( \frac{2*k_1^2*\sin\varphi_0}{h_c} + \frac{6*r_2*\varrho}{h_1^2*b} \right); \quad (14)$$

$$\delta_{22} = \frac{1}{E} * \left( \frac{4*k_1^3*\sin\varphi_0}{h_c*r_2} + \frac{12*r_2*\varrho}{h_1^3*b} \right), \quad (15)$$

где  $k_1 = \sqrt[4]{3*(1-\mu^2)*\frac{r_c}{h_c}}$ ,  $k_1 = \sqrt[4]{3*(1-\mu^2)*\frac{r_c}{h_c}}$ .

Свободные коэффициенты системы уравнений остаются прежними [2, 3].

Решение системы уравнений метода сил для стыка сферической оболочки и фланца представляется в несколько ином виде следующими формулами,

$$X_1 = \frac{2*M}{h_1} * K_1'; \quad (16)$$

$$X_2 = n_1 * K_2^1 * M, \quad (17)$$

где

$$K_2^1 = \frac{1+n_1}{A_1}; \quad (18)$$



$$K_2 = \frac{1 + 2 * n_1 + \frac{1}{m_1}}{A_1}; \quad (19)$$

$$M = \frac{\rho}{r} * Q'_{пр} * b - \quad (20)$$

это изгибающий момент на стыке оболочек с фланцем;

$\rho = \frac{D_{н.ф.} + D}{4}$  – средний радиус кольца фланца;

$Q'_{пр}$  – приведенная нагрузка болтов, равномерно распределенная по наружному краю фланца в кг/см;

$b = \frac{D_{н.ф.} - D}{2} b = \frac{D_{н.ф.} - D}{2}$  – ширина кольца фланца [4].

$$A = 1,33 + 2 * n + 2 * n + 2 * n^2 + 0,55 * n * m + 0,606 * \frac{n}{m}; \quad (21)$$

$$n = \frac{0,78 * \sqrt{r_2 * h_2}}{h_1};$$

$$m = \frac{h_1^2 * b}{h_2^2 * \rho};$$

$$n_1 = \frac{r_2}{h_1 * k_1};$$

$$m_1 = \frac{h_1^2 * b}{h_c^2 * \rho}.$$

Пример расчёта, проделанный в программе MATLAB R2014a

Постановка задачи:

Определить напряжения в элементах фланцевого соединения изготовленного из чугуна СЧ 28-48.

Рабочее давление 8 кг/см<sup>2</sup>; материал уплотнения – паронит; материал болтов – Ст. 3; болты М-20 в количестве 20 шт.

Решение:

а) Определение приведенного изгибающего момента,

Усилия  $P_1$ ,  $P_2$  и  $P_3$  по формулам (1-3):

$$P_1 = 251\,200 \text{ кг}; P_2 = \pi * b * D_2 * x * q = 3,14 * 4 * 240 * 1 * 8 = 24\,115 \text{ кг};$$

$$P_3 = 110\,528 \text{ кг}$$

Расчётный наружный диаметр фланца по формуле (5)

$$D_{н.ф.} = 346 \text{ см.}$$

Приведенная нагрузка болтов по формуле (4)

$$Q_{пр} = 207\,291,5 \text{ кг.}$$

Приведенный изгибающий момент по формуле (20)

$$M = 20\,655 \text{ кгсм/см.}$$

б) Находим вспомогательные величины и коэффициенты:

$$k = \frac{\sqrt[4]{3 * (1 - 0,25)^2}}{\sqrt{30 * 2}} = 0,1673 \text{ см}^{-1}; k = \frac{\sqrt[4]{3 * (1 - 0,25)^2}}{\sqrt{30 * 2}} = 0,1673 \text{ см}^{-1}; n = 1,506; n = 1,506; m$$

= 0,86

$A = 10,66; K_2 = 0,485$  по формуле (21 и 19);

$$K_1 = 0,235; K_4 = 0,145; K_5 = 0,027$$

в) Определение усилий и напряжений:

$$X_1 = 62,4 \text{ кг/см}; X_2 = 384 \text{ кгсм/см};$$

$X_1^q = 6,1 \text{ кг/см}; X_2^q = 3,4 \text{ кгсм/см}$   $X_1^q = 6,1 \frac{\text{кг}}{\text{см}}; X_2^q = 3,4 \text{ кгсм/см}$  по формулам (16-17).

Продольное (осевое) напряжение в основании оболочки

$$\sigma_y = \pm \frac{6 * X_2}{1 * h_2^2} \pm \frac{6 * X_2^q}{1 * h_2^2} + \frac{q * r}{2 * h_2} \dots \quad (22)$$

Первый и второй член в правой части формулы (22) – изгибные напряжения от краевых моментов  $X_2$  и  $X_2^q$ ; третий член учитывает действие только внутреннего давления и определяется по без моментной теории.

$$\sigma_y = \frac{6 * 384}{4} + \frac{6 * 3,4}{4} + \frac{8 * 30}{2 * 2} - 570 + 5 + 60 = 635 \text{ кг/см}^2.$$

Это напряжение должно быть умножено на коэффициент  $\varepsilon=0,72$ . Наибольшее окружное напряжение в тарелке фланца за счёт момента определяем следующим образом:

$$M_t = M - \left( X_2 + X_1 * \frac{h_1}{2} \right) = M * K_{t1} * \ln \frac{r_1}{r_2} \equiv \frac{b}{\rho};$$

$$\sigma_k = \frac{6 * K_t * M * \rho^2}{r * h_1^2 * b},$$

где  $K_t = [1 - (K_1 - + K_2)]$ .

К этому напряжению следует добавить напряжение от внутреннего давления и усилий  $X_1 X_1^q$ ;  $X_1^q X_1^q$ : [5]

$$\sigma_k' = \frac{q * r}{b} - \frac{X_1 * r}{F_1} + \frac{X_1^q * r}{F_1};$$

$$\sigma_k^1 = \frac{8 * 100}{82} - \frac{64,2 * 100}{82 * 4} + \frac{6,1 * 100}{82 * 4} = -7,95 \text{ кг/см}^2.$$

Приведенный выше аналитический расчёт уже позволяет сделать некоторые выводы о влиянии податливости уплотнения на напряжения в элементах фланца.

Для апробации аналитической методики и более детального изучения указанного влияния в данной работе поставлен численный эксперимент на базе метода конечных элементов в программе NX FEMAP v11.2. Сопоставление аналитических и численных результатов может позволить сделать некоторые общие выводы и дать рекомендации по уменьшению веса фланцевого соединения.

В соответствии с расчётной схемой разработана конечно элементная модель части сосуда с фланцевым соединением (рисунок 3).

КЭ модель построена для дискретного расположения болтов. Таким образом достигается адекватное сопряжение всех элементов фланцевого узла. Для сравнения предусмотрена вторая, идеализированная модель, где болтовые узлы устранены, а соединения по фланцевому кольцу считаются сплошным

идеализированным. Так как количество болтов велико, то замена этого дискретного соединения сплошным идеализированием вполне допустима.

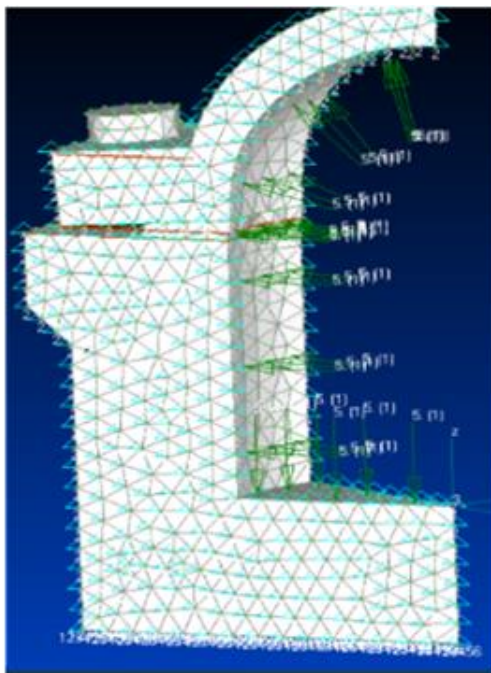


Рис. 3. Конечно элементная модель и граничные условия

Результаты расчёта сосуда давления по методу конечных элементов представлены на следующих рисунках:

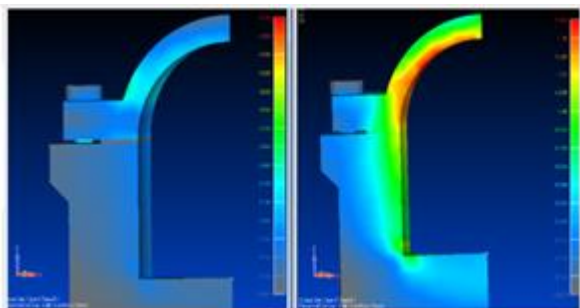


Рис. 4. Напряженное состояние фланцевого соединения

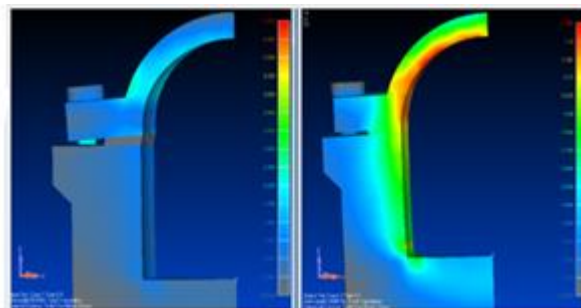


Рис. 5. Деформированное состояние фланцевого соединения

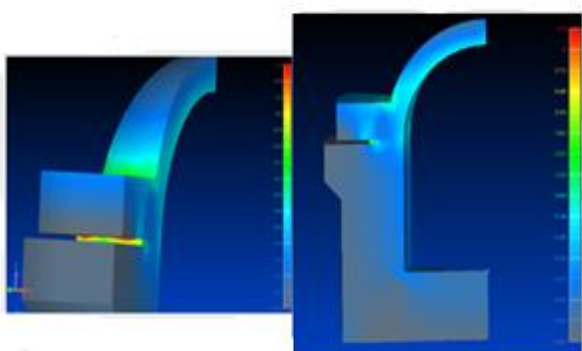


Рис. 6. Напряженное состояние узла

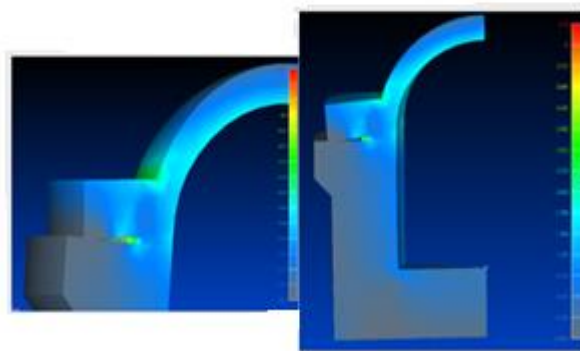


Рис. 7. Деформированное состояние

Рис. 4-7. Результаты расчета по МКЭ

Здесь изображена деформированная система и распределение напряжений по ее объему. Предусмотрены два варианта скрепления фланцевых отбортовок, а именно модель с болтовым скреплением и модель с его имитацией за счёт создания давления по отбортовке сферической оболочки. На первых рисунках представлены напряжения и деформации модели с болтовым соединением фланцев с двумя вариантами уплотнений – из паронита и из металла. На следующих рисунках представлены напряжения во второй модели только с паранитовым уплотнением.

Аналитический расчёт проводился с учетом влияния краевых силовых факторов на радиальное перемещение фланца за счёт податливости уплотнения. В конечно-элементном расчёте указанное перемещение и силовые факторы связаны естественным образом. Сравнение результатов по двум конечно-элементным моделям показывает, что сам болт является дополнительным элементом жесткости. Например, во второй модели, где болт искусственно устранен, деформативность сосуда значительно выше. То же самое касается и жесткости уплотнения. Из рисунков 4 и 5 следует, что податливое уплотнение значительно увеличивает напряженность и деформативность фланцевого узла в целом. Таким образом, пренебрежение податливостью уплотнения приводит к заметным неточностям. Об этом свидетельствуют и конечно-элементные и аналитические расчёты.

В существующих установках можно значительно уменьшить толщину оболочки за зоной влияния краевого эффекта. Зону же влияния краевого эффекта выполнить в виде конического утолщения с плавным переходом в месте стыка оболочки с тарелкой фланца. Учет конического утолщения был проделан в рамках разработанной модели методом конечных элементов. Аналогичный расчёт показал, что при определении краевых усилий, возникающих в месте стыка оболочки с тарелкой фланца, можно условно заменить коническое утолщение простым утолщением стенки, приняв приведенную расчётную толщину по таблице 1. Это обстоятельство позволяет значительно упростить аналитический расчёт с сохранением точности.

Согласно таблице 1, приведенная расчётная толщина оболочки

$$h_{рас} = h_2 + \gamma * h_{эм},$$

где  $\gamma$  – поправочный коэффициент зависящий от уклона втулки.

Таблица 1

Значение коэффициента $\gamma$			
Уклон втулки	$\gamma$		
1:6	0,8-1,0		
1:5	0,7-0,9		
1:4	0,6-0,85		
1:3	0,5-0,75		

1:2	0,3-0,6	
1:1	0,1-0,4	

#### Список литературы

1. Биргер, И.А. Расчёт резьбовых соединений / И.А. Биргер. М.: Оборонгиз, 1959. 252 с.
2. Бояршинов, С.В. Расчёт деталей, имеющих форму кольца, при произвольной осесимметричной нагрузке / С.В. Бояршинов. М.: Бюллетень научно-технической информации по гидромашиностроению, ВИГМ, 1958. №2.
3. Волошин, А.А. Расчёт фланцевых соединений трубопроводов и сосудов / А.А. Волошин. С-Пт.: Судпромгиз, 1959. 292 с.
4. Канторович, З.Б. Основы расчёта химических машин и аппаратов / З.Б. Канторович. М.: Машгиз, 1946. С. 68 и 75.
5. Тимошенко, С.П. Сопротивление материалов / С.П. Тимошенко. М.: Гостехиздат, 1946. том I. С. 163-167.

### ПОВЫШЕНИЕ ПРОХОДИМОСТИ ГУСЕНИЧНОГО СОРТИМЕНТОВОЗА

А.С. Войнаш, С.А. Войнаш

*Рубцовский индустриальный институт (филиал) ФГБОУ ВО "Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова"*

**Аннотация.** Предложено схемное решение по повышению проходимости груженого сортиментовоза при движении по малосвязным грунтам. Выполнена расчетная оценка давлений под опорными катками, подтверждающая эффективность предложенного решения.

**Ключевые слова:** гусеничный сортиментовоз, проходимость, удельные давления под опорными катками.

### INCREASING OF CROSS-COUNTRY ABILITY TRACK-TYPE SHORT LOG TRUCK

A.S. Voynash, S.A. Voynash

*Rubtsovsk Industrial Institute, branch of Altai State Technical University,  
Rubtsovsk, Russia*

**Summary:** Proposed circuitry to improve cross-country ability laden short log truck when driving on the easily deformable soils. The estimated pressure is made under the track rollers, confirming the effectiveness of the proposed solution.

**Keywords:** track-type short log truck, cross-country ability, pressure under track rollers.

В мире сейчас преобладают две технологии лесозаготовок: хлыстовая и сортиментная. Вторая экономически выгоднее: при ней производительность труда в 2,5 раза выше. Не случайно все европейские страны, и прежде всего северные, работают именно по этой технологии, известной как скандинавская. В России переход на прогрессивную скандинавскую технологию сдерживает отсутствие соответствующей техники отечественного производства, что обусловлено недостаточным вниманием в предшествующие периоды к теории и практике проектирования машин для сортиментной заготовки древесины.

Учитывая мощную лесозаготовительную базу в районах Сибири и Дальнего Востока, необходимо создавать в России технику, максимально приспособленную для работы в этих районах.

В настоящее время в Рубцовском индустриальном институте АлтГТУ им. И.И. Ползунова (РИИ АлтГТУ) при активном участии авторов ведется разработка нового лесотранспортного средства – трактора-сортиментовоза (форвардера) на базе манипуляторной трелевочной машины производства ОАО “Алтайское тракторостроительное объединение” [1...6].

Характерной особенностью эксплуатации гусеничных сортиментовозов является работа на лесной целине, в связи с чем достаточно актуальными являются вопросы проходимости.

В качестве одного из оценочных показателей проходимости лесозаготовительных машин широко применяется распределение удельных давлений на грунт под ходовым аппаратом: чем равномернее распределение удельных давлений по длине гусеницы, тем выше при прочих равных условиях проходимость. Расчеты давлений на грунт под опорными катками лесозаготовительных машин базируются на классическом методе, разработанном профессором С.Ф. Орловым [7]. С учетом компоновочных и эксплуатационных особенностей исследуемого сортиментовоза авторами в [6] были определены расчетные эпюры распределения давлений на грунт под опорными катками при грузовом и холостом ходах, рис. 1.

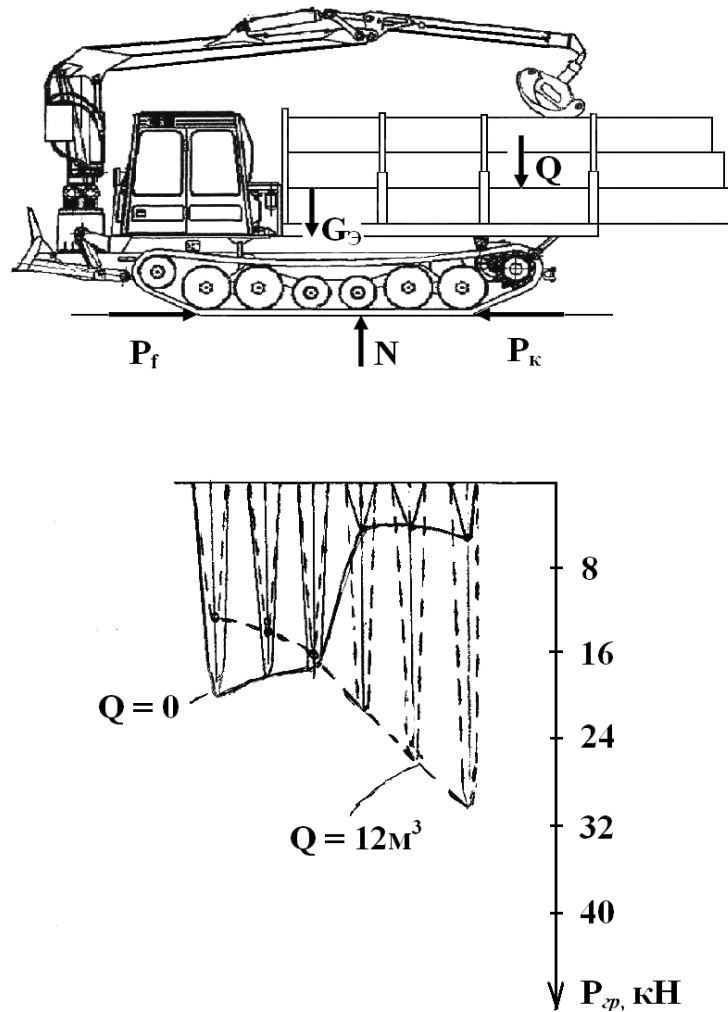


Рис.1. Расчетные эпюры распределения давлений на грунт под опорными катками одного борта

Эпюры давлений построены в масштабе сил, что не позволяет проводить количественную оценку проходимости по грунтам различной несущей способности по зависимости, предложенной специалистами ЦНИИМЭ:

$$(1,5...2,5) \cdot q_{cp} \leq q_{нес} , \quad (1)$$

где  $q_{cp}$  – среднее удельное давление, кПа;  $q_{нес}$  – несущая способность грунта, кПа.

Среднее удельное давление под каждым опорным катком можно определить по формуле:

$$q_{cp} = \frac{P_{zpi}}{b_{zyc} \cdot l_{oay}} , \quad (2)$$

где  $P_{zpi}$  – давление на грунт под  $i$ -м опорным катком, кН;  $b_{zyc}$  – ширина гусеницы;  $l_{oay}$  – длина опорно-активного участка гусеницы, соответствующего  $i$ -му опорному катку.

В ЦНИИМЭ (эксперименты Шлякова Г.В., Кузнецова А.П. и др.) установлено, что в серийных гусеничных лесопромышленных тракторах тягового класса 4 длина опорно-активных участков гусеницы может быть определена по формуле:

$$l_{oay} \approx 3 \cdot t_{2yc}, \quad (3)$$

где  $t_{2yc}$  – шаг гусеницы.

Расчеты средних удельных давлений на грунт под опорными катками гусеничного сортиментовоза показали, что максимальные значения при холостом ходе составляют  $q_{cp} = 81$  кПа (под передним опорным катком), а при грузовом ходе –  $q_{cp} = 121$  кПа (под задним опорным катком). Очевидно, что это значительно выше значений допустимых удельных давлений, подсчитанных для грунтов с несущей способностью  $q_{нес} = 50$  кПа (снежный покров) и  $q_{нес} = 70$  кПа (водонасыщенный грунт). При работе сортиментовоза на таких грунтах будет наблюдаться повышенное колееобразование, что может привести к потере проходимости машины, например, при посадке днищем на грунт после нескольких проходов по волоку из-за погружения опорного участка гусеницы машины на глубину, соизмеримую с дорожным просветом.

Для повышения проходимости сортиментовоза при работе на малосвязных грунтах предложено увеличить длину опорно-активных участков гусеницы, применив схемное решение по ограничению обратной прокачки звеньев гусеницы, изложенное в [8]. Предварительные расчеты показали, что для движителя со звеньями по патенту РФ № 2000238 длина опорно-активных участков гусеницы может быть определена по формуле:

$$l_{oay} \approx (4 \dots 5) t_{2yc}. \quad (4)$$

Достигаемое при этом снижение в 1,3...1,7 раза максимальных значений средних удельных давлений обеспечивает двух–трехкратный прирост числа проходов машины по волоку до посадки днищем на грунт, что практически снимает с повестки дня проблему проходимости сортиментовоза.

### **Выводы**

1. Проходимость гусеничного сортиментовоза существенно зависит как от эпюры удельных давлений на грунт, параметры которой (форма, численные значения удельных давлений под катками) определяются эксплуатационными условиями (рейсовой нагрузкой) и конструкцией движителя (расстановкой опорных катков, шагом гусеницы), так и состоянием поверхности движения (несущей способностью грунта).

2. Значительное улучшение проходимости сортиментовоза при работе на малосвязных грунтах может быть достигнуто применением гусеницы по патенту РФ № 2000238 с ограничением обратной прокачки звеньев: число проходов машины по волоку до посадки днищем на грунт возрастает в 2...3 раза.

### **Список литературы**

1. Войнаш А.С. Гусеничный форвардер с системой пакетной выгрузки лесоматериалов / А.С. Войнаш, С.А. Войнаш // Строительные и дорожные машины. – 2012. – №9. – С. 13-16.



2. Войнаш А.С. Метод исследования эксплуатационных режимов трактора-сортиментовоза / А.С. Войнаш, С.А. Войнаш // Тракторы и сельхозмашины. – 2011. – №5. – С. 27-28.

3. Войнаш А.С. Исследование влияния рейсовой нагрузки на проходимость гусеничного сортиментовоза / А.С. Войнаш, С.А. Войнаш // Известия вузов. Лесной журнал. – 2011. – №5. – С. 47-53.

4. Войнаш А.С. О выборе типа сортиментовоза / А.С. Войнаш, С.А. Войнаш // Известия ВолгГТУ: межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – №12. – С. 15-17. (Сер. Наземные транспортные системы. Вып. 4).

5. Войнаш А.С. Повышение проходимости гусеничного сортиментовоза при грузовом ходе / А.С. Войнаш, С.А. Войнаш // Известия ВолгГТУ: межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2014. – №19 (146). – С. 10-13. (Сер. Наземные транспортные системы. Вып. 9).

6. Войнаш А.С. Обеспечение экологичности техники для леса / А.С. Войнаш, С.А. Войнаш // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сборник научных трудов по материалам Всероссийская научно-практическая конференция «Лесной комплекс России: актуальные проблемы и стратегии развития», 15-17 апреля 2015 г. – Воронеж: ВГЛТА, 2015. – № 2, ч.2 (13-2). – С. 198-202.

7. Орлов С.Ф. Теория и применение агрегатных машин на лесозаготовках. – М.: Гослесбумиздат, 1963. – 271 с.

8. Патент № 2000238 РФ, МПК В 62 D 55/20. Гусеница транспортного средства / Бабич Ю.Г., Войнаш А.С. – Оpubл. 07.09.93. Бюл. №14.

## **ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ СОРТИМЕНТНОЙ ЗАГОТОВКЕ ДРЕВЕСИНЫ В РАЙОНАХ СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА**

А.С. Войнаш, С.А. Войнаш

*Рубцовский индустриальный институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский  
государственный технический университет им. И.И. Ползунова»,  
г. Рубцовск, Россия*

**Аннотация.** Предложена технология подвозки и вывозки сортиментов по методу единого транспортного пакета. Рассмотрена конструкция самосвального гусеничного сортиментовоза для такой технологии.

**Ключевые слова:** гусеничный сортиментовоз, самосвальная разгрузка, энергосбережение, единый транспортный пакет.

## **ENERGY CONSERVATION IN ASSORTIMENT LOGGING SIBERIA AND THE FAR EAST**

A.S. Voynash, S.A. Voynash

*Rubtsovsk Industrial Institute, branch of Altai State Technical University,  
Rubtsovsk, Russia*

**Summary:** The technology of transportation and hauling logs on the method of a single transport packet. The design of the tipper tracked track-type short log truck for such technology.

**Keywords:** track-type short log truck, cross-country ability, energy, a single transport packet.

В последние годы в России активно внедряется технология сортиментной заготовки древесины. С целью импортозамещения отечественные производители лесозаготовительной техники приступили к созданию и выпуску машин, обладающих возможностью движения в тяжелых почвенно-климатических условиях, характерных для лесозаготовительного производства в районах Сибири и Дальнего Востока.

Бывшим ОАО “Алтайское тракторостроительное объединение” (г. Рубцовск Алтайского края) был разработан гусеничный сортиментовоз ЛЗ-5, обладающий повышенными рейсовыми нагрузками и улучшенной маневренностью. Силовая установка и силовая передача сортиментовоза ЛЗ-5 заимствованы у трелевочной машины тягового класса 4, а число опорных катков по борту доведено до шести, что позволило повысить грузоподъемность шасси.

Испытания показали, что рабочий процесс сортиментовоза ЛЗ-5 сопровождается значительным количеством переместительных операций, совершаемых в вертикальном направлении в поле гравитации. При погрузке каждый сортимент должен быть поднят гидроманипулятором с опорной поверхности на высоту не менее двух метров, а затем уложен в грузовую платформу сортиментовоза. На верхнем складе стрелеванные сортименты подлежат перегрузке на лесовозные автомобили для последующей вывозки. При этом выполняется штучная или микропачками разгрузка сортиментов с грузовой платформы при помощи гидроманипулятора. Так как одной рейсовой нагрузки (примерно 10...12 м<sup>3</sup>) сортиментовоза недостаточно для полной загрузки лесовозного автомобиля, то применяется разгрузка сортиментов на грунт для их временного штабелирования с целью создания на верхнем складе достаточного запаса древесины.

Очевидно, что дальнейшее развитие техники и технологии лесозаготовок должно проходить в направлении энергосбережения за счет снижения объема переместительных операций типа “подъем-опускание сортиментов”.

Так, определенного снижения энергоемкости рабочего процесса можно достичь, если приспособить гусеничный сортиментовоз к пакетной разгрузке сортиментов, например, самосвальным методом [1]. Проблема решена авторами на патентном уровне: предложен ряд оригинальных конструкций гусеничных сортиментовозов самосвального типа (патенты РФ №№ 91251, 2418695, 2461472).

Изучение опыта смежных отраслей показало, что при транспортировке грузов прогрессивным организационно-техническим решением является применение метода так называемого единого транспортного пакета, основанного на использовании возвратной тары в виде большегрузных контейнеров и системы “мультилифт”. Авторами проанализирована

возможность использования при подвозке и вывозке заготовленной древесины единого транспортного пакета сортиментов, формируемого на лесосеке и передаваемого на верхнем складе автомобилям-лесовозам для дальнейшей транспортировки на нижний склад. Такая технология может быть реализована путем приспособления грузовой платформы сортиментовоза самосвального типа к транспортировке и самосвальной разгрузке на грунт специального съемного контейнера, служащего для размещения и закрепления в нем сортиментов. Предложенное авторами решение, оформленное в виде заявки на предполагаемое изобретение [2], представлено на рис.1.

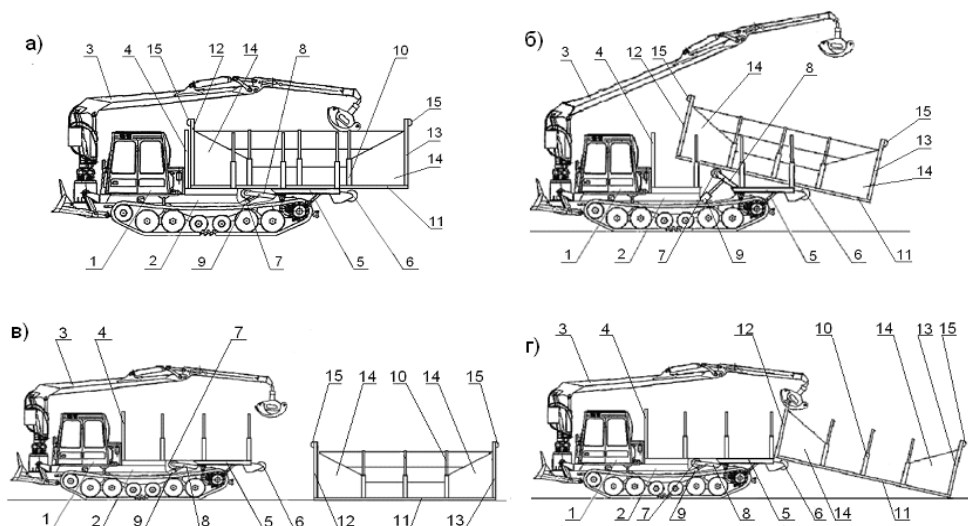


Рис. 1. Общий вид гусеничного сортиментовоза по заявке [2]:

а – при грузовом ходе, б – при самосвальной разгрузке съемного контейнера с пакетом сортиментов, в – после самосвальной разгрузки на грунт съемного контейнера с пакетом сортиментов, г – при загрузке съемного контейнера на грузовую платформу перед выполнением холостого хода

Сортиментовоз содержит гусеничное шасси 1 манипуляторной машины повышенной грузоподъемности с остовом 2, в передней части которого размещен манипулятор 3 со стрелой и грузозахватным органом, а в средней и задней частях – размещена грузовая платформа 4. Рама 5 грузовой платформы 4 снабжена роликом 6, установленным в горизонтальной плоскости перпендикулярно продольной оси рамы 5, причем его ось неподвижно закреплена в задней части рамы платформы 4 так, что наружная поверхность качения ролика 6 расположена ниже верхней плоскости рамы 5 платформы 4. В центральной части грузовой платформы 4 размещен ролик 7, установленный в горизонтальной плоскости перпендикулярно продольной оси рамы 5, при этом ось ролика 7 закреплена на рамке 8, снабженной гидроприводом поворота и установленной шарнирно на остова 2 шасси 1. Гидропривод поворота рамки 8 выполнен в виде нескольких (установленных параллельно) гидроцилиндров 9, одни концы которых закреплены на остова 2 шасси 1, а другие – прикреплены к рамке 8. Грузовая платформа 4 снабжена съемным контейнером 10, имеющим днище 11, на котором установлены передняя 12 и задняя 13 стенки, связанные с

днищем 11 ребрами жесткости 14. На наружных поверхностях стенок 12 и 13 закреплены скобы 15.

Сортиментовоз работает следующим образом.

При погрузке сортиментов и грузовом ходе сортиментовоза рамка 8 находится в крайнем горизонтальном положении (штоки гидроцилиндров 9 втянуты). Съёмный контейнер 10 установлен на верхнюю плоскость рамы 5 грузовой платформы 4 и не касается наружной поверхности качения ролика 6. Манипулятором 3 осуществляется погрузка сортиментов в контейнер 10.

При разгрузке на грунт съёмного контейнера 10 с пакетом сортиментов рамка 8 поворачивается гидроприводом в продольной вертикальной плоскости (штоки гидроцилиндров 9 вытягиваются). Ролик 7 получает вертикальное перемещение над верхней плоскостью рамы 5 платформы 4 и приподнимает над ней переднюю часть контейнера 10 с пакетом сортиментов. В результате наклона контейнера 10 относительно опорной поверхности сортиментовоза, задняя часть днища 11 контейнера 10 взаимодействует с внешней поверхностью качения ролика 6, благодаря чему создаются условия для самосвальной разгрузки контейнера 10 с пакетом сортиментов. Ролики 6 и 7 обеспечивают эффективность самосвальной разгрузки, снижая потребный угол наклона контейнера 10 за счет трения качения днища 11. Задняя стенка 13 удерживает сортименты в контейнере 10. Самосвальная разгрузка завершается выездом сортиментовоза из-под разгружаемого контейнера 10 с пакетом сортиментов.

Последующая погрузка контейнера 10 с пакетом сортиментов с грунта на лесовозный автомобиль осуществляется по принципу “мультилифт” с использованием скоб 15.

Перед выполнением холостого хода сортиментовоза производится загрузка съёмного контейнера 10 на грузовую платформу 4 с использованием скоб 15 и грузозахватного органа манипулятора 3.

Результаты предварительных расчетов энергозатрат в  $\text{кДж/м}^3$  при транспортировке сортиментов по различным технологическим схемам представлены графически на рис.2.

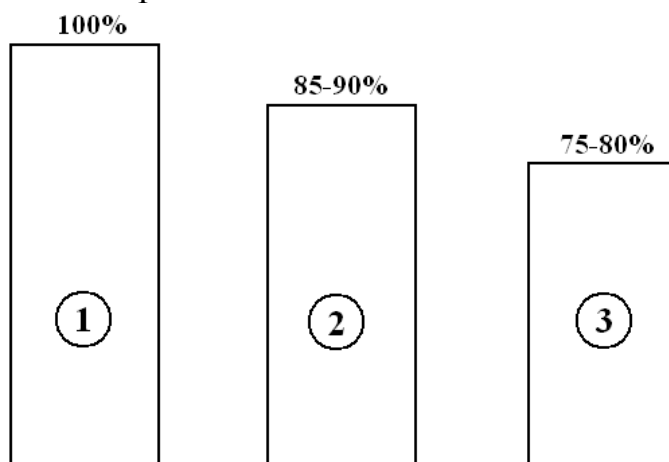


Рис. 2. Сравнительные затраты энергии на транспортировку сортиментов: 1 – по традиционной технологии; 2 – при самосвальной пакетной разгрузке; 3 – при использовании метода единого транспортного пакета

Одновременно со снижением энергозатрат предлагаемые инновационные решения по самосвальной пакетной разгрузке сортиментов и методу единого транспортного пакета позволяют улучшить условия труда персонала и повысить надежность гидроманипуляторного оборудования сортиментовозов.

#### Список литературы

1. Войнаш, А.С. Гусеничный форвардер с системой пакетной выгрузки лесоматериалов / А.С. Войнаш, С.А. Войнаш // Строительные и дорожные машины. – 2012. – № 9. – С. 13-16.

2. Заявка от 22.05.2012г. № 2012121021/11 (031813) РФ на предполагаемое изобретение “Сортиментовоз”, авторы А.С. Войнаш, С.А. Войнаш. Опубл. 20.09.2012 г. Бюл. № 26.

### НАЧАЛО МАССОВОГО ПРОИЗВОДСТВА АВТОМОБИЛЕЙ В СССР

А.М. Глёмин, Ф.П. Мельников, А.М. Третьяков

*Бийский технологический институт (филиал) АлтГТУ*

**Аннотация.** После окончания гражданской войны было положено начало развитию отечественного автомобилестроения. Интенсивное развитие автомобильного транспорта в СССР началось с 30-х гг., когда вступили в действие Горьковский автомобильный завод и реконструированный завод АМО (ЗиС), позже Московский автомобильный завод имени Лихачева. Развитие автомобильной промышленности продолжалось и в годы войны: были пущены Ульяновский и Уральский автомобильные заводы.

**Ключевые слова.** Автомобильная промышленность, производство автомобилей, автомобильные заводы.

### START OF MASS PRODUCTION OF CARS IN THE USSR

A.M. Glemin, F.P. Melnikov, A.M. Tretyakov

*Biysk technological Institute (branch) Altai state technical University*

**Abstract.** After the civil war was the beginning of the development of the domestic automotive industry. Intensive development of motor transport in the USSR began with the 30-ies, when entered into force the Gorky automobile plant and the plant reconstructed AMO (ZIS), later the Moscow automobile plant named after Likhachev. The development of the automotive industry continued during the war: were put Ulyanovsk and Ural automobile plants.

**Key words.** The automotive industry, car production, automobile plant.

Советский Союз к 1990 г. занимал восьмое место в мире по производству легковых автомобилей, четвертое место – по производству грузовых и первое – по производству автобусов.

Интенсивное развитие автомобильного транспорта, характеризующееся высокими темпами роста объемов грузовых и пассажирских перевозок, началось с 30-х гг., когда было налажено массовое производство грузовых автомобилей в Нижнем Новгороде, Ярославле и Москве [1].

Автомобильный парк России был незначительным и весьма

разномарочным. В 1921 г. в стране насчитывалось около 21 тыс. автомобилей и мотоциклов. Доля отечественных машин не превышала 10%. Автомобили в Россию поставляли приблизительно 30 стран. Массовому импорту способствовала низкая пошлина на ввоз готовых автомобилей и весьма высокая – на ввоз комплектующих изделий и материалов. Использовались эти автомобили в основном как персональные, почтовые, такси, пожарные. Значительная их часть была в армии.

До 1924 г. автомобильной промышленности в стране практически не было. Определенных результатов в ее становлении добился Русско-Балтийский вагонный завод в Риге, который вначале производил сборку легковых автомобилей «Руссо-Балт» из импортных узлов и деталей, а затем перешел на выпуск автомобилей из деталей и узлов собственного производства. Всего с 1909 по 1915 гг. их было произведено около 1100 автомобилей.

В период Первой мировой войны было начато строительство шести автомобильных заводов (в том числе АМО в Москве и завод В.А. Лебедева в Ярославле), но до Великой Октябрьской социалистической революции они не были полностью достроены.

После окончания гражданской войны было положено начало развитию отечественного автомобилестроения: в 1924 г. заводом АМО были выпущены первые 10 грузовых автомобилей АМО-Ф15. В 1925 г. начался выпуск грузовых автомобилей на Ярославском автомобильном заводе (ЯАЗ). Производство первых советских автомобилей (НАМИ-1) собственной конструкции было организовано в 1927 г. на московском заводе «Спартак».

Интенсивное развитие автомобильной промышленности в Советском Союзе относится к 1931–32 гг., когда вступили в действие вновь построенный Горьковский автомобильный завод (ГАЗ) и реконструированный завод АМО – с 1934 г. завод имени Сталина (ЗиС), позже Московский автомобильный завод имени Лихачева (АМО ЗиЛ). В те годы на них было организовано массовое производство таких широко известных уже до Великой Отечественной войны грузовых автомобилей, как ГАЗ-АА и ЗиС-5.

С 1932 г. ГАЗ приступил к производству легковых автомобилей ГАЗ-А. В 1933 г. завод «Красный путиловец» в Ленинграде выпустил небольшую партию семиместных автомобилей Л-1.

С 1940 г. на заводе КИМ, впоследствии Московский завод малолитражных автомобилей (МЗМА), затем завод имени Ленинского комсомола (АЗЛК), было начато производство малолитражных автомобилей КИМ-10.

К 1937 г. отечественными заводами было выпущено более 180 тыс. грузовых автомобилей, в результате чего СССР по их производству вышел на первое место в Европе.

В годы Великой Отечественной войны на заводах ГАЗ, ЗиС, а позднее и на МАЗе собирались американские грузовики, поставляемые по ленд-лизу.

Развитие автомобильной промышленности продолжалось и в годы войны. Были пущены Ульяновский и Уральский автомобильные заводы, первоначально выпускавшие автомобили ГАЗ-67 (г. Ульяновск) и УралЗиС-5 (г. Миасс). Затем УАЗ стал крупнейшим предприятием по выпуску грузовых и

грузопассажирских автомобилей малой грузоподъемности с колесными формулами 4×2 и 4×4, а также легковых автомобилей повышенной проходимости, а УралАЗ – трехосных грузовых автомобилей 6×6 и 6×4.

Опыт, который приобрели наши автомобилисты в годы войны, эксплуатируя в труднейших условиях автомобили десятков разных типов и моделей, позволил не только объективно оценить те или иные конструктивные решения, но уже во второй половине войны заняться разработкой новых отечественных конструкций, в том числе армейских автомобилей, которые после победы вскоре были запущены в серию.

#### Литература

1. Глёмин, А.М. История отечественного автомобилестроения: учебное пособие / А.М. Глёмин, Ф.П. Мельников, А.М. Третьяков. – Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2013. – 162 с.

### **ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ НА ОБЗОРНОСТЬ ВОДИТЕЛЯ**

В.А. Камерлохер, Т.В. Солонникова, А.А. Беляева

*Филиал Южно-Уральского государственного университета (НИУ) в г. Миассе*

**Аннотация.** Капотные кабины постепенно выходят из употребления. Бескапотные кабины позволяют значительно увеличить длину грузовой платформы, обеспечить хорошую обзорность для водителя. Для обзора водителя в кабине устанавливаются: лобовое стекло, боковые стекла. При увеличении скорости движения область обзора существенно уменьшается.

**Ключевые слова:** скорость, грузовой автомобиль, кабина, лобовое стекло, боковое стекло, бескапотная кабина, обзор водителя, ДТП.

### **EFFECTS OF SPEED TRUCKS FOR DRIVER VISIBILITY**

V.A. Kamerlokher, T.V. Solonnikova, A.A. Belyaeva

*Branch of the South Ural State University (NRU) in Miass*

**Annotation.** The bonneted cab gradually fell out of use. Cabover cab can significantly increase the length of the loading platform, ensure good visibility for the driver. For an overview of the driver in the cab is equipped with: windscreen, side windows. By increasing the speed of the field of view is significantly reduced.

**Keywords:** speed, truck, cab, windscreen, side window, cabover cab, overview of the driver, accident.

Капотные кабины постепенно выходят из употребления. Более прогрессивные – бескапотные кабины расположены над двигателем, что позволяет значительно увеличить длину грузовой платформы, обеспечить хорошую обзорность для водителя и улучшить доступ к двигателю и другим агрегатам, расположенным под кабиной (рис. 1).



а) капотный тип кабины;



б) бескапотный тип кабины

Рис. 1. Капотный и бескапотный тип кабин грузовых автомобилей

Термин «скорость» используют в науке и в широком смысле, понимая под ним быстроту изменения какой-либо величины в зависимости от другой (чаще подразумеваются изменения во времени, но также в пространстве или любой другой).

Техническая скорость – это средняя скорость за время нахождения автомобиля в движении. Значение величины технической скорости зависит от технического состояния автомобиля, состояния и профиля дороги, интенсивности движения на маршрутах грузоперевозок. Умение выбрать наиболее рациональный режим движения с учетом перечисленных факторов зависит от квалификации водителя.

По состоянию на 1 января 2013 года парк автомобильной техники в России насчитывал 47,9 млн. единиц. На долю легковых автомобилей приходилось почти 81% от всего парка (рис. 2), что соответствовало 38,8 млн. единиц. Около 12% в общероссийском парке приходилось на грузовые автомобили (5,7 млн. шт.). Автобусам принадлежало 2,5% (0,9 млн. шт.). Также в стране насчитывалось и 2,5 млн. единиц мототранспорта (доля – 5,5%).



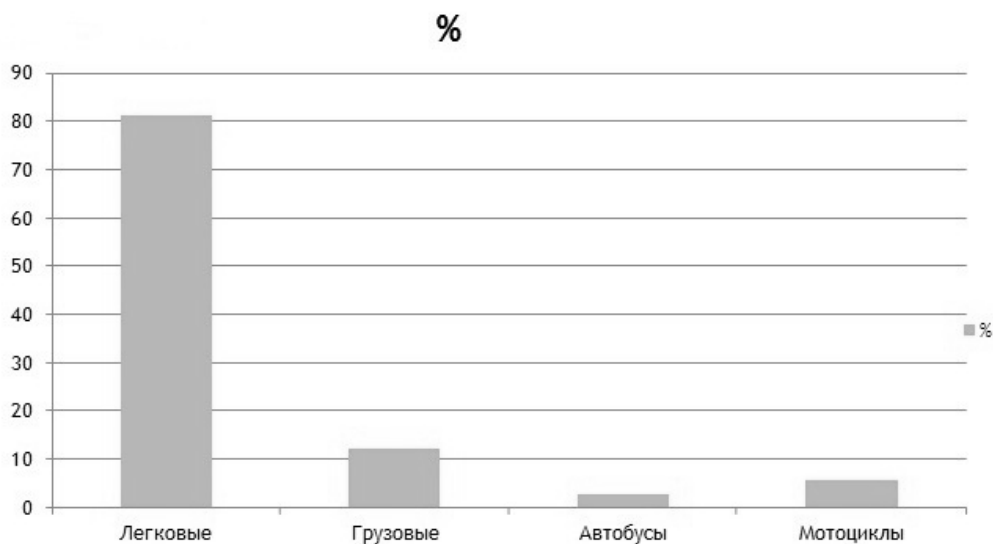


Рис. 2. Парк автомобильной техники в России

Более всего грузовые автомобили обожаемы жителями маленькой Финляндии: семьдесят пять грузовиков на тысячу жителей. Менее всего из выборки стран в Беларуси и Азербайджане: всего лишь по десять грузовиков. США и Германия оказались в середине: по двадцать девять грузовиков на тысячу человек населения. Россия обошла как Германию, так и США с результатом тридцать восемь грузовых автомобилей (рис. 3) на тысячу человек. По процентному соотношению грузовых и легковых автомобилей, можно выделить так называемые «страны-труженики», к числу которых относится Россия. Из общего автомобильного парка двадцать процентов приходится на грузовые автомобили, такое же соотношение в Польше. Меньше всего грузовых автомобилей в процентном отношении к общему количеству в США и Германии.

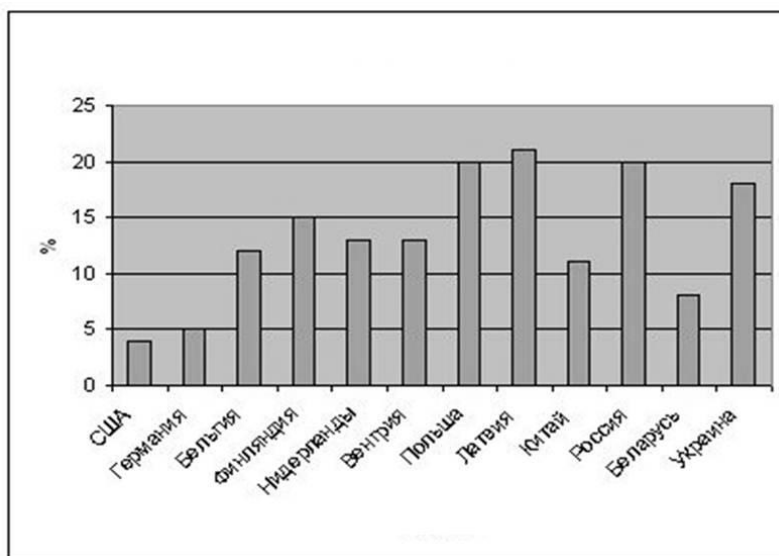


Рис. 3. Количество грузовых автомобилей в % от общего парка автомобилей

### Обзор водителя автомобиля

Для обзора водителя в кабине устанавливаются: лобовое стекло, боковые стекла. Лобовое стекло или ветровое стекло – прозрачный щиток, устанавливаемый перед кабиной транспортного средства для защиты водителя и пассажиров от набегающего потока воздуха, мусора, насекомых и т.п. Кроме того, лобовое стекло – элемент, вносящий значительный вклад в формирование аэродинамического обтекания автомобиля, а конструкция его проема оказывает весомое влияние на жесткость кузова автомобиля в целом.

Боковое стекло необходимо автомобилю настолько же, насколько необходимо и лобовое. Ведь боковое стекло автомобиля осуществляет те же защитные функции, что и все остальные стекла. Боковое стекло не такое прочное, как лобовое, но при разрушении под внешним давлением оно рассыпается на множество мелких осколков, специально для того, чтобы не поранить водителя и пассажиров.

### **Обзор водителя передней части автомобиля**

Установить стекло лобовое грузовое качественно – значит обеспечить должный уровень видимости, безопасности, а также жесткости кабины. Одним из ключевых моментов в безопасности движения является обзорность места водителя, поэтому грузовые автомобили имеют широкие лобовые (ветровые) стекла. Только в грузовых автомобилях можно встретить дверь, в которой как сверху, так и снизу присутствует стекло. Стекло в нижней части двери грузовика – это дополнительный обзор для водителя. Большая площадь остекления автомобиля позволяет более точно оценивать происходящее снаружи. По международным стандартам, лобовые (ветровые) и боковые стекла имеют разные параметры. Боковые автостекла – это закаленное стекло (сталинит), которое при разбитии разлетается на мелкие фрагменты не более 5 мм, которые, в отличие от крупных осколков, не смогут нанести водителю серьезных травм.

Лобовое (ветровое) стекло несет другую функцию, и технология производства такого стекла другая – триплекс. Лобовое стекло должно защищать водителя от мелких предметов, которые могут залететь в кабину при движении и нанести травму водителю автомобиля. Лобовое, оно же ветровое стекло состоит из двух полированных стекол, между которыми находится поливинилбутиральная пленка, поэтому при ударе оно не рассыпается, а покрывается мелкими трещинами.

Угол наклона лобового стекла составляет 0-22°.

### **Обзор водителя задней части автомобиля**

Прежде чем начинать любое движение в автомобиле, необходимо грамотно занять рабочее место водителя. Впоследствии, при маневрировании, особенно на скорости, водитель не раз почувствует принципиальное значение правильной посадки, т.к. она позволяет в полной мере ощущать автомобиль, действующие на него силы.

После того, как водитель занял оптимальную позицию и убрал все лишнее, можно отрегулировать зеркала. В боковые зеркала необходимо свободно осматривать дорогу сзади и видеть небольшой фрагмент собственного автомобиля. Видимый фрагмент автомобиля не должен быть большим, чтобы

не занимать много места в зеркале, но его наличие обязательно – это позволяет привязать изображение в пространстве, чтобы при беглом взгляде водитель не заблудился.

### **Влияние скорости на область обзора водителя**

При увеличении скорости движения область обзора существенно уменьшается. Таким образом, высокая скорость в городских условиях не дает водителю возможность правильно спрогнозировать ситуацию, потому что он не видит окружающую обстановку (рис. 4).

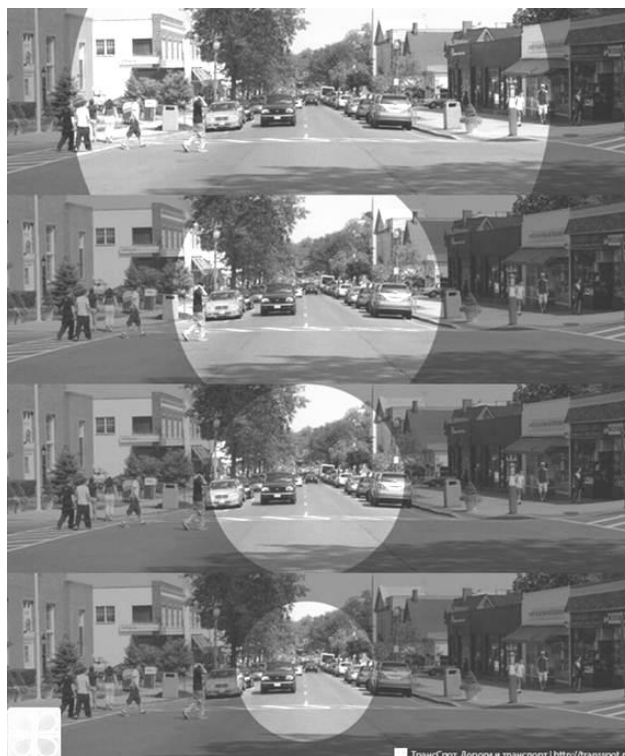


Рис. 4. Влияние скорости на область обзора водителя

На скорости 40 км/ч угол обзора водителя составляет 100 градусов. Это позволяет видеть препятствия на дороге, а также оценивать ситуацию справа и слева от дороги. На скорости 130 км/ч угол обзора составляет 30 градусов и менее, что значительно снижает возможность оценки водителем потенциальной опасности.

### **Скорость и вероятность ДТП**

Рассмотрим тормозной путь автомобиля. Длину тормозного пути можно рассчитать, зная время реакции водителя и длину тормозного пути после нажатия на тормоз.

Среднее время реакции составляет 1 секунду. При увеличении скорости движения увеличивается и пройденное за 1 секунду расстояние. Расстояние, пройденное с момента нажатия педали до полной остановки, пропорционально квадрату скорости. При увеличении скорости с 50 до 80 км/ч тормозной путь увеличивается в 2 раза. Соответственно, избежать столкновения намного тяжелее.

Необходимо также учитывать, что на сыром асфальте тормозной путь увеличивается на 25%. То есть тормозной путь автомобиля с 60 км/ч на сыром асфальте будет равен тормозному пути на 70 км/ч на сухом асфальте.

### Влияние неоднородности скорости на ДТП

Неоднородность скорости в транспортном потоке приводит к увеличению количества обгонов и, как следствие, более высокому уровню рисков. Высокий разброс скоростей тесно связан с авариями со смертельным исходом на всех дорогах – городских и загородных.

Чаще всего снижение скорости приводит к снижению неоднородности скоростей в потоке.

Частота аварий вырастает на 10-15% при превышении средней скорости на 1 км/ч. При превышении средней скорости потока на 10 и более км/ч количество аварий начинает резко расти для городских дорог (рис. 5). Для загородных дорог рост количества аварий не настолько критичен.

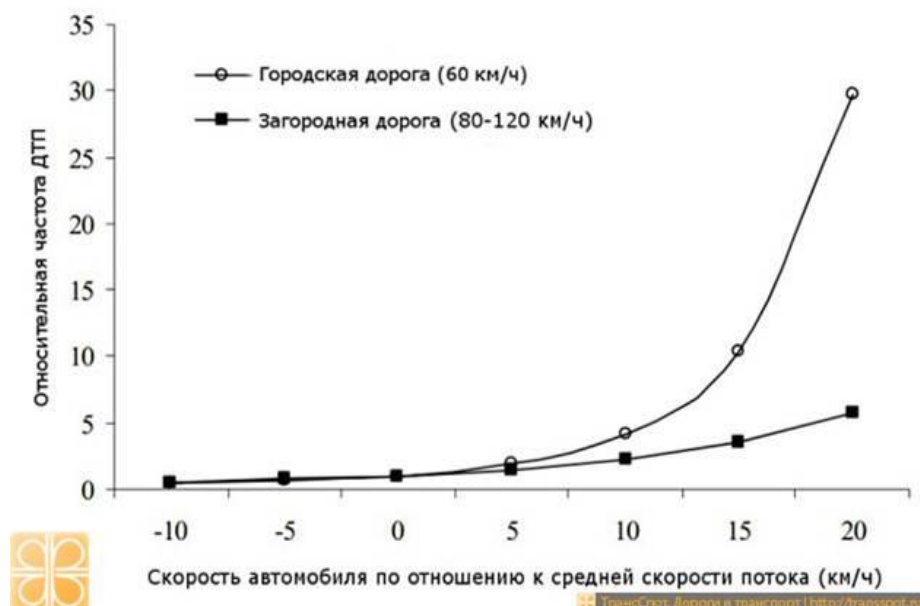


Рис. 5. Зависимость количества ДТП от скорости автомобиля

Из рисунка видно, что уменьшение скорости отдельного автомобиля относительно средней скорости потока не приводит к увеличению числа аварий.

Не секрет, что большинство ДТП происходит по причине плохих условий обзора внутри автомобиля. Водители порой просто не могут вовремя заметить появившиеся на их пути препятствия, чтобы оперативно отреагировать должным образом.

С конвейера машины сходят полностью готовыми к безопасным поездкам, однако со временем или под влиянием окружающих факторов происходят изменения, мешающие видеть все, что происходит на проезжей части.

Под обзорностью автомобиля понимают его конструктивное свойство, определяющее объективную возможность для водителя беспрепятственно видеть путь движения и объекты, которые могут помешать безопасному

движению. Она определяется в первую очередь такими факторами, как размеры окон, ширина и расположение стоек кузова, место размещения водителя относительно окон, размеры зон, очищаемых стеклоочистителями, конструкция омывателей, система обогрева и обдува стекол, а также расположением, числом и размером зеркал заднего обзора.

В качестве критериев оценки обзорности используются различные условные показатели, зависящие в основном от способа определения обзорности; эти показатели не всегда сопоставимы. Можно выделить четыре основные группы критериев оценки обзорности.

1. Геометрические размеры оконных проемов и очищаемых зон стекла автомобиля (т.е. угловые размеры конструктивных элементов остекления кабины, а также углы обзорности с места водителя, величина которых определяется расположением непрозрачных элементов кабины относительно основных пространственных плоскостей, проведенных через точку расположения глаз водителя).

2. Геометрические размеры «слепых» зон на горизонтальной площадке.

3. Геометрические размеры и площади «слепых» зон, когда автомобиль стоит на горизонтальной площадке (оценивается баллами).

4. Эталонный контур, в основу построения которого положена панорама, видимая водителем через переднее стекло автомобиля при движении по прямому горизонтальному участку улицы или дороги.

Рекомендуемые параметры обзорности автомобиля определяют исходя из анализа расположения различных объектов дорожной обстановки, которые необходимо видеть водителю для безопасного управления автомобилем в диапазоне скоростей 5,5...41 м/с.

При определении оптимальных углов обзорности вверх учитывается, что она должна обеспечивать водителю видимость светофоров, знаков и других дорожных сигналов, установленных над проезжей частью дороги. Минимально необходимый угол обзора вверх должен быть таким, чтобы водитель мог увидеть предупреждающий сигнал светофора на таком расстоянии от места установки, которое позволяло бы водителю принять решение и достаточно плавно остановить автомобиль.

Максимальная высота верхней кромки переднего окна, ограничивающего верхний предел обзорности, обуславливается двумя требованиями.

Во-первых, водитель должен видеть светофор, подвешенный на высоте 5 м над серединой проезжей части дороги, когда автомобиль стоит у линии «Стоп» на расстоянии 12 м от светофора.

Во-вторых, переднее окно не должно быть слишком высоким, так как в противном случае водитель будет страдать от избытка яркого света и тепловых лучей, что наблюдается при верхнем угле обзорности свыше 30°.

Вертикальные углы обзорности имеют критическое значение также при движении автомобиля по дороге с криволинейным профилем в вертикальной плоскости. Требование, предъявляемое к обзорности автомобиля в подобной ситуации, заключается в обеспечении достаточной для безопасной остановки дистанции видимости до внезапно появляющегося неподвижного объекта.

Оптимальные углы обзорности автомобиля в горизонтальной плоскости должны быть такими, чтобы водитель мог видеть объекты при выполнении маневров в плане (при движении автомобиля по криволинейным участкам дорог, при проезде различных перекрестков и пересечений), а также светофоры, дорожные знаки, указатели и другие объекты, расположенные по сторонам дороги. Обзорность в плане определяется, прежде всего, шириной переднего окна, шириной и расположением передних боковых стоек кабины (кузова).

Например, при угловом размере передней боковой стойки кабины, равном 5°, водитель не видит пешехода уже на расстоянии 6,1 м, а автомобиль средних размеров - на расстоянии 45,8 м. Вследствие этого место для стоек и форму их поперечного сечения выбирают с учетом бинокулярности зрения человека.

#### **Причины ухудшения обзорности:**

Первый фактор – человеческий фактор. Люди вешают на зеркала осмотра заднего вида различные чётки. Встречались даже индивидуумы, которые размещали там болванки компакт-дисков, свято веря, что они помогут в отражении сигнала радаров дорожной полиции.

Второй фактор – окружающие погодные условия. Обзорность в условиях тумана или дождя, а также в темноте заметно падает. Например, во время дождя или тумана окна сильно запотевают, а на их поверхности скапливаются капельки конденсата.

В этом случае поможет правильно выбранный режим работы вентиляции салона. Замечательно справляется с осушением излишней влажности кондиционер. В конце концов, можно слегка опустить одно из стекол. Внутренняя температура выравнивается с уличной, и запотевание тут же пропадет.

Третий фактор – ухудшение видимости от времени. Этот пункт касается, прежде всего, переднего стекла, которое за период эксплуатации «мутнеет», покрывается микросколами и небольшими царапинами.

В солнечную погоду лучи проходят внутрь салона под прямым углом, без рассеивания. В случае, когда на окне множество царапин и небольших сколов, лучи начинают абсолютно непредсказуемо преломляться.

Образуется большое число бликов, которые, собираясь вместе, создают единое световое пятно, ослепляющее водителя. То же самое происходит, когда в лицо светят фары проезжающих по встречной полосе автомобилей.

Справиться с ним помогут либо специальные поляризационные очки, полностью нейтрализующие все блики, либо механическая полировка лобового стекла, возвращающая его внешний вид к исходному качеству. Полировка – услуга, которая достаточно доступна всем автовладельцам, однако проводится она только в специальных сервисных центрах.

#### **Обзорность грузового автомобиля**

Для измерения и оценки обзорности используют разные методы, основанные на определении геометрических границ пространства, видимого с точек расположения глаз водителя.

Например: Общий показатель обзорности конечного числа объектов «ситуационной модели» находится по формуле:

$$O_o = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_{Bi} \cdot e_i,$$

где  $t_{Bi}$  – время видения  $i$ -го объекта поля зрения водителя;  
 $e_i$  – условный коэффициент приоритета  $i$ -го объекта;  
 $n$  – число объектов в поле зрения водителя.

### Значения коэффициента приоритета

Объекты поля зрения	$e_i$
Линия горизонта	0,1
Линия левой обочины	0,6
Линия осевая	0,6
Линия пешеходов	0,8
Линия светофоров	1,0
Линия дорожных знаков, расположенных на обочине	0,8
Линия временных дорожных знаков	0,8
Линия номерных знаков домов	0,2

Время видения  $i$ -го объекта

$$t_{Bi} = t_{\partial} (\sin \beta_2 - \sin \beta_1),$$

где  $t_{\partial}$  – время прохождения объектом сектора в  $90^\circ$ ;  
 $\beta_2$  – половина угла зрения при скрывании объекта за границу видимости;  
 $\beta_1$  – половина угла зрения, при котором угловой поперечник объекта достаточен для его опознания.

Таким образом, можно сказать, что скорость значительно влияет на обзор водителя: при увеличении скорости на каждые 15 км/ч угол обзора сужается на  $6^\circ$  в обе стороны.

Скорость автомобиля должна:

- обеспечивать безопасность движения;
- согласоваться с интенсивностью потока (а при движении с малой скоростью - не создавать помех на дороге);
- обеспечивать видимость дороги в направлении движения.

Надо помнить, что:

- увеличение скорости зрительно сужает боковой интервал между автомобилями, что делает опасной попытку "проскользнуть" между ними;
- с увеличением скорости возникает ощущение сужения дорожного просвета, что требует увеличения бокового интервала при разъезде с другими автомобилями для придания уверенности в безопасности;
- при небольшом перепаде скоростей перестройка сознания водителя на безопасное продолжение движения происходит достаточно быстро;
- значительные перепады в скорости (после длительного движения по автомагистрали или кольцевой дороги с продолжением движения в "белом городе") требуют от водителя обязательной паузы в движении для адаптации к резко изменившимся условиям реагирования;

- при длительном быстром движении у водителя идет накопление усталости и возникает необходимость постоянной смены "труда" и отдыха.

#### Список литературы

1. Ломакин В.В., Покровский Ю.Ю., Степанов И.С., Гоманчук О.Г. Безопасность автотранспортных средств: Учебник для вузов / Под общ. ред. В.В. Ломакина. – М.: МГТУ «МАМИ», 2011. – 299 с.
2. Общий технический регламент «О безопасности конструкции автотранспортных средств по условиям эксплуатации», Приложение к постановлению Кабинета Министров от 4 июля 2012 г. №191.
3. Методы обеспечения работоспособного технического состояния автотранспортных средств: учебник / С.М. Мороз. – М.: МАДИ, 2015. – 204 с.
4. Безопасность транспортных средств : учебник для высш. учеб. заведений / Н.Я. Яхьяев. — М.: Издательский центр «Академия», 2011. — 432 с.
5. Коноплянко В.И. Организация и безопасность дорожного движения. - М.: Транспорт, 2001. - 182 с.
6. Степанов И.С., Покровский Ю.Ю., Ломакин В.В., Ю.Г. Москалева, Влияние элементов системы водитель - автомобиль - дорога – среда на безопасность дорожного движения: Учебное пособие – М.: МГТУ «МАМИ», 2011. – 171 с.

### АМЕРИКАНСКАЯ ШКОЛА АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИЯ

Ф.П. Мельников, А.М. Третьяков, А.М. Глёмин

*Бийский технологический институт (филиал) АлтГТУ*

**Аннотация.** Американская школа автомобилестроения является одной из лидирующих в мире. Главным направлением конструкторов автомобильной техники США было создание массового дешевого транспортного средства. Огромный спрос на дешевый автомобиль породил целую новую отрасль промышленности. Финансовый кризис 2008–2009 гг. отрицательно сказался на состоянии автомобильной промышленности. Несмотря на это сегодня США занимает второе место по объему продаж автомобилей.

**Ключевые слова.** *Автомобильная промышленность, производство автомобилей, технические новшества.*

### AMERICAN SCHOOL OF AUTOMOTIVE INDUSTRY

F.P. Melnikov, A.M. Tretyakov, A.M. Glemin

*Biysk technological Institute (branch) Altai state technical University*

**Abstract.** American school automotive is one of the leading in the world. The main direction of automotive designers of the USA was the creation of mass cheap vehicles. Huge demand for cheap car spawned an entire new industry. Financial crisis of 2008–2009 negatively affected the automotive industry. Despite this, USA ranks second in terms of sales of cars.

**Key words.** *The automotive industry, the automotive-motor vehicles, technical innovations.*

В 1903 г. Г. Форд начал серийный выпуск автомобилей, положив начало массовой автомобилизации, что привело к появлению самых разнообразных и



сложных проблем, решение которых потребовало колоссальных интеллектуальных и материальных затрат.

В результате сегодня американская школа автомобилестроения является одной из лидирующих в мире. Ей принадлежат первенство открытий, которые впоследствии вошли в конструкцию и дизайн современного автомобиля.

В 1892 г. Генри Форд строит свой первый автомобиль. В 1897 г. Рэнсом Эли Олдсом была основана компания «Олдсмобиль» (Oldsmobile), которая поначалу выпускала в основном дорогие, престижные автомобили, а после пожара 1901 г. в производство был запущен двухместный кабриолет «Oldsmobile Curved Dash». Это был первый, еще до появления «жестяной Лизы» («Ford Model T») Генри Форда, прообраз «массового автомобиля».

В 1902 г. Эндрю Лоуренс Райкер начал проектировать бензиновые автомобили, сначала с 2-цилиндровым двигателем мощностью 8 л.с. и цепной передачей, а затем и 4-цилиндровые моторы в 16 л.с., а американский предприниматель Г. Франклин организовал фирму, которая первой исследовала литье под давлением. Он стал законодателем технической политики фирмы, которая опиралась на два основных принципа – высокое качество и минимальная масса.

Американский конструктор Чарльз Франклин Кеттеринг изобрел стартер, что значительно упростило пуск двигателя – еще один шаг к созданию автомобиля для широкого круга потребителей. В 30-х годах прошлого века им был разработан синхронизатор, впервые появившийся на автомобиле «Кадиллак» («Cadillac V8 341-V Convertible Coupe»).

Главным направлением конструкторов автомобильной техники США в это время было создание массового дешевого транспортного средства, на которое был бы большой спрос. Это стало, в конечном счете, национальной идеей американцев, и основная заслуга в реализации ее принадлежит Генри Форду.

Осуществление идеи дешевого автомобиля потребовало в некоторой степени массовости производства и в то же время дало мощный толчок к его дальнейшему развитию. Замысел Форда заключался в том, чтобы разделить процесс производства автомобиля на множество операций, поручить каждую их них одному-двум рабочим, освободив их при этом от доставки со склада, сортировки и подготовки деталей. Изготавливаемые детали и собираемые механизмы должны двигаться мимо рабочих на цепях, лентах, рольгангах. Так возник конвейер. Начиная с этого момента классические методы машиностроения были пересмотрены, т.к. возникшее массовое производство требовало изготовления идентичных деталей в большом количестве.

Генри Форд, налаживая массовое производство машин, задался целью обеспечить полную взаимозаменяемость деталей и узлов для того, чтобы их можно было изготавливать на разных заводах, а производить сборку автомобилей там, где они должны быть проданы. Для этого требовалось обеспечить высокую точность изготовления деталей. В этой связи была проведена стандартизация размеров, заключающаяся в установлении единых норм. Высокая точность изготовления и сборки двигателей привела к увеличению его мощности почти вдвое, а применение прочных и легких

стальных сплавов, в частности, ванадиевой стали, сделало конструкцию простой и приспособленной для ремонта и замены износившихся узлов. Все это воплотилось в модели «Т», которая означала смену всех ориентиров в концепции автомобилестроения. Автомобиль стал массовым и уже не мог быть специально приспособленным к индивидуальным запросам, он должен быть универсальным. Затраты на дорогостоящее оборудование, механизацию, технические новшества и т.д. раскладываются на тысячи выпускаемых машин и не ложатся тяжелым бременем на продажную цену автомобиля, как в индивидуальном производстве, что было на всех заводах начала XX века. Это сделало автомобиль дешевым – его продажная цена составляла 700–780 долларов. За годы производства модели «Т» (1908–1927 гг.) было продано свыше 15 млн автомобилей. Развитие массового производства автомобилей показало, что наиболее трудоемкой частью является кузов. Его изготовление требовало большого количества ручного труда. Переломным моментом в истории автомобильных кузовов был 1928 г., когда фирма «Бадд» (США) применила патент на цельнометаллический кузов из крупных штампованных деталей, содержащих оконные и дверные проемы. Штамповкой всех элементов кузова из листовой стали были сокращены дорогие ручные операции, улучшено качество деталей и соединений. На рубеже 30-х годов было усовершенствовано соединение штампованных деталей кузова в промышленных масштабах контактной электрической сваркой. Это сделало кузова не только более дешевыми, но и более долговечными, ремонтпригодными.

Как только в обращении появился дешевый автомобиль, огромный спрос на него породил целую новую отрасль промышленности, которая через несколько лет должна была перегнать существовавшие отрасли машиностроения и в значительной мере поглотить их. С момента своего успеха в широких народных массах автомобильная промышленность стала высококонцентрированной, ибо удовлетворить спрос рынка могли только самые крупные предприятия.

Сто лет крупнейшие автоконцерны скупали автомобильные марки. На долю шести транспортных корпораций (Дженерал Моторс, Тойота, Форд, Даймлер-Бенц, Крайслер, Фольксваген) приходится более половины всех автомобилей, производимых в мире. Финансовый кризис 2008–2009 гг. вынудил отказаться от дочерних фирм, порой за бесценок.

Самые крупные сделки совершались американцами в 1990-е. Их примеру пытались следовать европейцы, но безуспешно. В результате «Дженерал Моторс» и «Форд» стали крупнейшими автохолдингами. Они же первыми начали избавляться от неамериканских активов.

«Форду» повезло – он успел расстаться с большей частью дочерних фирм, и не без выгоды, продав почти за 1 миллиард долларов знаменитую британскую марку «Астон Мартин». В 2009 г. «Ягуар» и «Ленд Ровер» ушли за 2, 3 миллиарда долларов. Эта сделка стала логическим шагом в претворении в жизнь новой концепции One Ford («Форд единственный»).

Следующий шаг – продажа 20-процентного пакета акций компании «Мазда» (его приобрела сама японская компания) за полмиллиона долларов. Нынче «Форд» – единственная компания «большой тройки», избежавшая банкротства. Сейчас из неамериканских активов у «Форда» осталась доля акций «Мазды» и «Вольво». Периодически возникают слухи о скорой продаже шведского бренда. В США и Швеции эту информацию пока опровергают.

«Дженерал Моторс» не устоял и в мае 2009 г. прошел процедуру банкротства. Однако это позволило избавиться от «плохих» активов и сохранить лишь «хорошие». На месте прежнего «Дженерал Моторс» правительство создало новую компанию с тем же названием и новыми собственниками: у правительства США свыше 50% акций, у профсоюза VAW 17,5%, часть акций у правительства Канады и ряда мелких акционеров.

А вот с большинством дочерних фирм пришлось расстаться. Первым пал «Хаммер»: марку продали малоизвестной китайской фирме, профиль которой – оборудование для дорожных работ и энергетики. По условиям сделки основное производство останется в США, что позволит сохранить три тысячи рабочих мест. (По данным на 26.02.2010, сделка была отменена и «Хаммер» выставлен на повторные торги.) Затем пришла очередь шведского «Сааб». Новым владельцем 100% акций стала шведская компания «Кенигсегг». Также «Дженерал Моторс» продал свою долю «Сузуки» (3% акций).

Решается судьба еще ряда брендов «Дженерал Моторс». Вскоре будет продана марка «Сатурн», а «Понтиак» просто закроют. Должны остаться три «всемирные» марки: «Шевроле», «Кадиллак» и «Бьюик». Закроют 11 заводов по всему миру, а некоторые перепрофилируют на выпуск малолитражек. Таким образом «Дженерал Моторс» избавился от лишних долгов, но сохранил за собой компанию «Опель».

Еще одной крупной фирмой, прошедшей процедуру банкротства, стал «Крайслер». По решению правительства США его слили с итальянским «Фиатом». Причем обошлись без денег: «Крайслер» преобразовали в новую компанию (для защиты от кредиторов) и передали итальянцам активы американского предприятия в обмен на технологии. «Фиат» в «Нью-Крайслере» получила 20% с правом довести долю до 35%, 10% отошло правительству США и Канады, которые предоставили кредиты для преодоления последствий кризиса, 55% активов предприятия отдано страховому фонду, образованному для социального и медицинского обеспечения сотрудников.

Несмотря на кризис, автомобильная промышленность США занимает второе место по объему продаж автомобилей – 14,5 млн, пропустив вперед только Китай.

#### Литература

1. Глёмин, А.М. История зарубежного автомобилестроения: учебное пособие / А.М. Глёмин, А.М. Третьяков. – Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2011. – 166 с.

# КАК ПРЕДОТВРАТИТЬ СТОЛКНОВЕНИЕ АВТОМОБИЛЯ С ПЕШЕХОДОМ

Р.С. Нестеренко

*Физический институт им. П.Н. Лебедева, г. Москва*

**Аннотация.** Предлагается способ предотвращения столкновений автомобиля и пешехода. Для этой цели необходимо установить на все автомобили автоматическую систему наблюдения, анализа и торможения. Путем сравнения с существующей системой предупреждения наездов на пешеходов, созданной одной из фирм, формулируются преимущества предлагаемой системы.

**Ключевые слова:** предотвращение несчастных случаев на транспорте с участием пешеходов, автоматическая система торможения, распознавание образов

## HOW TO PREVENT COLLISION OF AUTOMOBILE WITH PEDESTRIAN

R.S. Nesterenko

*Физический институт им. П.Н. Лебедева, г. Москва*

The method for prevention of automobile-pedestrian collisions is suggested. For this purpose it is needed to install in all cars an automatic system of observing, analysis and braking. By comparing with the existing system of prevention of impact with pedestrians created by one of firms, advantages that the suggested system has, are formulated.

**Keywords:** prevention of transport accidents with pedestrians, automatic system of braking, image recognition

### Введение

Фирма Volvo уже к 2012 году разработала систему автономной поддержки процесса управления автомобилем. Эта система использует камеры и радар. (С моей точки зрения, радар менее выгоден с точки зрения вреда от облучения пешехода электромагнитным излучением). В 2008 году описывалась система предупреждения водителя об опасности столкновения с пешеходом, с функцией торможения в случае, если водитель ничего не делает для того, чтобы столкновения не произошло. Представители компании утверждали, что ни один автопроизводитель не добился таких впечатляющих результатов: функция торможения останавливала автомобиль полностью. К 2008 году, несмотря на громкие заявления представителей фирмы Volvo о том, что компьютер принимает решения со скоростью света, удавалось предотвратить столкновения с пешеходом только на скорости до 20 км/ч.

В чрезвычайной ситуации система компании Volvo издает предупреждающий звуковой сигнал и на лобовом стекле отражается свет, похожий на сигналы от фар идущего впереди автомобиля. (Веселая система безопасности. Вначале система полагается на реакцию водителя, что является, с моей точки зрения, недостатком). Система автоматически применяет полное торможение в случае, когда наезд становится неизбежным. Эта особенность существующей предупреждающей системы требует изучения: неизбежен ли наезд при движении с той же скоростью или даже при условии экстренного торможения. Очевидно, что система, реализующая второй вариант, будет работать плохо. В правильном варианте необходимо в каждый момент времени

рассчитывать или иметь в виду тормозной путь, оценивать расстояние до пешехода по размеру изображения и автоматически тормозить при угрозе столкновения. По-видимому, существующая система безопасности работает в некотором промежуточном режиме, если не предупреждает наезд полностью. Или в экспериментах проверяется случай, когда пешеход появляется совсем внезапно. А внезапно он появляется обычно из-за неправильно припаркованного автомобиля. (Автомобили, поставленные на тротуар, тоже вынуждают пешехода идти по дороге). Можно просто не позволять автомобилю разгоняться до скоростей, больших некоторого значения. Даже разрешенные 60 км/ч — это большая скорость для города. И тогда экспертам не придется лишний раз вычислять скорость автомобиля в момент наезда по повреждениям элементов конструкции автомобиля.

Система фирмы Volvo наблюдает за движением пешехода и рассчитывает вероятность наезда. На мой взгляд, это излишние усложнения процедуры, которые замедляют реакцию системы. Не нужно определять траекторию и скорость пешехода. Пешеход может просто стоять. Автомобилист в любом случае не имеет права ехать на пешехода. После выдачи предупреждения водителю система фирмы Volvo оценивает его реакцию на предупреждающий сигнал (изменение направления движения, торможение). Если водитель "уснул", то применяется автоматическое торможение. При скорости до 30 км/ч система может почти полностью предотвратить столкновение. На высоких скоростях предотвратить наезд не удастся, но пешеход пострадает меньше вследствие меньшей скорости автомобиля во время столкновения.

Т.о., в настоящее время не имеется никаких реальных препятствий для наездов на пешеходов (исключая так называемые "лежачие полицейские"). Решение вопроса, нажмёт водитель на газ или нет, зависит только от воли водителя и от его нервно-психического состояния. Меня как пешехода такая ситуация абсолютно не устраивает. Для большей безопасности пешеходов при переходе проезжей части необходимо снабдить все автомобили автоматизированной системой наблюдения за дорогой, анализа ситуации и автоматического торможения в случае выявления пешехода в опасном секторе по отношению к автомобилю. Причем торможение необходимо осуществлять независимо от воли автолюбителя, т.е. одновременно должна блокироваться возможность ускорения автомобиля. Таким образом, подобная система будет способна предотвращать и случайные, и специальные наезды на пешеходов.

### **Метод**

В настоящей статье мы остановимся на наиболее важном аспекте: выявлении пешехода в получаемом изображении. Остальные детали реализации автоматического прибора для торможения (захват изображения с цифровой видеокамеры, подача сигнала на устройство торможения и блокировки тяги двигателя автомобиля, а также конструирование перечисленных устройств) при современном уровне развития технологий производства осуществляются легко.

Написав программу для выявления границ изображений путем анализа значений лапласиана и первых производных от значений матрицы серых

оттенков изображения, я понял, что для нашей цели лучше использовать алгоритм, основанный на уменьшении количества цветов и оттенков.

Предлагаемый алгоритм распознавания пешехода заключается в следующем.

1. Необходимо применить операцию обесцвечивания или преобразования в изображение с серыми оттенками. Эти преобразования осуществляются по разным формулам, но обе они дают сходный результат. Формула для фильтра серых оттенков стандартная:

$$I = R \cdot 0.3 + G \cdot 0.51 + B \cdot 0.11,$$

где  $R, G, B$  обозначают значения стандартной схемы кодирования цвета RGB.

2. Далее необходимо применить операцию постеризации (это математический алгоритм взвешивания цветов и уменьшения количества цветов с сохранением сходства изображений). Первоначально оставим уровень 3 в параметрах фильтра графического редактора. Согласно документации при этом должно оставаться  $2^3=8$  цветов, но на рис. 1 видно только три цвета.

3. Следующий шаг алгоритма связан с повторным применением операции постеризации, но уже с уровнем 2. При этом остается всего два цвета (рис. 2).

4. Следующий шаг алгоритма можно производить и на более ранних этапах, поскольку он связан с ограничением области изображения, в которой программа будет искать пешехода. Это связано с тем, что боковые области изображений для наших целей мало интересны. Их анализ может потребоваться только при повороте автомобиля на перекрестке. Калибровку размера нужной области можно производить по величине ширины автомобиля. Можно учитывать перспективу и на этой основе отбирать интересующие нас объекты.

5. Далее применяем фильтр, отсеивающий те обнаруженные объекты, которые слишком малы по площади.

6. Затем вычисляем эксцентриситет изображения главного обнаруженного объекта, его ориентацию, и если объект вытянут по вертикали, то это не другой (соседний) автомобиль, движущийся впереди нашего автомобиля, а именно пешеход или, по крайней мере, мотоциклист, а следовательно, необходимо тормозить или хотя бы притормаживать (снижать скорость).

### **Результаты, обсуждение и заключение**

Ниже приведены изображения, соответствующие некоторым шагам описанного выше алгоритма.

Когда человек находится на пешеходном переходе, все ближайшие автомобили должны блокироваться. Это можно обеспечить с помощью статических видеокамер на перекрестках и послания сигнала на ближайшие автомобили. Однако такая реализация менее предпочтительна. Во-первых, лишнее радиоизлучение на перекрестках ни к чему. Во-вторых, сразу появятся проблемы с удаленными программными взломами, наподобие тех, что производятся с помощью современных устройств для деактивации противоугонных систем. В-третьих, дополнительную слежку за пешеходами, пересекающими перекресток, я не приветствую. Автомобильные регистраторы, получившие распространение в недавнее время, — это совершенно бестолковые устройства, и они используются в большинстве случаев

исключительно для негласного наблюдения, что нарушает права граждан, и их установка запрещена в некоторых странах. Предлагаемая же в настоящей статье система наблюдения и анализа может быть реализована так, что она не будет хранить видеoinформацию, а работать в реальном времени.

Для отсеивания других вытянутых объектов (деревьев, столбов и т.п.), находящихся за пределами дороги, можно использовать характерный признак, что эти объекты находятся за бордюром, ограждающим дорогу. Бордюр на изображении лучше определяется с помощью метода выявления границ.



Рис. 1. Полученное изображение проезжей части после применения операции перехода к серым оттенкам и постеризации с уровнем 3



Рис. 2. После повторного применения фильтра постеризации, но уже с уровнем 2



Рис. 3. Результат применения тех же операций к другой фотографии

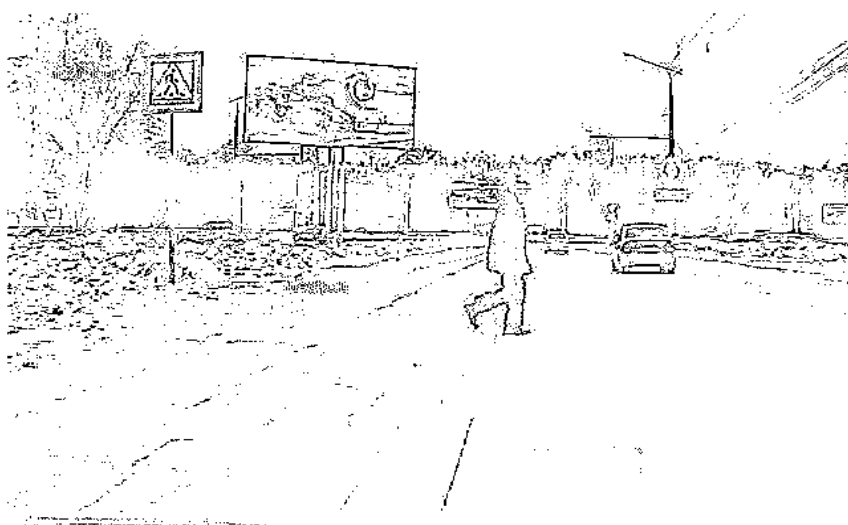


Рис. 4. Результат работы программы выделения границ

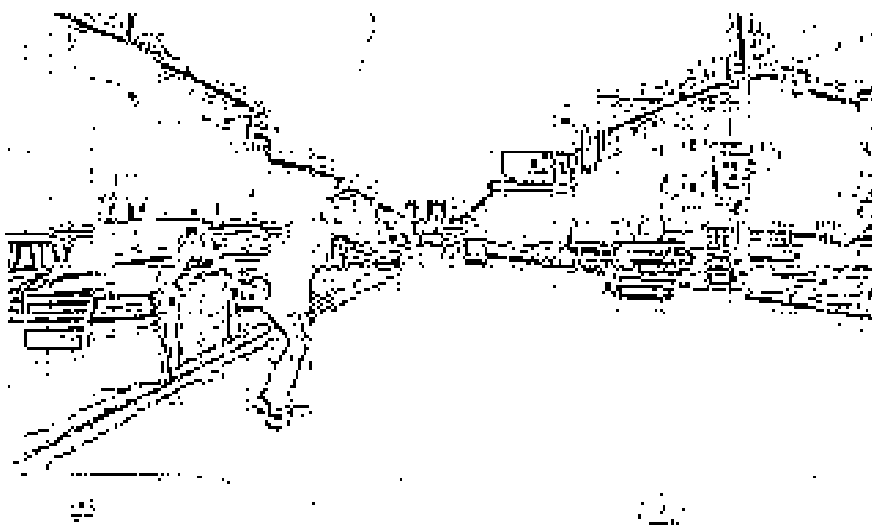


Рис. 5. Выделение границ для второй фотографии



После повсеместного внедрения в автомобили предлагаемой системы предупреждения преступлений служба ДПС лишается, по крайней мере, части своих функций. Кроме того, если снабдить автомобили дополнительно другой системой контроля водителя на алкоголь при старте двигателя, предлагавшейся Сергеем Кужугетовичем Шойгу посредством новостных СМИ, то ДПС становится почти ненужной структурой. Тем более удивляет факт растраты 150 миллионов рублей в одном из регионов России на организацию авиационного отряда беспилотных аппаратов, которые помогают выслеживать людей, совершивших преступления на транспорте. Денежные средства тратятся не на предотвращение преступлений, а на погони.

Еще недавно представлялось нереальным, чтобы на каждом углу стояли видеокамеры. Теперь же государство стало настолько богатым, что скоро можно будет выстлать дорожное полотно на перекрестках тактильными датчиками, распознающими, находится ли пешеход на дороге. Хотя это я здесь пишу больше в виде шутки, поскольку имущество в нашей стране ценится больше, чем здоровье людей. Сравнить хотя бы уголовную ответственность за повреждение имущества (от 500 рублей) и легкий вред здоровью (совокупная стоимость лекарств может быть в разы дороже, а наказание согласно санкции статьи — меньше). За убийство автомобилем "по неосторожности" дают от силы 2 года.

В принципе, можно создать автоматизированную систему, управляющую автомобилем в точном соответствии с правилами дорожного движения. Например, водитель захотел поставить автомобиль "на прогревание" в жилой зоне — автопилот ее выключает против воли хозяина. (Это можно осуществить, занеся в память координаты областей жилых районов и сравнивая по GPS/Глонасс текущие координаты с ними. Хоть какая-то польза будет от этой технологии. Ее же можно применить для ограничения скорости при движении в жилом секторе. Хотя проще вообще не пускать туда автомобили.) Однако противники могут заявить, что даже в самолетах в некоторых ситуациях автопилот приходится выключать. Но против предлагаемого в настоящей статье торможения и блокирования тяги двигателя не может быть обоснованных возражений, поскольку торможение может спасти жизнь пешеходу.

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОВНЯ АВАРИЙНОСТИ В Г.БАРНАУЛЕ**

Е.В. Пономаренко

*ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет  
им. И.И. Ползунова»*

**Аннотация.** В связи с ростом экономической и социальной значимости проблемы дорожной аварийности необходимо составление прогнозов уровня аварийности. Это позволит принимать более эффективные управленческие решения. В статье приведен прогноз ориентировочных значений числа ДТП в 2015 г. в г.Барнауле, составленный с помощью статистического метода.

**Ключевые слова:** ДТП, прогноз уровня аварийности, безопасность дорожного движения.

# FORECASTING THE LEVEL OF ACCIDENTS IN BARNAUL

E. V. Ponomarenko

*Altai State Technical University after I. I. Polzunov*

**Abstract.** In connection with the growing economic and social importance of the problem of road accidents it is necessary to forecast the level of accidents. This will allow for more effective management decisions. The article presents the forecast values indicative of the number of accidents in 2015 in Barnaul, compiled with the help of the statistical method.

**Keywords:** traffic accidents, a forecast of the level of accidents, road safety

Вторая половина XX и начало XXI веков характеризуются ростом числа автотранспортных средств и сопутствующей этому проблемы аварийности на автомобильном транспорте. Однако если раньше обеспечение безопасности дорожного движения (БДД) сводилось к деятельности по предупреждению дорожно-транспортных происшествий (ДТП), включающей совершенствование эксплуатационных свойств автомобилей, дорог, а также повышение мастерства водителей и уровня их транспортной дисциплины, то в последние годы в отношении к проблеме безопасности движения коренным образом изменилось. Главные причины этого связаны с возросшей социальной и экономической значимостью проблемы [1]. В связи с этим в настоящий момент предупреждение ДТП должно быть связано с разработкой комплекса управленческих решений, которые в свою очередь должны основываться на прогнозе уровня аварийности и ее особенностях.

С помощью применения статистического метода было осуществлено прогнозирование количества ДТП на 2015 год в г. Барнауле на основе данных ГИБДД России по г. Барнаулу за 2008 – 2014 гг. Методом линейной аппроксимации по методу наименьших квадратов, с применением статистической функции тенденция в программе Excel было рассчитано ориентировочное число ДТП в 2015 году (рис. 1).

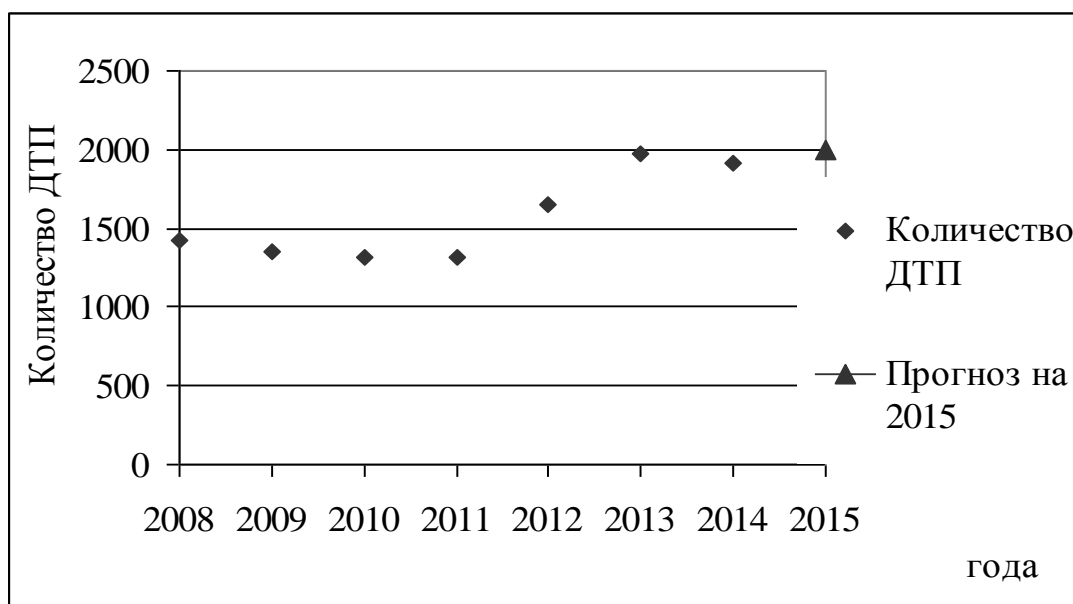


Рис. 1. – Прогноз числа ДТП в 2015 году

Таким образом, исходя из расчетов, в 2015 году ожидается незначительное увеличение общего числа ДТП.

Аналогичным образом на основе данных 2012 – 2014 гг. были рассчитаны прогнозные значения числа ДТП в г. Барнауле по месяцам 2015 года (рис. 2).

Из анализа распределения числа ДТП в 2014 году предполагается максимальное количество аварий в августе-октябре 2015 года. Небольшой рост количества аварий ожидается в декабре (в сравнении с ноябрем).

С учетом прогнозируемого увеличения числа ДТП, в сравнении с 2014 г., было рассчитано ориентировочное число ДТП по времени суток (рис. 3).

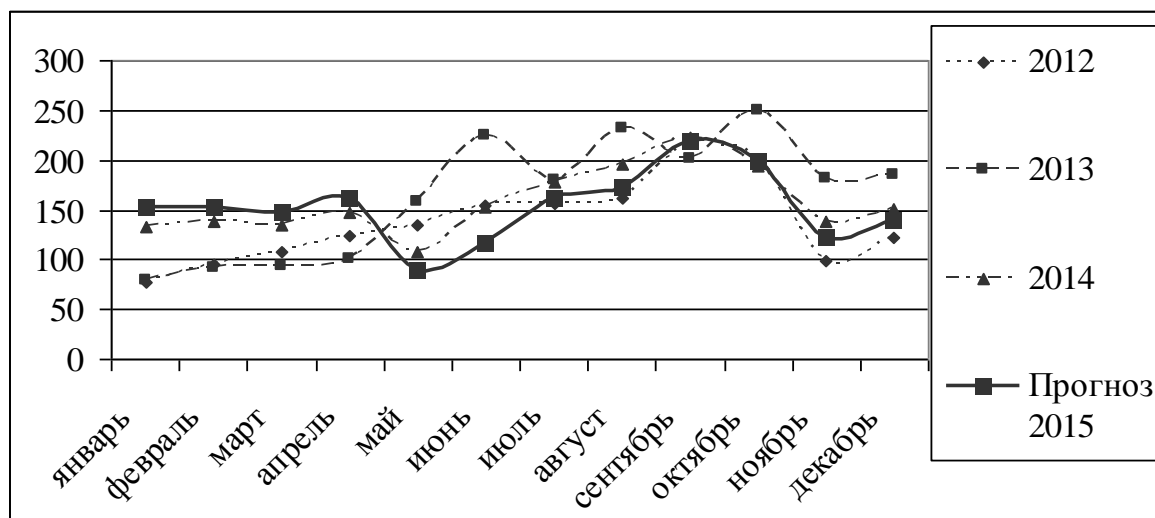


Рис. 2. Прогноз числа ДТП по месяцам в 2015 году

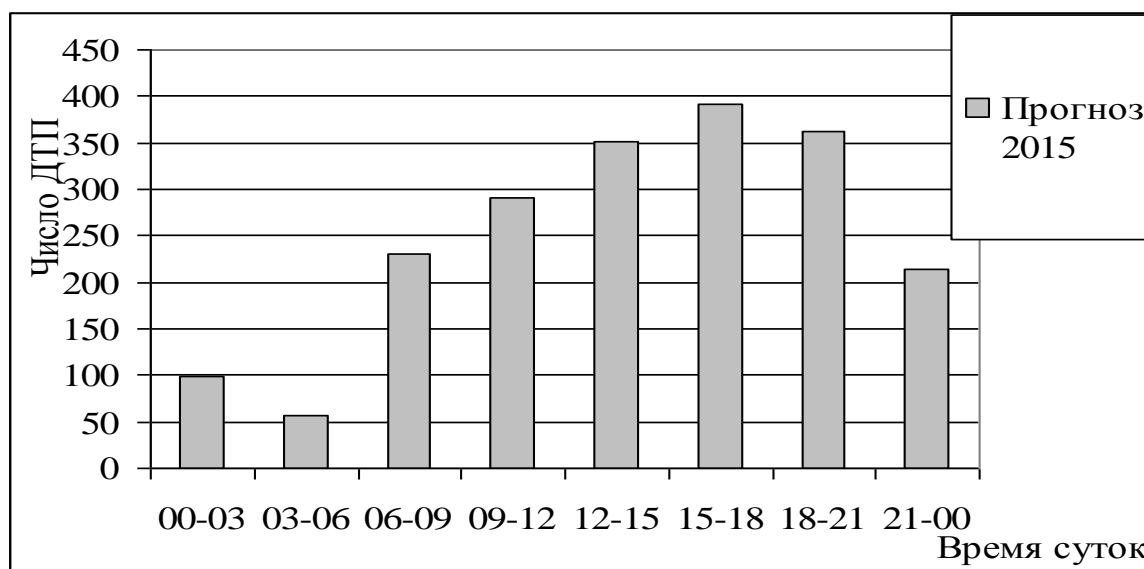


Рис. 3. Прогнозируемое годовое распределение числа ДТП по времени суток в 2015 году

Таким образом, исходя из рисунка 3, максимальное число ДТП ожидается в период с 15 по 18, однако в ночное время сохраняется увеличенный риск гибели в ДТП.

Таким образом, на основе обработки статистических данных составлен прогноз числа ДТП в г. Барнауле, исходя из которого сделано предположение о росте числа аварий в 2015 году в 4,6%, наиболее аварийным месяцем предполагается сентябрь. Составление прогнозов аварийности может помочь выработать направленные мероприятия по повышению уровня БДД, что является необходимым условием для экономического и социального развития города и региона.

#### Литература

1. Амбарцумян В.В., Бабанин В.Н., Гуджоян О.П., Петридис А.В. Безопасность дорожного движения. – М.: Машиностроение. 1998. – 304 с.

### **БЕЗОПАСНОСТЬ ПЕРЕВОЗОЧНОГО ПРОЦЕССА НА ПАССАЖИРСКОМ ТРАНСПОРТЕ**

Р.В. Репина, А.А. Пермовский

*Нижегородский государственный педагогический университет  
им. К. Минина*

**Аннотация:** Ввиду постоянного развития сферы транспорта появилась необходимость обеспечения высокого качества пассажирских перевозок. Одним из аспектов качества является безопасность перевозочного процесса. Причем наряду с имеющимися методами обеспечения безопасности постоянно появляются инновационные. В данной статье рассматриваются имеющиеся и новые методы обеспечения безопасности. Также показана необходимость появления таковых для сферы транспорта.

**Ключевые слова:** *автотранспортное предприятие, качество, безопасность, пассажирские перевозки.*

### ***SAFETY OF TRANSPORTATION PROCESS ON PASSENGER TRANSPORT***

R.V.Repina, Permovsky A.A.

*Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University*

**Abstract:** In view of continuous development of the sphere of transport there was a need for the quality guaranteeing passenger traffic. One of aspects of quality - safety of process of transportation. And, along with available methods of safety the innovative are constantly invented. In this article consider old and new methods of safety. In it need of their emergence for the sphere of transport is shown.

**Keywords:** *enterprise of autotransportation, quality, safety, passenger traffic.*

Деятельностью пассажирского автотранспортного предприятия является оказание пассажирам качественной перевозки. В последнее время в области перевозок произошли огромные изменения. Люди пытаются повысить качество перевозок за счет увеличения скорости транспорта, его мощности, экономичности. Вся деятельность АТП направлена на удовлетворение потребностей потребителя (рисунок 1).

Безусловно, основной из таких потребностей является обеспечение безопасности. Требования к безопасности на транспорте выработаны уже давно. Постоянно отслеживается состояние инфраструктуры, проводятся тренинги персонала для отработки экстренных ситуаций, постоянный осмотр

транспортного средства. Стоит отметить, что автотранспортная инфраструктура развита хуже железнодорожного, за соблюдением скорости движения транспорта сложно уследить, как и за его должным состоянием, что сильно сказывается на безопасности.



Рис. 1. Течение процессов внутри АТП [1]

За последние три года по вине водителей автобусов произошло шестнадцать тысяч дорожно-транспортных происшествий, в которых погибло более тысячи человек и ранено около двадцати пяти тысяч. В связи с этим прокуратура с привлечением специалистов территориальных органов автодорожного надзора проведет проверку исполнения законодательства в сфере пассажирских перевозок [2].

Основными требованиями к безопасности, которые выработаны давно, являются [3]:

- тип транспортного средства должен соответствовать виду перевозок и учитывать все условия: дорожные, климатические, условия безопасности;
- весовые и габаритные параметры должны соответствовать категории дорог на соответствующих маршрутах перевозок, а также грузоподъемности,

габаритам расположенных на дорогах мостов, эстакад и прочих искусственных сооружений;

- городские автобусные маршруты требуют соблюдения правил, касающихся количества пассажиров. Оно не должно превышать допустимые пределы вместимости транспортного средства, оговоренной в его технической характеристике. При передвижении на продолжительных междугородных маршрутах, при горных, туристско-экскурсионных, разовых перевозках, количество пассажиров не должно быть большим, нежели число мест для сидения;

- багаж пассажиров, если в наличии есть отсеки багажа, размещается в них (исключением является ручная кладь);

- на маршрутах движения, которые имеют протяженность от 500 км необходимо присутствие двух водителей, занятых в перевозке, для соблюдения режима работы водителей;

- запрещено отклоняться от фиксированных маршрутов движения и делать остановки, которые не предусмотрены графиком;

- запрещено превышение скорости, установленной режимом движения общественного транспорта;

- транспортное средство должно иметь специально оборудованные указатели маршрута перевозок;

- посадка/высадка пассажиров происходит при регулировке водителя лишь после выполнения полной остановки транспорта;

- начинать движение водитель обязан исключительно при закрытых дверях, открытие дверей до полной остановки автобуса запрещено.

Такие правила давно зарекомендовали себя в перевозке пассажиров автомобильным транспортом, но, ввиду увеличения скоростей и мощностей транспорта, частых случаев терроризма и ДТП, стали появляться и улучшаться способы обеспечения безопасности.

Ярким примером таких инноваций является внедрение в данный вид перевозок системы ГЛОНАСС. Посредством данной системы диспетчер отслеживает местоположение, направление, скорость транспортных средств, соблюдение интервалов движения в режиме реального времени, а в случае возникновения внештатных ситуаций может мгновенно реагировать на происшествия [4]. Данная система позволит обеспечить не только безопасность движения, но и регулярность движения, что немаловажно при нынешних дорожных пробках.

В Липецке была введена система персонифицированного учета пассажиров. Она позволяет повысить уровень безопасности пассажирских перевозок, организовать информационное взаимодействие между ведомствами, заинтересованными в обеспечении безопасности пассажиров, вести учет льготных категорий граждан при осуществлении проезда на регулярных маршрутах [5]. Таким образом, билеты на все междугородние маршруты продаются при предъявлении документов, удостоверяющих личность. При этом

не исключена возможность приобретения билетов через интернет и по телефону.

С совершенствованием пассажирских перевозок будут модернизироваться и правила по обеспечению безопасности. Правительство Российской Федерации уже утвердило целевую программу по повышению данного показателя. Она предусматривает формирование системы приоритетных мероприятий по повышению безопасности дорожного движения, воздействующих на причины аварийности, и повышение эффективности управления в данной области, что и говорит о важности данного направления не только для пассажиров, но и для государства в целом.

#### Список литературы [ЭР]

1. <http://www.science-education.ru> - Электронный научный журнал "Современные проблемы науки и образования". 2015 г. №5. Обеспечение надежности при подготовке к пассажирским перевозкам подвижного состава автотранспортного предприятия.

2. <http://www.klerk.ru> - все о бухгалтерском учете, менеджменте, налоговом праве. Статья "В России стартовала масштабная проверка перевозчиков".

3. <http://tourprim.com> - Правила перевозки пассажиров в автобусе.

4. <http://sbn.finance.ru> - информационный портал. Статья "Инновационные технологии ГЛОНАСС обеспечат комфорт пассажиров".

5. <http://npravs.ru> - официальный сайт автовокзалов и автостанций РФ. Статья "Липецкая область поделилась инновационным опытом обеспечения безопасности пассажиров".

## **ЗОО-МАШИННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НАЗЕМНЫМИ ТРАНСПОРТНЫМИ СРЕДСТВАМИ КАК АЛЬТЕРНАТИВА ЧЕЛОВЕКО-МАШИНЫМ, ТЕЛЕ- И АВТОМАТИЧЕСКИМ СИСТЕМАМ**

А.Г. Семенов

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого*

**Аннотация.** На стыке трех отраслей человеческих знаний и деятельности (военного дела, транспортного машиностроения и зоологии) предложено новое направление прикладной науки – «зoo-машинные системы» (системы «активное животное–машина»). На базе запатентованных пилотных авторских разработок «крысо-машинных» систем управления наземными гусеничными и колесными транспортными средствами – малогабаритными минными тральщиками (субъект управления – преимущественно дрессированная гамбийская крыса [*Cricetomys gambianus*; en: *Gambian pouched rat*]) и самоходными полигонными мишенями (субъект управления – преимущественно недрессированная крыса любой местной разновидности). Статья носит концептуальный, прикладной научно-теоретический характер.

**Ключевые слова:** транспортное машиностроение, специальный наземный транспорт, разминирование территории, комбинированная система управления, зоология.

# ZOO-MACHINE MANAGERIAL SYSTEM OVERLAND TRANSPORT FACILITY AS ALTERNATIVE MAN-MACHINE, TELE- AND AUTOMATIC SYSTEM

A.G. Semenov

*Peter Great St.Petersburg Polytechnic University*

**The summary.** On butting three branches of the human knowledges and activity (military deal, transport machine building and zoologies) is offered new direction of the applied science - "zoo-machine systems" (the systems "active animal-machine"). On the base patented of the pioneer author's developments "rat-machine" managerial system overland caterpillar and wheel transport facility - a small-dimensioned mine minesweeper (the subject of management - mainly trained Gambien rat and selfpropelled dartboard (the subject of management - mainly or uninstructed rat to any local variety). Article carries conceptual, applied scientifically-theoretical nature.

**Key words.** transport machine building, special overland transport, liquidation of the mines, multifunction managerial system, zoology.

## Области исследования, проблематика и постановка задачи

Существенная часть новых, необычных, порой кажущихся «экзотическими» научно-технических решений и инновационных проектов, концепций порождается интеллектом ученых и инженеров – изобретателей на стыке областей знаний и жизнедеятельности. Упомянутая научно-техническая «экзотика», быть может, граничащая с одиозностью, не должна стать основанием для «шельмования» проекта и его автора, как это имело место, например, при презентации в 2012 году запатентованного автором и разрекламированного мировой общественностью способа обеспечения жизнедеятельности экипажа танка [1, 2], а значительно ранее (в 1943-1944 годах, В.Ф. Скиннер, проект «Голубь» и в 1948-1953 годах, д-р Тейлор, проект «Orcon») – системы наведения авиационных бомб и ракет с использованием дрессированных голубей [3-7], о чем будет сказано ниже. Напротив, обусловленное гротесковой своей гранью, такое предложение через возбуждение общественности (включая научную) вызовет возросшее внимание, импульс созидательного характера.

Современное состояние и тенденции развития техники в целом и наземных транспортных систем характеризуются постепенным замещением человеко-машинных систем управления альтернативными (в крайних формах их выражения) системами телеуправления и автоматического управления. Здесь уместно вспомнить определение человеко-машинной системы [*man-machine system*]: это «система, состоящая из человека (людей) и техники, причем все ее элементы (и человек, и машина) взаимно дополняют друг друга, используя физические и функциональные преимущества и того, и другого, при обязательном участии человека и машины в функционировании системы» [8]. Следовало бы уточнить: «активный человек – машина» [*Авт.*].

Стремление освободить человека от выполнения управляющих функций продиктовано либо гуманным стремлением оградить его от опасных и/или вредных факторов окружающей среды, либо монотонных операций с дефицитом потребности в естественном интеллекте. Однако повышение уровня автоматизации сопряжено с ростом себестоимости таких систем, зачастую



заводящее в тупик – ситуацию нерентабельности. Человек, и прежде всего из «низших» социальных слоев, остается «дешевле» автоматики. Крайнее выражение такого цинизма – историческая практика использования людей-смертников («камикадзе», шахидов). Выработав шкалу ценности жизни биологических видов, цивилизованное общество допускает в необходимых случаях (особенно для белкового пропитания или как замену себе) ряда животных. Характерен факт целенаправленного использования подопытных и дрессированных «противотанковых» собак. Спасти человека ценой жизни животного – это тоже гуманизм! Примечательно, что в Классификаторе УДК в подразделе «Прикладная зоология» предусмотрена тематическая подгруппа «Использование животных человеком». Но при этом оговорены лишь два варианта такого использования: для борьбы либо с другими животными, либо с растениями. В литературе, тем не менее, встречается и словосочетание «боевые животные» [3].

В усиление оправдания своей позиции люди ввели также понятие «паразиты», относя к этой категории и крыс, будучи сами наиболее выраженными паразитами на Земном шаре [9].

По авторскому мнению, альтернативой человеко-машинным, теле- и автоматическим системам, в частности системам управления наземными транспортными средствами (ТС) военного и специального назначения, могут стать системы зоо-машинные (с использованием зоологических субъектов управления – животных), в том числе крысо-машинные.

### **Понятие зоо-машинной системы**

Автором вводится понятие «зоо-машинная система» (ЗМС), где признается и используется аналогия с уже упоминавшимся и определенным выше понятием «Человеко-машинная система» (ЧМС) [*en: man-machine system*] (или система «человек—машина») [10]. Прежде всего, речь пойдет о зоо-машинных системах управления (ЗМСУ), то есть с более определенным (обозначенным) функциональным назначением как машины, так и второго ее обязательного компонента – живого существа. В определении предлагаемого понятия за основу может быть принята следующая формулировка:

**ЗОО-МАШИНАЯ СИСТЕМА** [*en: Zoo-machine system; animal-machine system*] (или система «активное животное—машина») — система, состоящая из животного (животных) и техники, причем все ее элементы (и животное, и машина) взаимно дополняют друг друга, используя физические и функциональные преимущества того и другого, при обязательном участии и животного и машины в функционировании системы.

В приложении к ЗМСУ подвижные объекты техногенного происхождения – ТС или транспортный комплекс есть объект управления. Зоологический субъект («зоосубъект») выступает в качестве субъекта управления ТС. Техническая («машинная») часть (в том числе орган(ы) управления) в совокупности с зоосубъектом управления образуют собственно ЗМСУ.

Главное преимущество животного перед машиной — в его специфических биологических, физиологических и психических свойствах, в том числе

возможностях органов чувств (обоняние, зрение, слух) и ориентации в пространстве, непредсказуемость поведения, зачастую более низкая пресловутая «ценность» в экономической оценке Человечеством. В то же время животное уступает машине в предсказуемости поведения, быстродействии, способности к «обучению» и точному выполнению заданного алгоритма действий, практически неспособно к математическим вычислениям. Оговоренная здесь нелогичность, казалось бы, подхода к «предсказуемости-непредсказуемости» – кажущаяся, так как есть системы с диаметрально противоположными требованиями по функциональному назначению. Например: управление ТС по заданной траектории; потребность именно в непредсказуемости траектории. Подавляюще уступая человеку в творческом разуме, умении подходить к решаемым задачам нестандартно, эвристически, в некоторых областях человеческой деятельности животное эффективнее, а значит, предпочтительнее человека (в совокупности с машиной). Так, определяющие к использованию в ЗМСУ вместо людей, доминантные «положительные качества» крыс – это, прежде всего:

- «бесправное» положение перед Человечеством, многовековое причисление их к бытовым паразитам, в дозволенности, а значит, доступности к применению во вредных и опасных для жизни человека условиях;
- существенно меньшие габариты и масса;
- значительно более чувствительное обоняние.

Частный случай ЗМС – крысо-машинная система (КМС). В числе «пилотных» проектов ЗМСУ в области наземного транспорта:

- КМСУ наземным транспортным средством – минным тралом с использованием естественной системы обоняния крысы-«смертницы» в сочетании с дрессируемостью крыс;
- КМСУ наземным транспортным средством – подвижной мишенью для испытаний оружия и тренировки личного состава вооруженных сил, с использованием естественной системы обоняния крысы-«смертницы».

Это «свеже»-запатентованные авторские разработки, о которых пойдет речь и которые определяют оригинальный характер данной статьи.

## **Краткое описание авторских пилотных проектов ЗМСУ**

### **1. Крысо-машинная система разминирования**

В основу проекта положена активно используемая в Африке технология разминирования минных полей обучаемыми в специальных организациях гамбийскими хомяковыми («сумчатыми») крысами [*Cricetomys gambianus*; en: *Gambian pouched rat*] [11-16]. *АРОРО* (*Anti-Persoonsmijnen Ontmijnende Product Ontwikkeling* — «развитие продуктов обнаружения противопехотных мин») — бельгийская неправительственная организация. Подготовленных крыс называют «*Hero Rat*» («крыса-герой») [10]. Миссия *АРОРО* заключается в разработке технологии поиска мин крысами, чтобы «обеспечить решение глобальных проблем и вдохновлять позитивные социальные изменения» [11, 16]. Стоимость обучения крысы – в 3 раза меньше стоимости дрессировки собаки и составляет \$7770 [16]. Крыса-сапер работает «пешком», на

поводковой привязи к направляющему тросу, под присмотром человека-инструктора. Отличное обоняние крысы (по запаху закиси азота, выделяемой взрывчатым веществом) делает способ весьма эффективным. Но ее веса не хватает для подрыва мины. Ценой возможной гибели человека-сапера, принимающего от нее «эстафету» нейтрализации мины. Зоосубъект – «коллеге» антропосубъекту. Очевидна целесообразность (за некоторыми исключениями) незамедлительного подрыва мины, дистанционно от человека. Как бы ни было жалко ученое животное.

В принципе, это можно осуществить применением самоходных тралов, достаточно тяжелых для срабатывания взрывателя мины, но малогабаритных и максимально дешевых. Человека-оператора на такое наземное транспортное средство посадить никак нельзя, а установка систем телеуправления и тем более автоматического управления существенно удорожают одноразовые средства. «Тонкий нюанс»: в идее зоо-системы предлагается не крысу посадить вместо человека-водителя (оператора) на транспортное средство-тральщик, а, наоборот (нетрадиционный подход замены управляющего звена системы), – снабдить крысу-сапера транспортным средством – самоходным тралом, причем максимально адаптированным «под крысу». Иначе говоря, пешую крысу заменить моторизованной.

Краткая формулировка основных признаков с выделением главных отличительных особенностей предложенного автором нового способа разминирования (в изначальном техническом предложении) [17]:

в способе управления поворотом наземного транспортного средства, заключающемся в силовом управляющем воздействии на подвижный, относительно несущей конструкции транспортного средства, орган управления системы управления поворотом шасси со стороны находящегося на транспортном средстве живого существа, механически связанного с упомянутым органом управления с возможностью опоры в несущую конструкцию шасси, в качестве управляющего живого существа используют крысу, обеспечив при этом ее принудительную постоянную механическую связь с органом управления.

Рассмотрим техническое предложение подробнее (рис. 1-4).

Способ управления поворотом наземного транспортного средства, в общем случае, заключается в силовом (сила  $F$ ) управляющем воздействии на подвижный, относительно несущей конструкции **1** ТС, орган **2** управления в составе системы управления поворотом шасси со стороны живого существа **3**, находящегося на ТС.

Последнее механически связано с органом **2**, с возможностью опоры в несущую конструкцию **1**. Здесь в качестве управляющего живого существа **3** используют крысу, обеспечив принудительную постоянную механическую связь **4** с органом **2** (рис. 1-3).

В рекомендуемых частных вариантах способа:

- крысу **3** размещают в носовой части ТС с обеспечением зон обоняния (**5**) и видимости (**6**) ею местности, по крайней мере, в телесном секторе с азимутом  $\pm 90^\circ$  относительно продольной оси **7** шасси ТС;

- используют крысу 3, дрессированную на маяковые точечные объекты, в том числе мины 8, выделяющие закись азота ( $NO_2$ ), др. соединения азота и кислорода и/или иные пахучие вещества, воспринимаемые крысой.

Устройство для осуществления такого способа, в варианте самоходного минного разградителя (трала), содержит самоходное шасси с несущей конструкцией 1, силовой установкой 9, источником энергии 10 (например, с аккумулятором), колесным движителем (ведущие 11 левого, ведущие 12 правого и ведомое управляемое 13, посредством поворотной оси 14, колеса) и/или гусеничным движителем (левая 15 и правая 16 гусеничные тележки, показанные упрощенно – без опорных катков, их подвески и поддерживающих катков) и системой управления с поворотным (на углы  $\pm\alpha$ ) рычажным органом 2 управления поворотом ТС, средство инициирования взрывателя мины 8. Последним (8) являются опорные элементы шасси – колеса 11-14, гусениц тележек 15, 16 или его навесного оборудования, характерного для минных тралов. Например, катковый трал 17. При достаточности их давления на грунт для срабатывания контактного взрывателя. Могут быть применены электромагнитные устройства.

Рычаг (орган управления) 2 горизонтален и направлен от вертикальной оси 18 своего поворота вперед, с возможностью отклонения влево и вправо на угол  $\pm\alpha$ , предпочтительно в диапазоне до  $\alpha = \pm 90^\circ$ . Подвижный его конец расположен в носовой части шасси и взаимосвязан (узел 19 механической связи 4 – соединения «рычаг 2 – короткий поводок 20») с расположенным под ним нагрудным фиксатором («сбруей») 21 (см. рис. 4) или ошейником для крысы 3, дрессированной, как минимум, на обонятельный поиск мины 8.

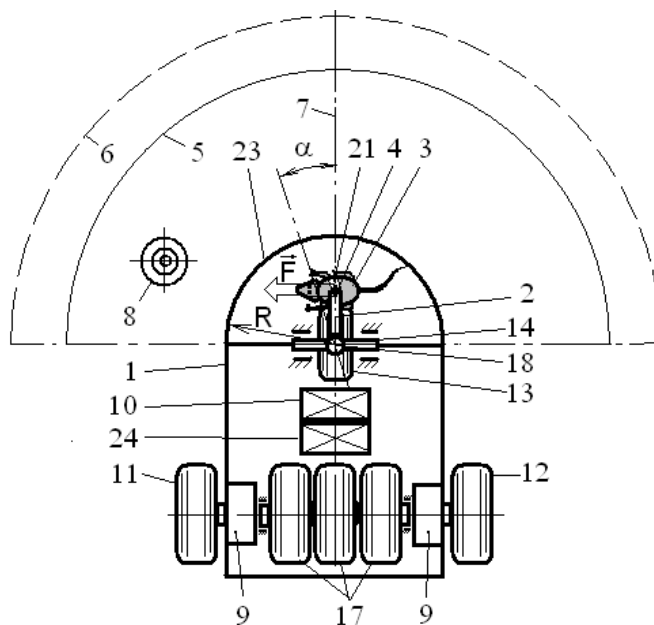


Рис. 1. Колесное ТС, управляемое крысой посредством рулевого рычага, механически связанного с поворотной осью управляемого колеса, вид в плане:

$R$  – радиус кривизны фронтальной стенки клетки для крысы;

$F$  – управляющая сила;

$\alpha$  – угол поворота рулевого рычага от нейтрального положения

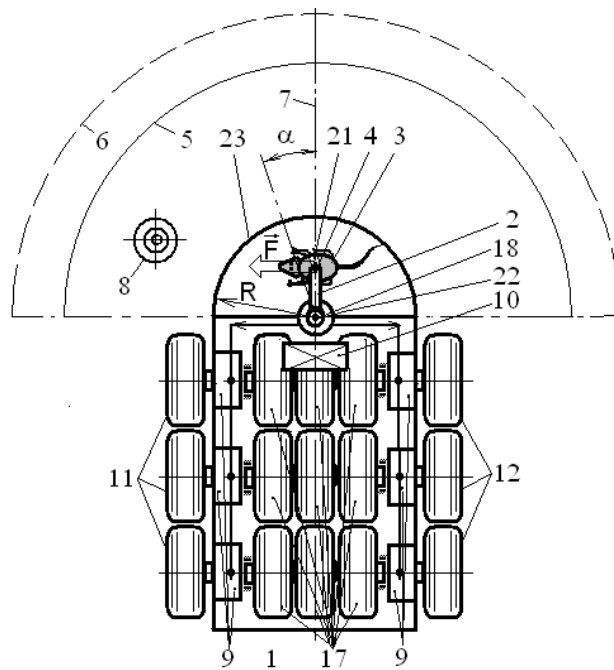


Рис. 2. Колесное ТС, управляемое крысой посредством рулевого рычага, механически связанного с потенциометром, задающим рассогласование скоростных режимов вращения ведущих колес левого и правого бортов или сервоприводами поворота колес, вид в плане

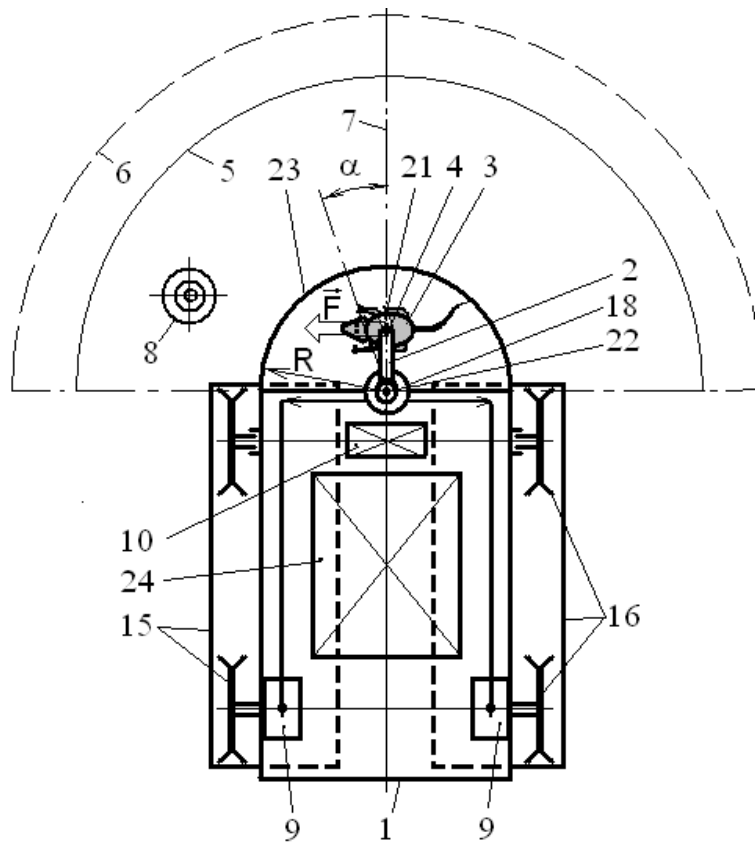


Рис. 3. Гусеничное транспортное средство, управляемое крысой посредством рулевого рычага, механически связанного с потенциометром, задающим рассогласование скоростных режимов вращения ведущих колес левого и правого бортов, вид в плане

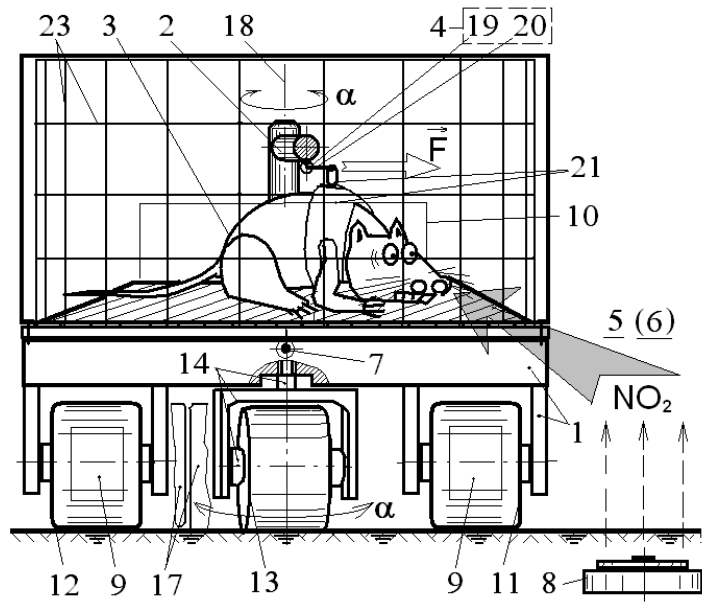


Рис. 4. Колесное ТС, управляемое крысой посредством рулевого рычага, механически связанного с поворотной осью управляемого колеса, вид спереди:  
 $F$  – управляющая сила;  $\alpha$  – угол поворота рулевого рычага [17-19]

С возможностью крысиного маневра с реверсом и вращением.

Далее устройство см. в первоисточниках [17, 18].

Работа устройства представляет собой реализацию способа.

Крыса 3 на минном разградителе, руководствуясь условным рефлексом, выработанным в результате ее предварительной дрессировки, инстинктом защиты «своей» территории, врожденной сообразительностью и природным и/или воспитанным в ней чувством ответственности за порученное дело, осуществляет обонятельный и/или зрительный мониторинг окружающей среды в зонах 5, 6 в телесном секторе с азимутом  $\pm 90^\circ$  относительно продольной оси 7. При обнаружении мины 8 как «маяка», местонахождение которой оказалось, например, левее от текущего курса, она перемещается относительно несущей конструкции 1, создавая «тяговое» усилие (силу)  $F$  в конечном направлении на мину 8. Это вызывает поворот рычага 2 под углом  $\alpha$  к продольной оси 7 шасси.

В первом варианте устройства шасси (см. рис. 1) поворот рычага 2 влечет за собой такой же поворот оси 14 управляемого колеса 13 и, как следствие, – поворот ТС влево, в сторону мины 8. В силу «маякового эффекта», крыса «отслеживает» мину 8 и минный разградитель наезжает на нее.

Во втором варианте (см. рис. 2) поворот рычага 2 влечет за собой такой же поворот на угол  $\alpha$  подвижной части потенциометра 22. Последний выдает электрический сигнал, пропорциональный углу  $\alpha$ , на систему управления приводами или механизм поворота шасси – на рассогласование скоростных режимов работы левых 11 и правых 12 ведущих колес или (как подвариант) поворот как минимум переднего управляемого колеса 13 предусмотренным для этого приводом в составе системы управления. Шасси с шестью неповоротными ведущими колесами поворачивается бортовым способом.

В третьем варианте (см. рис. 3) упомянутый электрический сигнал от потенциометра 22 вызывает рассогласование скоростных режимов перемотки гусениц левых 15 и правых 16 тележек («бортов»).

Для всех конструктивных вариантов, в зависимости от конкретной ситуации (прежде всего, типа мин 8), вследствие взаимодействия опорных элементов ТС с системой минирования, происходит «санкционированный» подрыв мины 8. При этом гибель крысы 3 вероятна, но в силу ее непревзойденной жизнеспособности, не является неизбежной, что позволяет с оптимизмом планировать ее возвращение в строй четвероногих саперов.

## **2. Крысо-машинная система управления подвижной мишенью**

Применительно к подвижным (мобильным) полигонным мишеням, «управляемым» крысами необученными, ситуация несколько иная.

Такая крыса перемещается в клетке, как правило, хаотически, непредсказуемо. Именно это положительное в данном случае явление и заложено в основу заявляемого способа управления мишенью. Создаваемое крысой управляющее усилие  $F$ , переменное по направлению, величине и продолжительности действия, является, по существу, генератором случайных управляющих воздействий на рычаг управления. Вследствие чего ТС, даже при отсутствии поперечных возмущений от неровностей местности, перемещается по случайной кривой, затрудняя ведение по ней прицельного огня из артиллерийского, стрелкового и прочего оружия. Что и требуется по условиям полигонных тренировок личного состава и испытаний оружия. В частности, исключает вероятность предварительного сговора стрелков с организаторами (программистами) на стрельбище.

В качестве ТС-мишени рекомендовано использовать бывшие в употреблении и подлежащие утилизации автомобили гражданского назначения с соответствующими относительно дешевыми доработками (прицеп из автопокрышек и рулевая приставка – промежуточное управляющее звено между крысой и штатной рулевой системой автомобиля) [17-19].

### **Эффективность и перспективы разработки**

Использование предложений позволит получить комплексный тактико-технико-экономический положительный эффект. Заменой субъекта управления ТС, а именно человека крысой, наряду с реализацией способа обнаружения мин, достигается и их нейтрализация методом траления в дистанционном режиме (пространственном удалении человека). При этом поражение мишеней не влечет за собой угрозы нанесения вреда жизни и здоровью человека. Наиболее эффективным (с учетом уровня рентабельности) такой способ разминирования представляется при небольшом количестве мин, подлежащих уничтожению. В отношении мишеней отмечается дополнительный положительный результат – непредсказуемое управляющее воздействие субъекта управления – крысы как генератора случайных силовых управляющих воздействий на орган управления поворотом ТС с сообразной этому траекторией движения мишени.

## Выводы

1. Развитие зоо-машинных систем (систем «активное животное—машина») [*zoo-machine system; animal-machine system*] как нового направления прикладной науки и техники, а также создание и практическое использование соответствующих технических средств – концептов на стыке транспортного машиностроения, зоологии и военного дела представляется эффективным и перспективным, хотя и будет при этом носить ограниченный (специальный) характер, с ограничением предполагаемой численности мин на участке разминирования, выборочностью операций.

2. Принципиальная возможность реализации зоо-машинных систем на теоретическом уровне продемонстрирована на примере серии концептуальных проектов крысо-машинных систем управления наземными ТС – минными тральщиками (варианты), управляемыми дрессированными крысами, и подвижными мишенями (варианты), управляемыми крысами недрессированными.

3. Авторские пилотные разработки по теме на уровне изобретений запатентованы в 2014 году, апробированы на конференциях в г. Воронеже (2014 г.), С.-Петербурге (2015 г, ВНИИТМ) и рекомендуются к внедрению.

4. Статья носит концептуальный, прикладной научно-теоретический характер и предназначена, главным образом, для инженеров-специалистов в областях транспортного машиностроения и военно-промышленного комплекса, зоологов и военных, изобретателей.

## Список литературы

1. Патент № 2399858 (РФ). Способ удаления отходов жизнедеятельности из обитаемого отделения военного объекта и устройство для его осуществления / А.Г. Семенов. – МПК F41H 7/00. 19.01.2009. – 2010. – Бюл. №14.

2. Семенов, Александр [и др.]. Бронированные машины специального назначения: концепции и проекты. Монография // А.Г. Семенов, А.Д. Элизов – Deutschland., Saarbrücken – Berlin – Leipzig: LAP LAMBERT Academic Publishing., 2012. ISBN 978-3-659-22054-8. – С. 9-17.

3. Голубь (проект) [ЭР] // Путь доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/> .

4. Проект «Голубь» [ЭР] // Путь доступа: <http://www.yugzone.ru/articles/project-pigeon.htm>.

5. Top secret weapons revealed (14 авг. 2012) [ЭР].

6. Skinner's Utopia: Panacea, or Path to Hell?, *TIME Magazine* (Sept. 1971).

7. Интернет-ресурс: <http://cyberneticzoo.com>.

8. Человеко-машинная система [ЭР] // Путь доступа: <http://slovari.yandex.ru/>.

9. Добрецов, Р.Ю. [и др.]. Паразитизм как высшая стадия эволюционного развития [Текст] / Р.Ю. Добрецов, А.Г. Семенов // Виртуальный мир – Приложение к «Демидургу» (Вестнику АТТ). СПб.: АТТ. 2008. №1. [ЭР] // <http://www.att-vesti.narod.ru/PR20.htm>.

10. Анализ человеко-машинных систем: рабочая программа и задание на контрольную работу с методическими указаниями для студентов V курса по



специальности 071900 [ЭР] М.: МПС России. Российский государственный открытый технический университет путей сообщения, 2003 // <http://www.coolreferat.com/>.

11. Интернет-ресурс: АРОРО — Who We Are.

12. Интернет-ресурс: <http://www.okdzks.com/page.php?id=121>.

13. Оказывается, для поиска мин используют не только собак, но и крыс [ЭР]//[http://www.zateevo.ru/?section=page&action=edit&alias=Okazyvaetsia\\_Krysy\\_minu](http://www.zateevo.ru/?section=page&action=edit&alias=Okazyvaetsia_Krysy_minu)

14. Website von HeroRATS.org, abgerufen am 15. April 2009 [ЭР].

15. Армия США займется обучением крыс-саперов [ЭР] // **Ошибка! Недопустимый объект гиперссылки.** [lenta.ru/news/2012/08/01/rats/](http://lenta.ru/news/2012/08/01/rats/)

16. АРОРО [ЭР]// Путь доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/АРОРО>.

17. Патент № 2511755 (РФ). Заявка № 2012145381/11. Способ разминирования минных полей и устройство для его осуществления / А.Г. Семенов. МПК F41H 11/16. – Опубл. 10.04.2014, Бюл. №10.

18. Патент № 2511269 (РФ). Заявка № 2012143567/11. Способ управления поворотом наземного транспортного средства и самоходный минный разградитель / А.Г. Семенов. – F41H 11/16. – Опубл. 10.04.2014, Бюл. №10.

19. Семенов А.Г. Место и перспективы применения зоо-машинных систем управления наземным самоходным транспортом // Сб. науч. трудов по материалам Международной науч.-практич. конф. «Альтернативные источники энергии на автомобильном транспорте: проблемы и перспективы рационального использования». 20-21 марта 2014 / Под общ. ред. А.И. Новикова, Воронеж, ВГЛА. 2014. В 2 т. Т. 2. ISBN 978-5-7994-0625-7. – С. 251-255.

## **ОЦЕНКА ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО СКЛАДА ТАРНО-ШТУЧНЫХ ГРУЗОВ МЕТОДОМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

В.С. Тимченко

*Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко  
Российской академии наук*

**Аннотация.** Статья посвящена демонстрации возможностей метода имитационного моделирования при рассмотрении процесса функционирования распределительного склада, на котором происходит обслуживание семи различных категорий транспортных средств, время выгрузки которых зависит от количества перевозимых палет стандартного размера. Рассматривается структура имитационной модели, позволяющая оценить возможность освоения рассматриваемого грузопотока при заданных параметрах функционирования распределительного склада и соотношения категорий транспортных средств.

**Ключевые слова:** транспортная инфраструктура, имитационное моделирование, распределительный склад, тарно-штучные грузы, палето-место, автопогрузчик, категории транспортных средств, перерабатывающие способность.

# DETERMINING THE PROCESSING CAPACITY OF THE DISTRIBUTION WAREHOUSE FOR PACKAGED CARGOES BY MEANS OF SIMULATION TECHNIQUE

V.S. Timchenko

*Institute of Transport named after N.S. Solomenko  
of the Russian academy of sciences*

**Abstract:** The article shows the capabilities of simulation technique for examining the operation of distribution warehouse serving seven different categories of vehicles. The period of unloading of the vehicles depends on the number of the transported standard-sized pallets. The structure of the simulation model in question helps to appreciate the possibility of a certain storehouse flow capacity for the given operation parameters of the distribution warehouse and the ratio of the vehicle categories.

**Keywords:** transport infrastructure, simulation, distribution warehouse, packaged cargo, pallet-place, autoloader, vehicle categories, processing capacity.

Транспортный комплекс РФ работает в условиях ежегодного роста объемов грузовых перевозок и дефицита пропускных и провозных способностей [1], что вызывает необходимость больших объемов инвестиций в поэтапное развитие инфраструктуры.

Исследования показывают, что 85-95% общей продолжительности логистической цепи производственного цикла товародвижения составляет ожидание обработки, транспортировки и других операций, включая нахождение на складах [2], поэтому столь важна надежная оценка соответствия перерабатывающей способности склада объему и структуре грузопотока.

Этот вопрос становится тем более значимым, что сегодня значительное число крупных российских производственных компаний, торговых сетей и иностранных ритейлеров выбирают расширение сбыта продукции в регионах в качестве основного направления своего развития и остро нуждаются в качественных масштабных услугах складской логистики.

В Транспортной стратегии РФ на период до 2030 г. ставится задача интенсивного развития транспортной инфраструктуры. Одним из направлений ее научного обеспечения является создание имитационных систем [3], позволяющих моделировать системы различных видов транспорта.

При рассмотрении развития и построения транспортных сетей [4], с точки зрения инновационных проблем, необходимо учитывать, что именно построение и развитие имитационных моделей позволяет решить проблемы анализа существующих транспортных сетей и их построения.

Имитационная модель позволяет [5] автоматически определять значения параметров рассматриваемой системы, меняя при этом условия протекания процесса и случайные события, учет которых при традиционных подходах вызывает существенные затруднения. Это позволяет оперативно учитывать все изменения в проекте, а также получить более точные значения оптимальных параметров функционирования системы, чем при традиционно применяемом расчете.

Целью исследования является демонстрация возможностей метода имитационного моделирования при комплексном рассмотрении процесса функционирования объектов транспортной инфраструктуры.

Объект исследования – распределительный склад, на котором происходит обслуживание семи различных категорий транспортных средств, время выгрузки которых зависит от количества перевозимых палет стандартного размера.

Предметом исследования является оценка возможности освоения рассматриваемого грузопотока при заданных параметрах функционирования распределительного склада и соотношения категорий транспортных средств.

Имитационная модель была построена в среде AnyLogic, которая является на сегодняшний момент универсальным средством имитационного моделирования, в рамках которой реализованы: дискретно-событийный, агентный и системно-динамический подходы. В рамках данного исследования был использован дискретно-событийный подход [6], который позволил рассмотреть процесс выгрузки транспортных средств с помощью имитационной модели, структура которой представлена на рис. 1.

Первым идет блок, отвечающий за интенсивность поступления заявок в модель «Поступление автомобилей». Его параметры заданы таким образом, чтобы исключить межоперационные простои, т.к. мы рассчитываем максимальную перерабатывающую способность склада. Если бы мы рассматривали задачу оптимизации работы имеющегося склада, то в этом блоке использовался бы закон распределения интенсивности поступления транспортных средств.

Далее идет блок, имитирующий очередь автомобилей на склад, «Очередь на обслуживание». С целью сокращения количества проводимых экспериментов была задана максимальная длина очереди транспортных средств, ожидающих выгрузки.

Блок «Количества одновременно разгружаемых автомобилей» позволяет задать максимальное количество автомобилей, которые могут быть одновременно обслужены исходя из планировки склада.

Затем идет развилка, вызванная тем, что перед началом разгрузки автомобилей водитель должен предъявить сопроводительные документы на груз, и только после этого начнется выгрузка автомобиля. Если автомобиль находится в очереди больше времени, необходимого на эти операции, то считается, что они выполняются во время нахождения автомобиля в очереди, в противном случае эти операции выполняются до начала обработки автомобиля.

Затем идет сеть развилки, которые позволяют «размножить» ту часть модели, которая отвечает за процесс выгрузки [7-9]. Это связано с тем, что в модели рассматривается семь категорий транспортных средств, каждая из которых имеет свою вместимость, измеряемую в количестве стандартных палет. Развилки позволяют задать процентное соотношение категорий транспортных средств, обслуживаемых на складе.

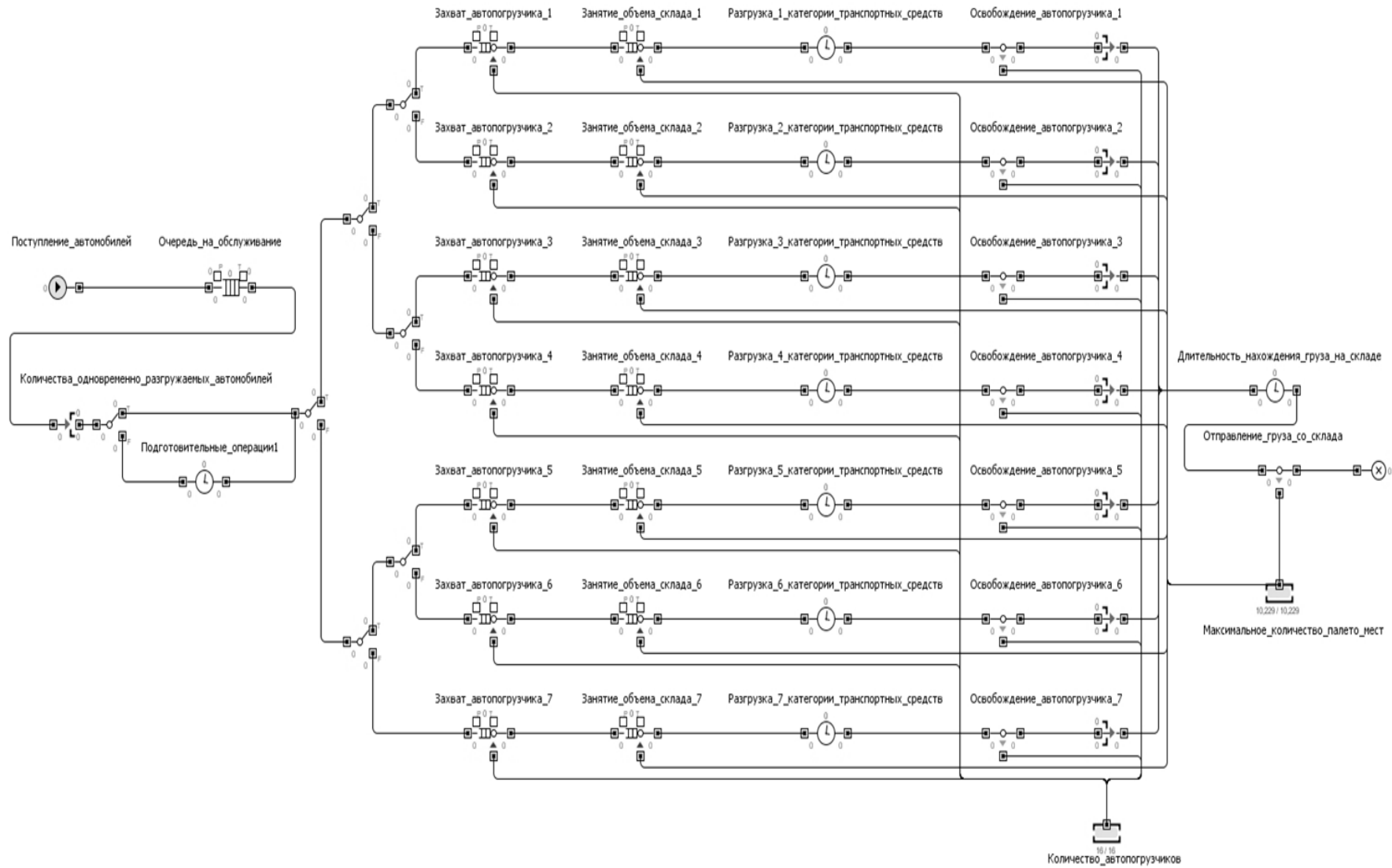


Рис. 1. Структура имитационной модели распределительного склада

Далее идут блоки «Захват автопогрузчика», которые позволяют использовать имеющиеся средства механизации «Количество автопогрузчиков», число которых в нашем случае будет равно количеству мест для выгрузки автомобилей, обусловленные планировкой склада. Однако если есть задача промоделировать работу склада в условиях заданной вероятности выхода средств механизации из строя, то могут встречаться моменты времени в процессе моделирования, когда эти параметры будут отличаться.

Блок «Количество автопогрузчиков» в данном случае выступает в виде хранилища ресурсов, которые требуются для выгрузки очередного автомобиля. Эти ресурсы являются универсальными и не зависят от категории транспортных средств, т.е. могут одновременно выгружаться n автомобилей любой категории, но так, чтобы их суммарное количество в любой момент времени не превышало ни количества автомобилей, одновременно выгружаемых, исходя из планировки склада, ни количества средств механизации.

Далее идут блоки, отвечающие за степень заполнения стеллажей на складе, «Занятие объема склада», которым соответствует блок «Максимальное количество палетомест», ведущий себя аналогично блоку «Количество автопогрузчиков». Если в процессе моделирования при заданных параметрах системы объем склада будет полностью заполнен, то моделирование завершается и делается вывод о невозможности освоения заданного грузопотока при заданных параметрах склада. Оператору имитационной модели при следующем эксперименте следует сделать одно из двух возможных действий:

1. Увеличить максимальный объем склада;
2. Сократить объем грузопотока путем:
  - а) Увеличения интервалов между прибытием автомобилей (но тогда будут возникать межоперационные простои и не будет рассчитана максимальная перерабатывающая способность склада);
  - б) Сократить количество палет в автомобиле (нельзя сделать, если эти параметры заданы).

По мнению автора, наилучшим вариантом будет задание изначально завышенной емкости склада и выведение на временной график динамики его фактического заполнения, пиковое значение которого и будет характеризовать максимальное использование перерабатывающей способности склада.

Далее идут блоки «Разгрузка категории транспортных средств», в каждом из которых задано фиксированное время обработки данной категории транспортных средств (можно задать также в виде некоего диапазона или закона распределения).

Блоки «Освобождение автопогрузчика» позволяют начать обработку следующего автомобиля, после которых идут блоки, ограничивающие логически ту часть модели, в которой может находиться ограниченное количество автомобилей, исходя из планировки склада.

Затем идет блок «Длительность нахождения груза на складе», который определяет длительность занятия палетоместа. В данной модели работа склада моделируется на макроуровне и не учитывает его внутреннюю технологию, связанную с распределением палет на складе и движением по нему автопогрузчиков.

Блок «Отправление груза со склада» определяет момент времени освобождения палетоместа, которое с этого момента может быть занято другим грузом.

Завершает модель блок, моделирующий удаление груза со склада.

Описанная модель позволяет проводить эксперименты и решать задачи различного уровня:

1. Оперативные – принятие на хранение дополнительного объема грузопотока;
2. Тактические – закупка дополнительного количества средств механизации;
3. Стратегического – увеличение полезного объема склада.

С помощью модели был проведен эксперимент со следующими исходными данными: 16 одновременно разгружаемых автомобилей: 6 мин на подготовительные операции; количество палет в автомобилях по категориям соответственно (1, 3, 4, 6, 12, 14 и 16), время оборота погрузчика (50 мин), доли транспортных средств по категориям соответственно (0,05; 0,05; 0,1; 0,1; 0,2; 0,2; 0,3) и максимальная вместимость склада (10229 палет).

Длительность нахождения палет на складе задается треугольным законом распределения  $\text{triangular}(10080, 57600, 14400)$ , согласно которому минимальное время нахождения палет на складе – 7 дней, максимальное – 40 дней, с среднее – 10 дней.

Результаты имитационного моделирования количества занятых палетомест в течение трех месяцев (129.600 мин), в условиях пустого склада в момент начала моделирования, представлены на рис. 2.

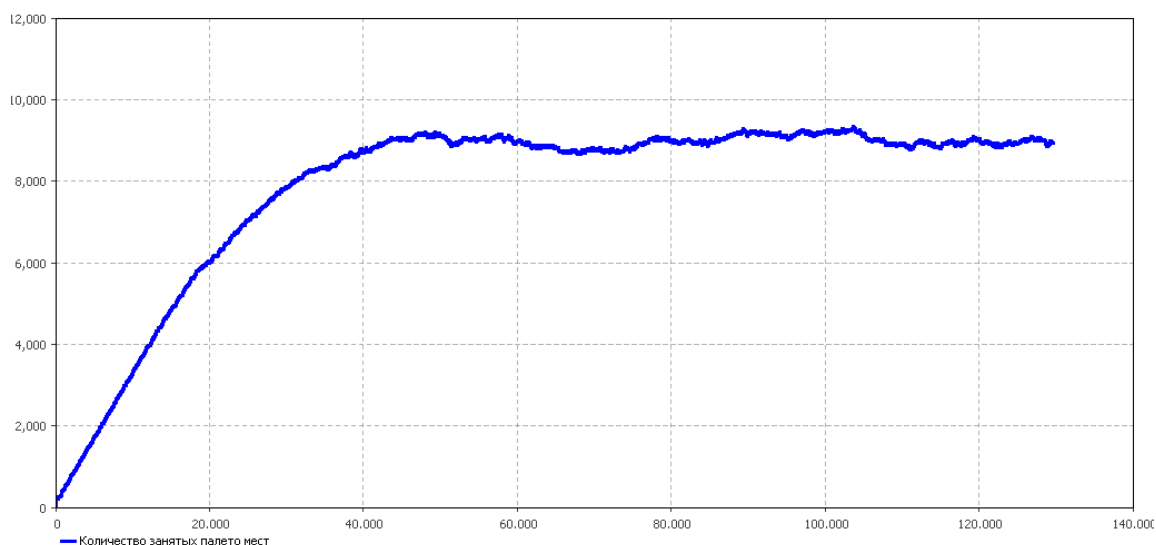


Рис. 2. Количества занятых палетомест

Результаты моделирования демонстрируют достаточность перерабатывающей способности для освоения рассматриваемого грузопотока в условиях заданных параметров функционирования распределительного склада и рассматриваемого соотношения категорий транспортных средств.

Модель позволяет рассмотреть работу склада при других процентных соотношениях рассматриваемых категорий транспортных средств, а также увеличить их количество, при несложной ее модификации. При наличии законов распределения интенсивности поступления транспортных средств, имитационная модель позволяет не только оценить максимальную перерабатывающую способность, но и достаточность инфраструктурных и технологических мероприятий по ее увеличению, в случае необходимости увеличения перерабатывающей способности распределительного склада.

С помощью имитационной модели можно рассчитать следующие основные показатели эффективности работы распределительного склада:

- Коэффициент загрузки каналов;
- Средняя длина очереди;
- Среднее время ожидания обслуживания;
- Вероятность ожидания обслуживания.

### **Заключение**

В статье представлена имитационная модель работы распределительного склада, которая позволяет оценить достаточность его перерабатывающей способности в условиях обслуживания семи категорий транспортных средств, предназначенная для визуализации, анализа и поиска устойчивых параметров функционирования системы.

### **Список литературы**

1. Кокурин И.М. Методы определения «узких мест», ограничивающих пропускную способность железнодорожных направлений / И.М. Кокурин, В.С. Тимченко // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2013. – Выпуск 1 (34). – С. 15-22.

2. Тушин, Н.А. Системная интеграция в транспортных процессах (теоретические основы, организационные формы, методы оптимизации): дисс. ... д-ра. техн. наук: 05.22.08 / Тушин Николай Андреевич. – Екб., 2012. – 408 с.

3. Тимченко В.С. Перспективы применения отечественного опыта расчёта железнодорожных станций, участков и транспортных узлов методом имитационного моделирования при развитии железнодорожной инфраструктуры Крымского полуострова [ЭР]/ В.С. Тимченко // Интернет-журнал «Мир науки». - 2014. - №4. С. 17-25.

4. Белый О.В. Инновационные проблемы развития транспорта / О.В. Белый // Бюллетень объединенного ученого совета ОАО РЖД. – 2010. - №4. – С. 97-100.

5. Долматов М. А. Моделирование как инструмент оценки инженерных решений при разработке проектов развития судостроительных и

судоремонтных предприятий России [ЭР] / М. А. Долматов, Р. С. Нисенбаум, А. М. Плотников, Д. О. Федотов // Национальное общество имитационного моделирования. URL: <http://simulation.su/uploads/files/default/ikm-mtmts-64-69.pdf> (дата обращения 24.01.2015 г.).

6. Борщев А.В. Как строить простые, красивые и полезные модели сложных систем / А.В. Борщев // Сборник докладов шестой всероссийской научно-практической конференции «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2013). Том 1 // ISBN 978-5-9690-0221-0 // Издательство «ФЭН» Академии наук РТ, Казань, 2013, с. 21-34.

7. Тимченко В.С. Оценка перерабатывающей способности грузового фронта методом имитационного моделирования / В.С. Тимченко // Молодой ученый. — 2015. — №5. — С. 189-192.

8. Тимченко В.С. Оценка перерабатывающей способности грузового фронта методом имитационного моделирования / Ю.Е. Галкина, К.Е. Ковалев, В.С. Тимченко // Вестник транспорта Поволжья. — 2015. — №1. — С. 54-58.

9. Тимченко В.С. Расчет перерабатывающей способности грузового фронта, обслуживающего четыре категории транспортных средств, методом имитационного моделирования / В.С. Тимченко // Перспективы развития научных исследований в 21 веке. — 2015. — №7. С. — 51-54.

## **МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ПАРКА ОТСТОЯ В ПРИПОРТОВОМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ УЗЛЕ**

В.С. Тимченко

*Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко  
Российской академии наук*

**Аннотация.** В статье предлагается методика обоснования строительства парка отстоя в припортовом железнодорожном узле. Парк отстоя необходим вследствие различной пропускной способности железнодорожных подходов, перерабатывающих способностей станций и терминалов, а также для устранения влияния неравномерности подхода поездов и морских судов.

**Ключевые слова:** припортовый железнодорожный узел, железнодорожные подходы, пропускная способность, «бросание» поездов, парк отстоя, перегрузочные терминалы, перерабатывающая способность.

## **JUSTIFICATION METHOD OF PARKING SPACE CONSTRUCTION EFFICIENCY IN THE PORT RAILWAY JUNCTION**

V.S. Timchenko

*Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences*

**Abstract:** The article proposes a justification method of parking space construction in the port railway junction. Parking space is needed because of different capacity of railways, different refining capacity of stations and terminals, as well as to eliminate the irregularity of trains and ships coming.

**Key words:** port railway junction, railways, railways capacity, trains «leaving», parking space, transshipping terminals, handling capacity.



При движении грузовых поездов к морским портам возникают скопления железнодорожных составов на припортовых станциях и подходах к ним в ожидании подачи в порт [1], которые осложняют работу других станций и участков.

Рост экспортного грузопотока в существующих условиях отставания в развитии пропускных способностей железнодорожных направлений и перерабатывающих способностей технических станций влечет задержки поездов и отставление их от движения («бросание»). В 2012 году на подходах к морским портам ежедневно простаивало в ожидании выгрузки 31,2 тыс. вагонов с экспортными грузами [2]. Количество поездов, отставленных от движения («брошенных»), возросло в два раза по сравнению с 2011 годом.

При этом возникают недопустимые скопления железнодорожных составов на припортовых станциях и на подходах к ним в ожидании подачи в порт, которые серьезно осложняют работу прилежащих станций, а отставление поездов от движения создает проблемы с пропуском грузовых поездов.

Классификатор причин «бросания» составов поездов [3] содержит 25 различных наименований, каждая из которых требует своего воздействия по устранению.

Уменьшить влияние этих факторов возможно строительством парка отстоя [4] у территории порта, что позволит в периоды превышения норм суточного прибытия груженых вагонов в порт не бросать составы в пути следования, а размещать в этом парке до выгрузки.

В данном случае парк отстоя необходим вследствие различной пропускной способности железнодорожных подходов, перерабатывающих способностей станций и терминалов, а также для устранения влияния неравномерности подхода поездов и морских судов.

Железнодорожное обслуживание морских портов осложняется неравномерностью прибытия морских судов, недостаточной перерабатывающей способностью перегрузочных терминалов портов и вместимостью складов, малым количеством приемо-отправочных путей на припортовых станциях. Поэтому задержки грузовых поездов, движущихся к морским портам, значительно выше, чем поездов других назначений.

При этом возникают скопления железнодорожных составов на припортовых станциях и подходах к ним в ожидании подачи в порт, которые серьезно осложняют работу других станций и участков.

В результате из-за сложностей с организацией ритмичной работы двух видов транспорта на подходах к морским портам [5] появляется большое число «брошенных» поездов.

В работе [6] показано, что отставление составов поездов от движения снижает показатели эксплуатационной работы железных дорог, нарушает технологический процесс подачи вагонов для погрузки и выгрузки, влечет невыполнение перевозчиком обязательств по срокам доставки грузов.

Потери ОАО «РЖД» от отставления поездов от движения складываются из следующих основных составляющих [7]:

1. Отвлечение подвижного состава от перевозочной работы;
2. Затраты ресурсов на отставление от движения и «подъем» поездов;
3. Исключение станционных путей из процессов перевозок и ремонтов инфраструктуры;

4. Выплата пени за нарушение сроков доставки грузов.

Уменьшение количества отставленных от движения поездов позволит сократить:

1. Отвлечение локомотивов и локомотивных бригад на отставление от движения и «подъем» поездов;

2. Использование работников службы вагонного хозяйства в опробовании тормозов на станциях отставления поезда от движения;

3. Использование работников станций и снегоочистительных машин для очистки станции «бросания» поезда;

4. Затраты на продвижение брошенных поездов на станции назначения в условиях дефицита пропускной способности;

5. Выплату пени за несоблюдение сроков доставки грузов.

Суммарные затраты на отставление от движения и «подъем» поезда, в пути следования, за рассматриваемый период предлагается рассчитывать по формулам (табл. 1).

Таблица 1

Методика расчета стоимости потерь по причине отставления поездов  
от движения

Формула	Обозначение	Пояснение	Единица измерения
1	2	3	4
$t_{слр}^i = l_{бп}^i / V$	$t_{слр}^i$	Затраты времени на следование локомотива резервом	мин
	$l_{бп}^i$	Расстояние от станции стоянки поезда до локомотивного депо или станции смены локомотивов	км
	$V$	Скорость следования локомотива резервом	км/ч
$t_{бп}^i = (t_{зс}^i + t_{оол}^i + t_{слр}^i + t_{сл}^i) / 60$	$t_{бп}^i$	Затраты времени на отставление поезда от движения	ч
	$t_{зс}^i$	Затраты времени на закрепление состава	мин.
	$t_{оол}^i$	Отцепка локомотива и ожидание отправления	мин.
	$t_{сл}^i$	Затраты времени на сдачу локомотива локомотивной бригадой в локомотивном депо	мин.
$C_{бчб}^i = c_{бч}^i t_{бп}^i$	$C_{бчб}^i$	Затраты на бригадо-часы при отставлении поезда от движения	руб.
	$c_{бч}^i$	Стоимость бригадо-часа (отдельно для тепловозной и локомотивной тяги)	руб.
$C_{лчб}^i = c_{лч}^i t_{бп}^i$	$C_{лчб}^i$	Затраты на локомотиво-часы при отставлении поезда от движения	руб.
	$c_{лч}^i$	Стоимость локомотиво-часа (отдельно для тепловозной и локомотивной тяги)	руб.

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
$C_{\text{лкб}}^i = c_{\text{лкб}}^i I_{\text{бп}}^i$	$C_{\text{лкб}}^i$	Затраты на локомотиво-километры при отставлении поезда от движения	руб.
	$c_{\text{лк}}^i$	Стоимость локомотиво-километра (отдельно для тепловозной и локомотивной тяги)	руб.
$C_{\text{зб}} = \sum_{i=1}^n (C_{\text{бчб}}^i + C_{\text{лчб}}^i + C_{\text{лкб}}^i)$	$C_{\text{зб}}$	Суммарные затраты на отставление поезда от движения за рассматриваемый период	руб.
$C_{\text{зпр}} = \sum_{i=1}^n 24 t_{\text{б}}^i c_{\text{п}}^i$	$C_{\text{зпр}}$	Затраты на простой поезда	руб.
	$c_{\text{п}}^i$	Стоимости вагоно-часа простоя на станции	руб.
	$t_{\text{б}}^i$	Затраты времени на отставление поезда от движения	сут.
$t_{\text{пп}}^i = (t_{\text{яол}}^i + t_{\text{слр}}^i + t_{\text{пл}}^i + t_{\text{о}}^i + t_{\text{пл}}^i) / 60$	$t_{\text{пп}}^i$	Затраты времени на «подъем» поезда	ч
	$t_{\text{яол}}^i$	Продолжительность времени от явки локомотивной бригады на указанную нитку графика до отправления резервом на станцию отставления поезда от движения	мин.
	$t_{\text{пл}}^i$	Заезд под состав и прицепка локомотива	мин.
	$t_{\text{о}}^i$	Ожидание окончания осмотра состава и отправления со станции	мин.
	$t_{\text{пл}}^i$	Затраты времени на прием локомотива локомотивной бригадой в локомотивном депо	мин.
$C_{\text{бчп}}^i = c_{\text{бч}}^i t_{\text{пп}}^i$	$C_{\text{бчп}}^i$	Затраты на бригадо-часы при «подъеме» поезда	руб.
$C_{\text{лчп}}^i = c_{\text{лч}}^i t_{\text{пп}}^i$	$C_{\text{лчп}}^i$	Затраты на локомотиво-часы при «подъеме» поезда	руб.
$C_{\text{лкп}}^i = c_{\text{лк}}^i t_{\text{пп}}^i$	$C_{\text{лкп}}^i$	Затраты на локомотиво-километры при «подъеме» поезда	руб.
$C_{\text{зп}} = \sum_{i=1}^n (C_{\text{бчп}}^i + C_{\text{лчп}}^i + C_{\text{лкп}}^i)$	$C_{\text{зп}}$	Суммарные затраты на «подъем» поезда за рассматриваемый период	руб.
$t_{\text{ов}}^i = t_{\text{ос}}^i + 2t_{\text{слр}}^i$	$t_{\text{ов}}^i$	Отвлечение работника Службы вагонного хозяйства на осмотр состава «брошенного» поезда с другой станции	мин.
	$t_{\text{ос}}^i$	Затраты времени работника Службы вагонного хозяйства на осмотр состава	мин.
$C_{\text{в}} = \sum_{i=1}^n c_{\text{в}}^i t_{\text{ов}}^i$	$C_{\text{в}}$	Затраты на работы работника Службы вагонного хозяйства	руб.
	$c_{\text{в}}^i$	Стоимость одного часа рабочего времени работника Службы вагонного хозяйства	руб.
$C_{\text{п}} = \sum_{i=1}^n 0,09 t_{\text{птс}}^i c_{\text{п}}^i$	$C_{\text{п}}$	Пени за невыполнение срока доставки	руб.
	$t_{\text{птс}}^i$	Превышение тарифного срока из-за отставления поезда от движения (округляется до целого в большую сторону)	сут.
	$c_{\text{п}}^i$	Стоимость перевозок поезда	руб.
$C_{\text{бп1}} = C_{\text{зб}} + C_{\text{зпр}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{в}} + C_{\text{п}}$	$C_{\text{бп1}}$	Затраты на отставление от движения и «подъем» поезда при отсутствии необходимости очистки состава от снега и обледенения	руб.

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
$t_T^i = \sum_{i=1}^n (t_{яос}^i + t_{ст}^i + t_{рт}^i + t_{оот}^i + t_{мт}^i)$	$t_T^i$	Затраты времени на работу снегоуборочной машины	мин.
	$t_{яос}^i$	Продолжительность времени от явки локомотивной бригады на указанную нитку графика до отправления со снегоуборочной машиной на станцию отставления поезда от движения	мин.
	$t_{ст}^i$	Затраты времени на следование локомотива со снегоочистительной машиной	мин.
	$t_{рт}^i$	Очистка от снега станции отставления поезда от движения	мин.
	$t_{оот}^i$	Ожидание отправления снегоуборочной машины со станции отставления поезда от движения	мин.
	$t_{мт}^i$	Маневры снегоуборочной машины на станции дислокации	мин.
$C_{бчо}^i = c_{бч}^i t_T^i$	$C_{бчо}^i$	Затраты на бригадо-часы при очистке от снега станции отставления поезда от движения	руб.
$C_{лчо}^i = c_{лч}^i t_T^i$	$C_{лчо}^i$	Затраты на локомотиво-часы при очистке от снега станции отставления поезда от движения	руб.
$C_{лко}^i = c_{лк}^i t_T^i$	$C_{лко}^i$	Затраты на локомотиво-километры при очистке от снега станции отставления поезда от движения	руб.
$C_{зо} = \sum_{i=1}^n (C_{бчо}^i + C_{лчо}^i + C_{лко}^i + c_{мс}^i)$	$C_{зо}$	Суммарные затраты при очистке от снега станции отставления поезда от движения	руб.
	$c_{мс}^i$	Стоимость машино-смены работы снегоочистительной техники	руб.
$C_{бп2} = C_{зо} + C_{зпр} + C_{зп} + C_{в} + C_{п} + C_{зо}$	$C_{бп2}$	Затраты на отставление от движения и «подъем» поезда при необходимости очистки состава от снега и обледенения	руб.
$C_{бп} = C_{бп1} + C_{бп2}$	$C_{бп}$	Суммарные затраты на отставление от движения и «подъем» поезда за рассматриваемый период	руб.

Уменьшение количества поездов, отставляемых от движения возможно после строительства парка отстоя на припортовой станции. Так, например, объем капитальных расходов на строительство парка отстоя составов из 10 путей полезной длиной 1050-1500 м на станции Лужская (рис. 1), по экспертным оценкам ОАО Ленгипротранс, в ценах 2012 года, составит 6,3 млрд. рублей.

Для оценки срока окупаемости этого парка по утвержденной методике [8] необходимо по каждому «брошенному» поезду получить статистические данные: о количестве и станциях отставления от движения, количестве и роде груза, моментах времени отправления с начальной станции, «бросания», «подъема» и прибытия на станцию назначения, стоимости поезда-часа при стоянке и движении.

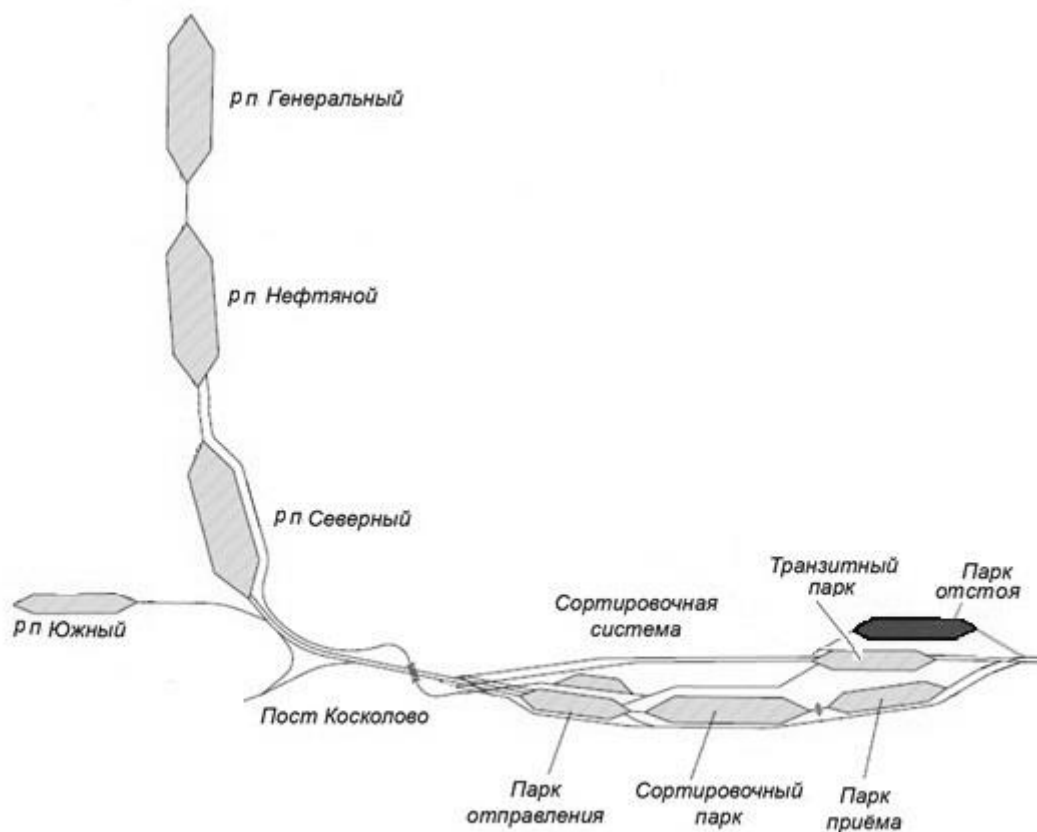


Рис. 1. Схема станции Лужская на 2020 год с парком отстоя

Дисконтированный срок окупаемости строительства парка отстоя составов определяется выражением:

$$DPP = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} > I_0, \quad (1)$$

где  $n$  – число периодов инвестирования;

$CF_t$  – приток денежных средств в расчетный период  $t$ ;

$r$  – коэффициент дисконтирования;

$I_0$  – величина исходных капитальных вложений в нулевой период.

Коэффициент дисконтирования – это процентная ставка, используемая для перерасчета будущих потоков доходов в единую величину текущей стоимости, определяется по формуле:

$$r = \frac{1}{(1+E)^{(n-1)}}, \quad (2)$$

где  $E$  – норма дисконта;

$(n-1)$  – промежуток между оцениваемым периодом и моментом приведения, годы.

Своевременная подача груженых составов из парка отстоя на терминал к началу выгрузки сократит простои работников порта, оборудования и судов.

При достаточном количестве путей в парке отстоя припортовой станции создаются условия для соблюдения договорных сроков доставки грузов.

При простоях вагонов на путях припортовой станции после договорной даты доставки груза, в соответствии с новым Уставом железных дорог и измененным Тарифным руководством №2 [9], ОАО «РЖД» будет получать плату за нахождение подвижного состава на путях общего пользования [10].

При получении исходных данных разработанная методика позволит проводить технико-экономические обоснования строительства парков отстоя на припортовых станциях.

### **Заключение**

В статье представлена методика обоснования строительства парка отстоя в припортовом железнодорожном узле, который позволит сократить количество «брошенных поездов» в пути следования, назначением на припортовую станцию по причине неприема терминалами назначения из-за сверхнормативных загрузок в пиковые периоды.

### **Список литературы**

1. Кокурин, И.М. Организация экспорта каменного угля на основе концентрации логистической цепи поставок / И.М. Кокурин, Д.В. Катцын, И.Г. Малыгин // Наука и транспорт. Модернизация железнодорожного транспорта. – 2013. – №2. – С. 15-17.
2. Дайте дорогу экономике // Эксперт Онлайн [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://expert.ru/expert/2012/25/dajte-dorogu-ekonomike/>.
3. Распоряжение ОАО «РЖД» от 21.08.2008 г. № 1757р «Об организации учета и составлении оперативной отчетности по временно отставленным от движения ("брошенным") составам поездов», 13 с.
4. Железнов, Д.В. Создание станций, специализированных для массового отстоя и подготовки вагонов, как основной путь повышения качества эксплуатационной работы полигонов в условиях обращения избыточного парка и ограничений пропускной способности / Д.В. Железнов // Вестник РГУПС. – 2012. – №3. – С.78-87.
5. Рецепты ускорения / Пульт управления [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.pult.gudok.ru/archive/detail.php?ID=917608>.
6. Велиева, Е.А. Систематизация причин бросания поездов на Дальневосточной железной дороге / Е.А. Велиева // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. – 2014. – №2. – С. 65-69.
7. Тимченко, В.С. Буферный парк в припортовом железнодорожном узле / В.С. Тимченко // Доклады XIV Международной научно-практической конференция «Логистика: современные тенденции развития (ГУМРФ)». – СПб., 2015. – С. 350-353.

8. "Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов" (утв. Минэкономки РФ, Минфином РФ, Госстроем РФ 21.06.1999 N ВК 477), утверждены Министерством экономики РФ, Министерством финансов РФ и Государственным комитетом РФ по строительной, архитектурной и жилищной политике от 21 июня 1999 г. №ВК 477, 257 с.

9. Правила применения ставок платы за пользование вагонами и контейнерами федерального железнодорожного транспорта (тарифное руководство № 2), утверждены постановлением Федеральной энергетической комиссии Российской Федерации от 19 июня 2002 г. №35/12, 17 с.

10. Приказ ФСТ России «Об утверждении платы за нахождение на железнодорожных путях общего пользования подвижного состава и правил ее применения (Тарифное руководство), а также о внесении изменений и дополнений в Правила применения ставок платы за пользование вагонами и контейнерами федерального железнодорожного транспорта (Тарифное руководство №2), утвержденные постановлением Федеральной энергетической комиссии Российской Федерации от 19 июня 2002 года N 35/12» от 29.04.2015 № 127-Т/1, 22 с.

### **ПЕРЕВОЗКИ НАВАЛОЧНЫХ ГРУЗОВ**

А.М. Третьяков, А.М. Глёмин, Ф.П. Мельников,

*Бийский технологический институт (филиал) АлтГТУ*

**Аннотация.** К навалочным грузам относятся уголь, руды, камни природных, а также нерудных строительных материалов, отходы металлургического производства, снег в отвал, мусор и др. При транспортировке навалочных грузов необходимо соблюдать и учитывать следующее: осторожность при движении, чтобы часть груза не выпала из автомобиля, предотвращение самонагрева и самовозгорания горючих веществ, недопущение выступления навалочных материалов за границу бортов кузова автомобиля. При перевозках навалочных грузов могут быть использованы как автомобили-самосвалы, так и специализированные самосвальные автопоезда.

**Ключевые слова.** Навалочный груз, подвижной состав, грузоотправитель, грузополучатель.

### **TRANSPORTATION OF BULK CARGO**

A.M. Tretyakov, A.M. Glemin, F.P. Melnikov

*Biysk technological Institute (branch) Altai state technical University*

**Abstract.** To bulk cargoes include coal, ores, natural stones, and also non-metallic building materials, metallurgical wastes, snow plow, trash, etc. During transportation of bulk cargoes it is necessary to observe and note the following: caution when driving that part of the cargo does not fall out of the car, preventing self-heating and spontaneous combustion of flammable substances, prevention of the protrusion of bulk materials off the sides of the car body. During transportation of bulk cargoes can be used as dump trucks, and specialized tipper lorry.

**Key words.** Bulk cargo, rolling stock, consignor, consignee.

К навалочным грузам относятся уголь, руды всех групп, камни природных, а также нерудных строительных материалов: песка, песчано-гравийной смеси, гальки, гравия, щебня, известняка, мела, бутового камня и его отходов, керамзита, грунта (в том числе растительной земли, глины, торфа); отходы металлургического производства (золы, огарков, шлака и др.), снег в отвал, мусор и др., а также некоторые сельскохозяйственные грузы [1].

Навалочные грузы допускают погрузку и выгрузку навалом, т. е. выдерживают падение с высоты, учитываются по объему и массе.

**Правила перевозки грузов навалом.** Грузоотправитель обязан производить механизированную погрузку, учитывая при этом, что вес груза в ковше погрузочного механизма за один цикл не должен превышать  $1/3$  грузоподъемности подвижного состава. Ковш погрузочного механизма должен находиться на высоте не более 1 м от днища кузова подвижного состава.

При погрузке грузов водитель не должен находиться в кабине автомобиля. Грузоотправителю запрещается перемещать груз над кабиной автомобиля.

После выгрузки груза автомобили должны быть очищены грузополучателем от остатков этого груза.

В случаях, когда по условиям договора автотранспортное предприятие освобождается от обязанности сдавать груз грузополучателю (при перевозке грунта в отвалы, снега и других грузов, по которым не ведется складского учета), очистка автомобилей от остатков груза должна производиться грузоотправителем.

Автотранспортное предприятие совместно с грузоотправителем в договоре перевозки устанавливают согласованный порядок оповещения водителя о подаче автомобиля под погрузку, а также определяют способы обозначения места постановки автомобиля под погрузку.

В целях обеспечения техники безопасности при осуществлении перевозок грузов из карьеров грузоотправитель обязан:

- оградить проезжую часть дороги внутри карьера со стороны нижнего откоса земляным валом или защитной стеной высотой не менее 0,7 м, при наличии уклона дороги внутри карьера более  $8^\circ$  оборудовать участки дороги длиной 50–100 м с нулевым уклоном на расстоянии, не превышающем 100 м от начала подъема дороги;

- на погрузочных площадках, имеющих уклоны, устанавливать упоры под колеса автомобиля;

- своевременно очищать поверхность дороги от снежных заносов, породы и т.д., препятствующих движению автомобиля;

- поливать, при необходимости, поверхность дороги внутри карьера для удаления пыли;

- освещать места работы внутри карьера во избежание ослепления водителя;

- не допускать концентрации газов в карьере выше установленных норм.

Прием к перевозке от грузоотправителя и сдача грузополучателю грузов навалом, при наличии автомобильных весов у грузоотправителя и



грузополучателя, осуществляются автотранспортным предприятием по весу.

При отсутствии автомобильных весов у грузоотправителя вес груза может определяться по соглашению между автотранспортным предприятием и грузоотправителем расчетным путем, по обмеру и объемному весу или условно.

Грузы, перевозимые навалом или насыпью, прибывшие в исправных автомобилях без признаков недостачи, выдаются грузополучателю при отсутствии автомобильных весов у грузополучателя без проверки веса.

При перевозке грунта в отвалы, снега и других грузов нетоварного характера автотранспортные предприятия по условиям договора могут быть освобождены от обязанностей сдавать груз грузополучателю.

Перевозки однородных грузов от одного грузоотправителя в адрес одного грузополучателя оформляются одной товарно-транспортной накладной, одним актом замера или взвешивания.

**Подвижной состав.** При перевозках навалочных грузов могут быть использованы как автомобили-самосвалы, так и специализированные самосвальные автопоезда в составе многоосных или одноосных автомобилей-тягачей с самосвальными полуприцепами (рис. 1). Такие автопоезда имеют значительно меньшие, чем у автомобилей-самосвалов, радиусы поворотов, что очень важно при работе на горных дорогах. Грузоподъемность автопоездов составляет 10–50 т.



Рис. 1. Автопоезд самосвальный 68901Е на шасси КамАЗ-65115 с прицепом 853100

Для перевозки навалочных грузов (горных пород) в подземных выработках при строительстве шахт, карьеров, тоннелей применяются подземные автопоезда, например двухосный шарнирно-сочлененный самосвальный низкопольный автопоезд МоАЗ-6401-9585 (рис. 2) грузоподъемностью 20 т.

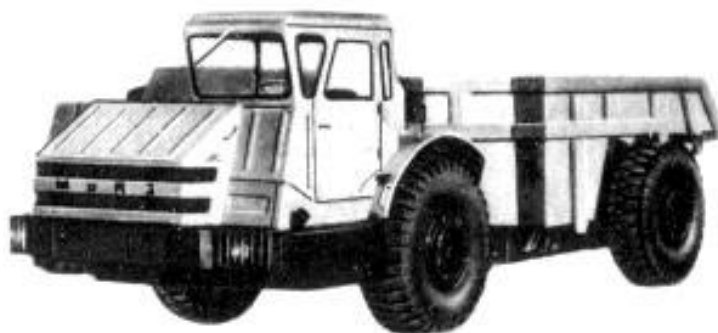


Рис. 2. Шарнирно-сочлененный самосвальный низкопольный автопоезд МоАЗ-6401-9585

## Литература

1. Глёмин, А.М. Технология и организация грузовых автомобильных перевозок: учебное пособие / А.М. Глёмин, Ф.П. Мельников, А.М. Третьяков. – Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2014. – 152 с.

### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДВУХ МЕТОДОВ ПРОГРЕВА ДВИГАТЕЛЯ АВТОМОБИЛЯ

А.М. Татаркин, Н.М. Филькин

*ФГБОУ ВПО "Ижевский государственный технический университет  
имени М.Т. Калашникова"*

**Аннотация.** Проведены экспериментальные исследования двух методов прогрева двигателя Duratec автомобиля Ford Focus. Представлены результаты обработки экспериментальных данных и выводы.

**Ключевые слова:** легковой автомобиль, прогрев двигателя, регрессионный анализ, уравнение регрессии.

### COMPARATIVE ANALYSIS OF TWO METHODS OF HEATING THE CAR ENGINE

A.M. Tatarkin, N.M. Filkin

*Kalashnikov Izhevsk State Technical University*

**Annotation.** Experimental study of two methods of warming up of the Duratec engine of Ford Focus. Presents the results of processing of experimental data and conclusions.

**Keywords:** passenger car, engine warm-up, regression analysis, regression equation.

Известно достаточно много различных методов прогрева двигателя и много мнений об их преимуществах и недостатках. Тем не менее можно выделить два основных метода прогрева.

Первый метод называется прогрев двигателя на холостых оборотах и заключается в следующем: запускается двигатель, и, не вмешиваясь в процесс прогрева, необходимо ждать до того момента, как температура охлаждающей жидкости достигнет рабочего диапазона (примерно 90 °С). Большинство автомобилистов используют данную методику и вынуждены стоять до 15 минут (при температуре минус 25 °С), прогревая двигатель. Данный способ назовем существующий.

Второй метод (предлагаемый) заключается в следующем: запускается двигатель и прогревается на холостом ходу от 1 до 2 минут; далее начинается движение без резких ускорений на средних оборотах двигателя (примерно 2000-2500 оборотов в минуту) на передачах, не превышающих 3-ью скорость. В данном случае мы экономим часть топлива, так как движемся и быстрее прогреваем двигатель до рабочей температуры. Плюсом также является то, что мы без лишних нагрузок прогреваем еще и элементы трансмиссии.

В рассматриваемых методах прогрева поставим задачу исследования зависимостей времени прогрева от времени работы двигателя.

Данные зависимости будем определять для автомобиля Ford Focus с

бензиновым двигателем Duratec HE с рабочим объемом 2,0 литра и 5-ступенчатой механической коробкой переключения передач.

Результаты экспериментальных исследований представлены в табл. 1, а соответствующие диаграммы – на рис. 1.

Таблица 1

Время прогрева двигателя в зависимости от нагрузки

Температура пуска двигателя, °С	Время, затрачиваемое на прогрев по существующей методике, с	Время, затрачиваемое на прогрев по предлагаемой методике, с
0	612	362
-2	636	376
-3	649	391
-5	669	402
-7	690	416
-9	716	423
-11	752	432
-12	766	440
-14	797	451
-15	814	465
-18	842	491
-20	861	507
-21	869	513
-23	889	525
-25	901	531
-27	922	542
-30	963	561
-35	1034	588

Внешний вид графиков (Ряд 1 и Ряд 2) на диаграмме (рис. 1) позволяет сделать вывод, что зависимости времени прогрева двигателя от температуры окружающей среды близки к линейным. Поэтому будем определять аналитические зависимости времени прогрева двигателя от температуры окружающей среды в виде уравнений линейной регрессии  $\hat{y} = ax + b$  для данных, представленных в табл. 1.

Для определения уравнения регрессии для первого метода прогрева (Ряд 1) вариационный ряд представлен в табл. 2.

Таблица 2

Вариационный ряд для определения уравнения регрессии для первого метода прогрева двигателя

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$x_i$	0	-2	-3	-5	-7	-9	-11	-12	-14	-15	-18	-20	-21	-23	-25	-27	-30	-35
$y_i$	612	636	649	669	690	716	752	766	797	814	842	861	869	889	901	922	963	1034

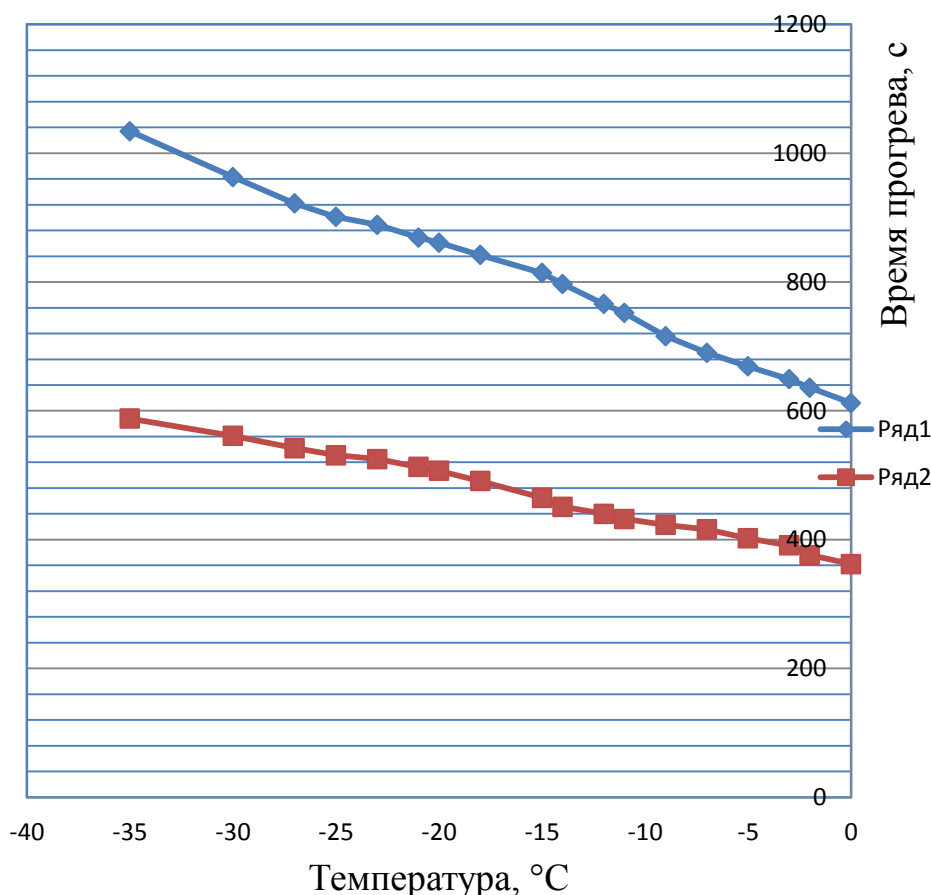


Рис. 1. Диаграммы времени прогрева двигателя от температуры окружающей среды: Ряд 1 – первый метод прогрева; Ряд 2 – второй метод прогрева

Вычислим коэффициенты  $a$  и  $b$  уравнения линейной регрессии  $\hat{y} = ax + b$  по известным формулам:

$$a = \frac{\sum x_i \sum y_i - n \sum x_i y_i}{(\sum x_i)^2 - n \sum x_i^2} = \frac{(-277) * 14382 - 18 * (-242241)}{(-277)^2 - 18 * 6027} \approx -11,8564;$$

$$b = \frac{\sum x_i \sum x_i y_i - n \sum x_i^2 \sum y_i}{(\sum x_i)^2 - n \sum x_i^2} = \frac{(-277) * 242241 - 18 * (-14382)}{(-277)^2 - 18 * 6027} \approx 616,543.$$

Итак, искомое уравнение линейной регрессии имеет вид:

$$\hat{y} = -11,8564x + 616,543. \quad (1)$$

Вычислим коэффициент детерминации ( $R^2$ ):

$$R = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{(n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2)(n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2)}} =$$

$$= \frac{18 * (-242241) - (-277) * 14382}{\sqrt{(18 * 6027 - (-277)^2)(18 * 11740800 - 14382^2)}} \approx -0,9969,$$

следовательно,  $R^2 = (-0,9969)^2 \approx 0,9937$ .

Средняя ошибка аппроксимации:

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| * 100\% = \frac{0,1796}{18} * 100\% = 0,9979\%.$$

F-критерии Фишера:

– фактический  $F_{fact} = \frac{r_{xy}^2}{1-r_{xy}^2} (n - 2) = \frac{0.9937}{1-0.9937} * (18 - 2) \approx 2528,1205$ ;

– критический (табличный)  $F_{tabl} \approx 4,494$ , т.к.  $k_1 = 1$ ,  $k_2 = n - 2 = 18 - 2 = 16$  и  $\alpha = 0.05$ .

Случайные ошибки параметров  $a, b$  и коэффициента корреляции  $R$ :  $m_a \approx 0,2358$ ;  $m_b \approx 4,3149$ ;  $m_R \approx 0,0198$ .

Проведенные подобные исследования для второго метода прогрева двигателя позволили получить следующие расчетные данные:

$a \approx -6,579$ ;  $b \approx 366,3127$ .

Искомое уравнение линейной регрессии имеет вид:

$$\hat{y} = -6,579x + 366,3127. \quad (2)$$

Коэффициент детерминации ( $R^2$ ):  $R^2 \approx 0,9929$ .

Средняя ошибка аппроксимации:  $\bar{A} = 0,9979\%$ .

F-критерии Фишера:

– фактический  $F_{fact} \approx 2247,0496$ ;

– критический (табличный)  $F_{tabl} \approx 4,494$ , т.к.  $k_1 = 1$ ,  $k_2 = n - 2 = 18 - 2 = 16$  и  $\alpha = 0,05$ .

Случайные ошибки параметров  $a, b$  и коэффициента корреляции  $R$ :  $m_a \approx 0,1388$ ;  $m_b \approx 2,5396$ ;  $m_R \approx 0,021$ .

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Зависимость времени прогрева двигателя легкового автомобиля от температуры окружающей практически линейная.

2. Получены функциональные зависимости (1) и (2), имеющие высокое приближение к экспериментальным данным.

3. Функциональные зависимости (1) и (2) позволяют по температуре окружающей среды  $t^{\circ}C$  определять время прогрева двигателя.

4. Сравнительный анализ полученных результатов со временем прогрева двигателей других автомобилей показал, что расхождение во времени прогрева незначительно. Это дает право применять зависимости (1), (2) для других типов легковых автомобилей.

5. Разность во времени прогрева между двумя методами прогрева двигателя составила примерно 60%.

6. Дальнейшие исследования будут направлены на сравнительный анализ процессов износа при указанных методах прогрева.

## **ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГОРОДСКИХ СТАНЦИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ НА ОСНОВЕ МАРКЕТИНГОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Н.А. Царёва

*Бийский технологический институт (филиал) АлтГТУ им. И.И. Ползунова*

**Аннотация:** в статье отражена значимость собранной информации, которую можно использовать для обоснования необходимости создания станции технического обслуживания автомобилей. Тема актуальна для г. Бийска.

**Ключевые слова:** маркетинговые исследования, информация, автосервис.

## DESIGNED TO IMPROVE THE QUALITY OF URBAN SERVICE STATIONS CAR-BASED MARKETING RESEARCH

N.A. Tsareva

*Biysk technological institute (branch) Altai state technical university I.I. Polzunova*

**Annotation:** the article reflected the importance of the information collected which can be used to justify the need to create a style of service station car. The topic is relevant to Biysk.

**Keywords:** market research, information, car service

Самый перспективный бизнес на рынке техники – автосервис. В связи с ростом объема продаж автомобилей и автомобильного парка по городу Бийску (таблица 1) и переориентацией владельцев транспортных средств с самообслуживанием на ремонт в специализированных фирмах, рынок остро нуждается в увеличении числа автосервисных предприятий [1].

На рынке автосервисных услуг появились и будут нарастать следующие тенденции:

- сокращение объема работ по обслуживанию вследствие появления все более качественных автомобилей;
- увеличение объема кузовных и малярных работ вследствие увеличения количества аварий из-за возрастающей плотности движения на автотрассах;
- увеличение объема работ по дополнительному оборудованию, обеспечивающему повышенный комфорт водителям и пассажирам;
- рост спроса на услуги мелких и независимых специализированных мастерских;
- острый дефицит кадров ремонтных рабочих.

Таблица 1

Структура парка по г. Бийску и Бийскому району

Тип подвижно-го состава	Количество единиц							
	2007г.	2008г.	2009г.	2010г.	2011г.	2012г.	2013г.	2014г.
Всего автомобил., в т.ч.:								
– всего	52413	57297	57138	57047	59675	62290	65927	80597
– легковые	44872	47912	48313	48391	51116	53718	57278	69763
– грузовые	6037	7971	7443	7269	7307	7302	7419	9434
– автобусы	1504	1414	1382	1387	1252	1270	1230	1400
Мототранспорт	6994	7074	6508	5756	5961	5861	5805	6075
Прицепы	1601	2082	2552	2660	2838	2908	3015	3846
Полуприцепы	1002	856	615	656	760	827	895	1086

Практика показала, что руководители неохотно предоставляют информацию о деятельности своих СТО, поэтому на кафедре автомобильного

транспорта разработана анкета, способствующая эффективному сбору информации.

Полученные данные используются для обоснования необходимости создания СТО в г. Бийске. Кроме того, эти данные применяются в учебном процессе: в курсовых и дипломных проектах. На их базе можно рассчитать показатель уровня конкурентоспособности СТО и сделать вывод о востребованности проектируемого СТО [2].

Результаты маркетинговых исследований (2007–2015 г.) показывают, что наблюдается тенденция роста количества СТО [3]. Степень освоения рынка автосервисных услуг по городу достаточно низкая и составляет 41,7%, т. о., открывается перспектива строительства СТО, а результаты систематически проводимых маркетинговых исследований будут способствовать созданию эффективных СТО. Освоение рынка автосервисных услуг даст городу новые рабочие места и дополнительные налоговые платежи в бюджет.

#### Список литературы

1. Владимирский, И. Насыщение/ И. Владимирский // Авторевю. – 2013. – №3. – С. 12–16.
2. Барышев, А.Ф. Маркетинг: учебник. / А.Ф. Барышев. – 3-е изд. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 208 с.
3. Савкина, Р.В. Планирование на предприятии: учебник / Р.В. Савкина. – М.: Дашков и К, 2013.– 324 с.

### СЕКЦИЯ 4. СТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ, МЕХАНИЗМЫ

**Председатель секции: кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Строительство и механика» Михайленко Олег Анатольевич**

#### ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОГО ТИПА ЗУБЧАТО-РЫЧАЖНОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ПЕРЕДАТОЧНОГО МЕХАНИЗМА

А. Абдукаримов

*Научно-исследовательский центр по проблемам  
отраслевого машиноведения при Ташкентском  
государственном техническом университете*

**Аннотация:** В статье приведены результаты графоаналитического исследования зубчато-рычажного дифференциального передаточного механизма с параллелограммным рычажным контуром, применяемого в валковых технологических машинах с переменным межосевым расстоянием рабочих валов, когда центр вращения ведомого звена совершает прямолинейное движение, а рычажное звено совершает сложное плоскопараллельное движение.

**Ключевые слова:** *Графоаналитический метод, анализ, синтез, зубчато-рычажный, механизм, дифференциал.*

# GRAPHIC-ANALYTICAL STUDY OF ONE TYPE OF TOOTH-LEVER DIFFERENTIAL GEAR MECHANISM

A. Abdugarimov

*Scientific research centre for sectorial machines science after Tashkent state technical university*

**Abstract:** The article contains results of graphic-analytical study of differential gear-lever transmission mechanism with parallelogram linkage contour, which is used in roller technological machines with variable interaxial distance of working rollers, when the center of rotation of driven link performs rectilinear motion and lever link - complex plane-parallel motion.

**Key words:** graphic-analytical method, analysis, synthesis, tooth-lever mechanism, differential.

Как и все механизмы, зубчато-рычажные механизмы могут быть исследованы аналитическими, графоаналитическими, графическими и экспериментальными методами. Аналитическим способом выведенные формулы для расчета параметров зубчато-рычажных дифференциальных механизмов получаются слишком громоздкими и дают огромный объем вычислений, также не обладают наглядностью, на что указывает целый ряд ученых [1-4]. Графоаналитические и графические методы исследования дифференциальных механизмов не обладают такими недостатками. Основным недостатком этих методов являлась сравнительная неточность получаемых результатов. Появление целого ряда компьютерных графических программ, таких как «AutoCAD», «SolidWorks», «Компас-График», «Mathcad» и др., искоренил этот основной недостаток методов графического и графоаналитического исследования, сохранив все их достоинства, и заново дал импульс к развитию этих методов. Имеется много примеров, когда графические или графоаналитические приемы являются единственно приемлемыми, так как дают наиболее простое решение задач. Кроме того, графоаналитические и графические методы исследования, в силу их наглядности и удобства контроля, особенно ценны для быстрой проверки правильности аналитических расчетов, визуального представления свойств механизмов и оценки их работы, особенно ценны для развития инженерной интуиции, наконец, они могут применяться как кривые результатов аналитических расчетов.

Графоаналитический метод анализа зубчато-рычажных механизмов, где рычажное звено совершает сложное плоскопараллельное движение, в литературе не встречается. Поэтому целью работы является разработка графоаналитического метода исследования зубчато-рычажных дифференциальных передаточных механизмов, применяемых в валковых технологических машинах с переменным межосевым расстоянием рабочих валов, где центр вращения ведомого звена совершает прямолинейное движение, а рычажное звено совершает сложное плоскопараллельное движение. Этот метод может быть применен для исследования различных типов зубчато-рычажных дифференциальных передаточных механизмов с переменным межосевым расстоянием ведущего и ведомого звеньев. Метод обладает наглядностью, отличается удобством контроля результатов и позволяет быстро



решать прикладные задачи проектирования, а также развивает инженерную интуицию оценивать возможности механизма по его кинематической схеме.

Разработанный метод объясняем на примере кинематического исследования зубчато-рычажного дифференциального передаточного механизма с двухконтурными рычажными контурами [5].

На рис. 1, *a* показан план передаточного механизма, где 1 – станина; 2, 3, 4, 5, – рычаги; 6 – ползун; 7 – ведущее зубчатое колесо; 8, 9 – промежуточные зубчатые колеса; 10 – ведомое зубчатое колесо.

Рис.1: *a*) схема механизма; *b*) схема рычажного контура в различных положениях;  $c_1), c_2), c_3), c_4)$  - план скоростей рычажного контура;  $d_1), d_2), d_3), d_4)$  - картины линейных скоростей соответственно в *I, II, III, IV* - положениях;  $e_1), e_2), e_3), e_4)$  - картины угловых скоростей соответственно в *I, II, III, IV* - положениях;

Из условия задачи нам известно положение механизма ( $\alpha$ ) и геометрические параметры ( $l_{AB}, l_{BC}, l_{CD}, l_{CA_0}, d_7, d_8, d_9, d_{10}$ ) механизма, а также линейная скорость центра вращения ведомого зубчатого колеса по величине и по направлению ( $\bar{V}_D$ ), угловая скорость ведущего зубчатого колеса 7 ( $\omega_7$ ) также по величине и направлению.

Приняв масштаб плана механизма ( $\mu_l$ ), начертим план механизма в нескольких положениях, где ( $\mu_l$ )  $\mu_l$  определяем выражением

$$\mu_l = \frac{AB}{l_{AB}} \left[ \frac{MM}{M} \right], \quad (1)$$

где  $AB$  - длина звена механизма в плане,  $[MM]$ ,

$l_{AB}$  - истинная длина изображаемого звена в метрах  $[M]$ .

После построения плана механизма и плана рычажного контура этого механизма построим план скоростей для каждого положения (рис. 1,  $c_1, c_2, c_3, c_4$ ) и графическим способом, определяем величины и направление скоростей  $\bar{V}_{CD}$  и  $\bar{V}_{CA_0}$ . Решив рычажный контур зубчато-рычажного механизма, получаем линейные и угловые скорости рычажного параллелограмма  $12341$  и кривошипно-ползунного четырехзвенника  $14561$ .

Далее приступаем к решению зубчатого контура. По условию задачи нам известна угловая скорость зубчатого колеса 7 ( $\omega_7$ ) его делительный диаметр  $d_7$ . Скорость точки  $M$  определяется по формуле

$$\bar{V}_M = \omega_7 \cdot r. \quad (2)$$

Направление  $\bar{V}_M$  известно,  $\bar{V}_M \perp BA$ . Отрезок соответствующий скорости  $\bar{V}_M$  определяется по формуле

$$\overline{M_1M_1'} = \bar{V}_M \cdot \mu_v. \quad (3)$$

Начертив вертикальную линию  $I-I$  (для первого положения механизма) параллельно к линии, проходящей через оси ведущих и ведомых зубчатых колес ( $AD$ ), перенесем на эту линию горизонтальными лучами точки  $A, M, B, N, C, F, D$  (рис. 1.,  $d_1$ ), полученные точки отмечаем  $A_1, M_1, B_1, N_1, C_1, F_1, D_1$  соответственно.

На точку  $M_1$  (рис. 1,  $d_1$ ) перенесем отрезок  $\overline{M_1M_1'}$  и проецируем его на горизонтальную линию, получим отрезок  $\overline{M_1M_1''}$ . С точки  $M_1''$  проведем наклонный луч, проходящий через точку  $A_1$ , и обозначим цифрой 7. Этот луч будет прямой распределения скоростей колеса 7. А угол луча 7 с линией  $I-I$  дает угловую скорость колеса 7 ( $\omega_7$ ).

Следует отметить, при проецировании векторов скоростей на горизонтальную линию, а перпендикуляров к ним (это и есть радиусы-векторы этих скоростей) на вертикальную линию их отношения, т.е. угловые скорости, остаются неизменными по величине,

$$\omega_7 = \frac{V_M}{l_{MA}} = \frac{M_1M_1' \cdot \mu l}{\mu_v \cdot AM} = \frac{\mu_l \cdot M_1M_1'' \cdot \cos \alpha}{\mu_v \cdot A_1M_1 \cdot \cos \alpha} = \frac{\mu_l \cdot \overline{M_1M_1''}}{\mu_v \cdot A_1M_1}. \quad (4)$$

Следовательно,

$$\omega_7 = \frac{\mu_l \cdot \overline{M_1M_1''}}{\mu_v \cdot A_1M_1}. \quad (5)$$

Луч, проходящий через точки  $M_1''$  и  $B_1$  является прямой распределения скоростей зубчатого колеса 8. Проведя горизонтальную прямую линию с точки  $N_1$  плана рычажного контура (рис. 1,  $b$ ) до пересечения с лучом 8 в плане картины скоростей положения  $I$  (рис. 1.,  $d_1$ ), получим отрезок  $\overline{N_1''N_1}$  (рис. 1,  $b$ ), который является проекцией вектора скорости  $\overline{V_N}$  на горизонтальную линию.

К точке  $C_1$  (рис. 1,  $b$ ) перенесем вектор скорости точки  $C$  ( $\overline{V_C}$ ) в плане скоростей рычажного контура для первого положения, это и есть отрезок  $\overline{pc}$  из плана скоростей.

Полученный отрезок  $\overline{C_1C_1'}$  проецируем на горизонталь, получим отрезок  $\overline{C_1C_1''}$ . Отрезок  $\overline{C_1C_1''}$  перенесем на точку  $C_1$  в вертикальной линии  $I-I$  (рис. 1,  $d_1$ ).

Соединив найденные точки  $C_1''$  и  $N_1''$ , получим луч 9, который является лучом распределения скоростей колеса 9, а точка пересечения луча 9 с вертикалью  $I-I$  является точкой мгновенного центра вращения (МЦВ) ( $P_9$ ) колеса 9 в плане картины скоростей.

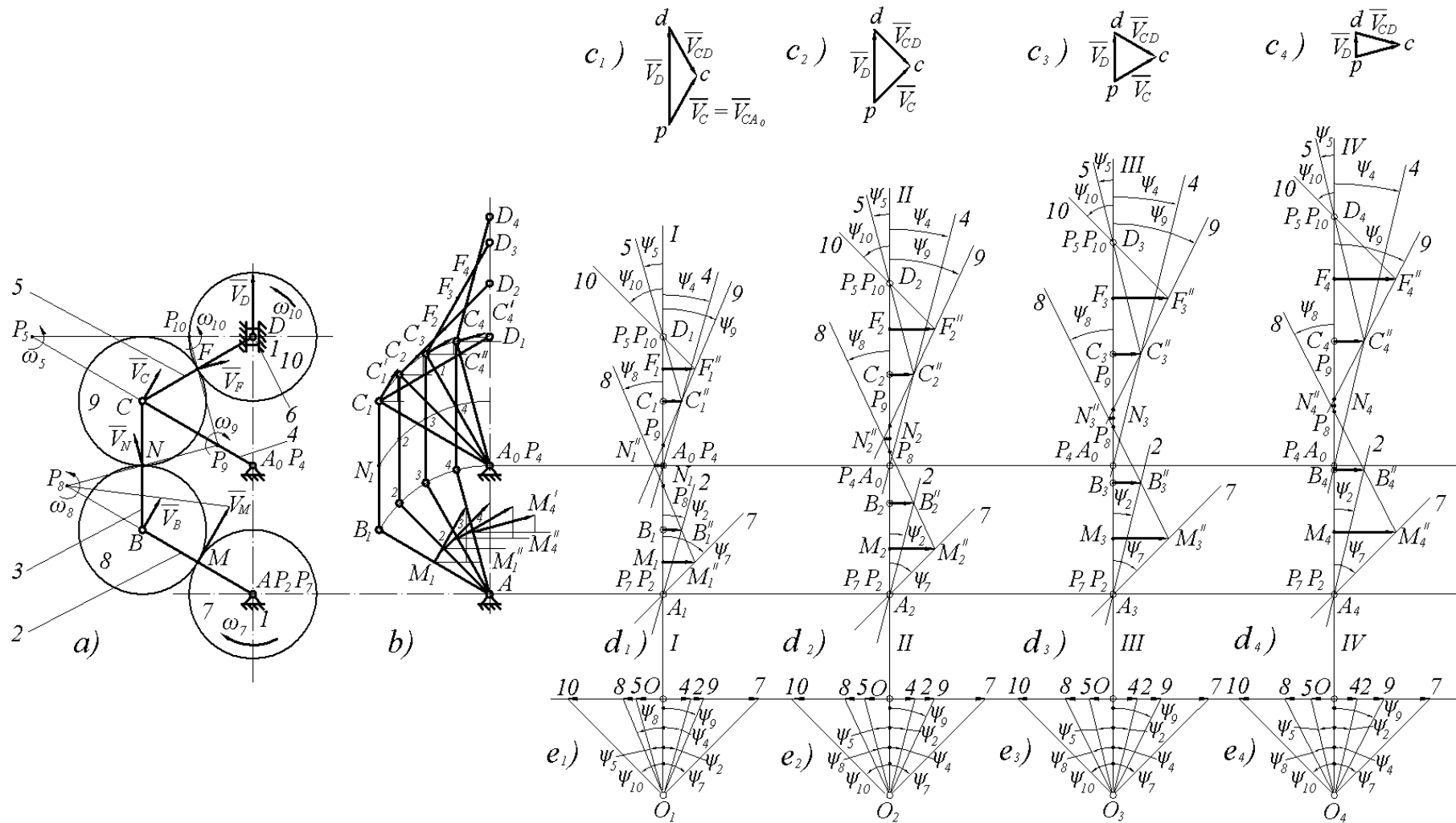


Рис. 1. Схема зубчато - рычажного дифференциального передаточного механизма с параллелограммным рычажным контуром: a) план механизма; b) план рычажного контура в различных положениях; c<sub>1</sub>), c<sub>2</sub>), c<sub>3</sub>), c<sub>4</sub>) - планы скоростей рычажного контура; d<sub>1</sub>), d<sub>2</sub>), d<sub>3</sub>), d<sub>4</sub>) - картины скоростей соответственно I, II, III, IV - положения механизма; e<sub>1</sub>), e<sub>2</sub>), e<sub>3</sub>), e<sub>4</sub>) - картины угловых скоростей соответственно в I, II, III, IV - положениях механизма

Соединив точку  $B_1''$  с точкой  $P_2$ , получим прямую распределения скоростей кривошипа 2 (2) (рис. 1,  $d_1$ ). С точки  $F_1$  (рис. 1,  $b$ ) проведем горизонтальную линию до пересечения вертикали  $I-I$  и получим точку  $F_1$  в плане картины скоростей положении  $I$  (рис. 1,  $d_1$ ) и, продолжая до пересечения с лучом 9, получим точку  $F_1''$  (рис. 1,  $d_1$ ). Вектор  $F_1F_1''$  является картиной линейной скорости точки контакта  $F$ .

Проведя прямые с точек  $C_1''$  и  $F_1''$ , проходящие через точки  $D_1$ , получим прямые распределения скоростей 5 и 10 для рычага 5 и зубчатого колеса 10. Полученные углы  $\psi_2, \psi_4, \psi_5, \psi_7, \psi_8, \psi_9, \psi_{10}$  между вертикальной линией  $I-I$  и лучами распределения скоростей являются картиной угловых скоростей в плане. Разделив углы на масштаб угловых скоростей, получаем действительные угловые скорости звеньев

$$\omega = \frac{\psi}{\mu_\omega}, \quad (6)$$

где

$$\mu_\omega = \frac{\psi_7}{\omega_7}. \quad (7)$$

Для получения наглядной картины об угловых скоростях зубчатых колес выбирают общую точку  $O_1$  (рис. 1,  $e_1$ ), через которую проводят пучок лучей, параллельных соответствующим прямым распределения скоростей, т.е. лучей с углами наклона  $\psi_2, \psi_4, \psi_5, \psi_7, \psi_8, \psi_9, \psi_{10}$ . Если этот пучок лучей пересечь какой-то прямой, перпендикулярной вертикали  $I-I$  линии отсчета линейных скоростей, то можно отметить точки пересечения 2, 4, 5, 7, 8, 9, 10 и получить отрезки  $O_2, O_4, O_5, O_7, O_8, O_9, O_{10}$ , отсчитываемые от начала отсчета  $O$ . Разделив эти отрезки на масштаб угловых скоростей, который включает в себя отрезок  $OO_1$ , можно определить истинные угловые скорости звеньев, при этом, масштаб угловых скоростей определяется формулой

$$\mu_\omega = \frac{\mu_v}{\mu_l} \cdot \overline{OO_1} \left[ \frac{\text{мм}}{\text{рад} \cdot \text{с}^{-1}} \right]. \quad (8)$$

Передаточные отношения механизма (колес 7 и 10) определяются соотношением

$$u = \frac{\omega_{10}}{\omega_7} = \frac{\overline{O_{10}}}{\overline{O_7}}. \quad (9)$$

Таким же способом построим планы для остальных положений механизма (рис. 1,  $c_2, c_3, c_4, d_2, d_3, d_4, e_2, e_3, e_4$ ).

Получив отрезки, пропорциональные к угловым скоростям рычагов ( $O_2, O_4, O_5$ ) и зубчатых колес ( $O_7, O_8, O_9, O_{10}$ ), построим график изменения угловых скоростей рычагов и зубчатых колес в зависимости от изменения межосевого расстояния ведомых и ведущих зубчатых колес.

$$\bar{V}_D, \text{ м/с.}$$

На рис. 2 показаны графики угловых скоростей зубчатых колес 7, 8, 9, 10 ( $\omega_7, \omega_8, \omega_9, \omega_{10}$ ), рычагов 2, 4, 5 ( $\omega_2, \omega_4, \omega_5$ ) и передаточного отношения механизма ( $u$ ) при постоянной угловой скорости ведущего зубчатого колеса ( $\omega_7$ ) и переменной линейной скорости центра вращения ведомого зубчатого колеса ( $\bar{V}_D$ ).

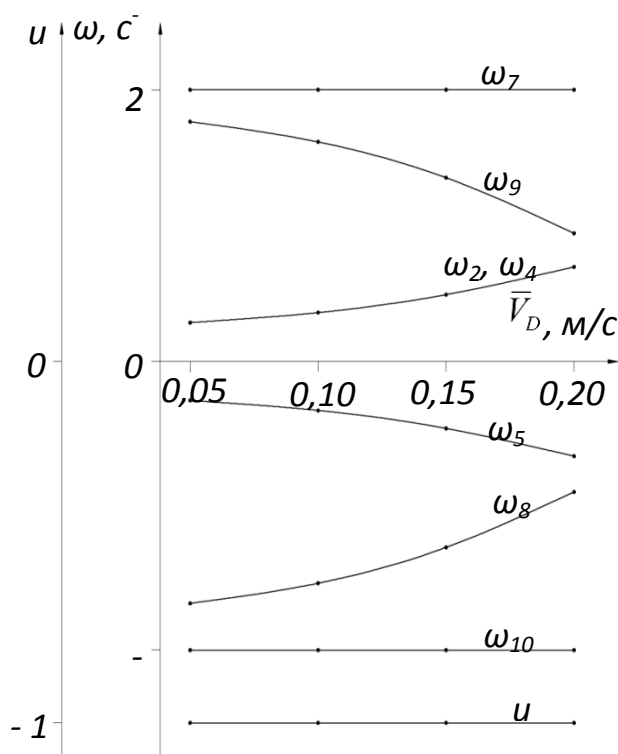


Рис.2. Графики угловых скоростей и передаточного отношения

Анализ графиков показывает, что при наличии линейной скорости ( $\bar{V}_D$ ) угловая скорость этого колеса ( $\omega_{10}$ ) будет постоянной, что приведет к постоянности передаточного отношения рассматриваемого передаточного механизма. Также в этом случае угловые скорости зубчатых колес 8 ( $\omega_8$ ), 9 ( $\omega_9$ ), рычагов 2, 4, 5, ( $\omega_2, \omega_4, \omega_5$ ) будут переменными. Отличие угловых скоростей  $\omega_8, \omega_9$  от  $\omega_7$  зависит от величины скорости центра вращения ведомого звена ( $\bar{V}_D$ ).

Анализ графиков показывает, что при наличии линейной скорости ( $\bar{V}_D$ ) угловая скорость этого колеса ( $\omega_{10}$ ) будет постоянной, что приведет к постоянности передаточного отношения рассматриваемого передаточного механизма. Также в этом случае угловые скорости зубчатых колес 8 ( $\omega_8$ ), 9 ( $\omega_9$ ), рычагов 2, 4, 5, ( $\omega_2, \omega_4, \omega_5$ ) будут переменными. Отличие угловых скоростей  $\omega_8, \omega_9$  от  $\omega_7$  зависит от

величины скорости центра вращения ведомого звена ( $\bar{V}_D$ ).

### Заключение

Показано, что в исследуемом передаточном механизме, при изменении межосевого расстояния ведущих и ведомых звеньев, передаточное отношение будет постоянным.

### Список литературы

1. Левитский, Н.И., и др. Теория и применение зубчато-рычажных механизмов. С. 5-8, С. 135-136. Отв. ред. Н.И. Левитский. М.: Наука, 1974. 140 с.
2. Фролов, К.В. и др. Теория механизмов и механика машин. Учебник для вузов; Под. ред. К.В. Фролова.- 3-е изд., стереотип. – М.: Высшая школа, 2001. – 496 с.: илл. С. 442-444.
3. Фатеев, Н.А. Определение условных скоростей и угловых ускорений звеньев плоских зубчато-рычажных механизмов. Материалы XXXVIII научно-технической конференции по итогам работы профессорско-преподавательского состава Сев.Кав.ГТУ. Том первый. Естественные и точные науки. Технические и прикладные науки [ЭР] Ставрополь: Сев.Кав.ГТУ, 2009. - 218 с. [www.ncstu.rue](http://www.ncstu.rue).
4. Каримов, Р.И. Об одном способе управления кинематическими характеристиками ползуна кулачково-рычажного механизма. Прикладные

задачи математики и механики («ПЗММ»-2012): материалы XX международной научно-технической конференции. Севастополь, 10-14 сентября 2012 г./ Министерство образования и науки, молодежи и спорта Украины: Севастопольский национальный технический университет; научный редактор С.О. Попков. - Севастополь: Сев.НТУ, 2012. - 212 с. С.172-176.

5. А.с. 1632047 А1 СССР, МКИ С14 В 1/00,1/02 Передаточный механизм валичных машин. А. Абдукаримов и др. Заявл.19.12.88. Зарег.01.11.90.

УДК 621.01

## **ЗУБЧАТО-РЫЧАЖНЫЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ ПЕРЕДАТОЧНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ДЛЯ ДВУХВАЛКОВЫХ МОДУЛЕЙ**

А. Абдукаримов

*Научно-исследовательский центр по проблемам отраслевого машиноведения при Ташкентском государственном техническом университете*

**Аннотация:** В статье излагается составленная классификация валковых модулей, учитывающих схемы установки рабочих валков на станине. Показаны основные виды двухвалковых моделей и приведены описания их схем. Приведены схемы некоторых существующих и вновь разработанных зубчато-рычажных дифференциальных передаточных механизмов для валковых машин с переменным межосевым расстоянием рабочих валов. Изложено содержание разработанных методов и выполненных исследований по анализу и синтезу существующих и вновь разработанных зубчато-рычажных дифференциальных передаточных механизмов. Приведены выводы, полученные в результате исследований.

**Ключевые слова:** Валковый модуль, классификация, рабочий вал, зубчато-рычажный, механизм, дифференциал, анализ, синтез.

## **TOOTHED-LEVER DIFFERENTIAL GEAR MECHANISMS FOR TWIN-ROLLER UNIT**

A. Abdugarimov

*Scientific research centre for sectorial machines science after Tashkent state technical university*

**Abstract:** The article describes the compiled classification of roll units, taking into account schemes of the installation of work rolls on the frame. The basic types of twin models and the descriptions of their schemes are shown. The schemes of some of the existing and newly developed toothed-lever differential gear mechanisms for rolling machines with variable center distance of the working shafts are presented. Newly developed methods and the executed researches on the analysis and synthesis of existing and newly developed toothed-lever differential gear mechanisms are discussed. Presented conclusions derived from research.

**Key words:** The roller unit, classification, working shaft, tooth-lever, mechanism, differential, analysis, synthesis.

Как широко применяются валковые технологические машины [1-3], так и разнообразны технологические требования, предъявляемые к этим машинам [4]. Соответствие валковых машин тем или иным технологическим требованиям предполагает применение как различных конструкций рабочих органов (рабочих валов), так и различных конструкций вспомогательных механизмов. Если к валковым машинам с постоянным межосевым расстоянием рабочих валов предъявляется целый комплекс иногда противоречащих друг

другу технологических требований, то для валковых машин с переменным межосевым расстоянием рабочих валов эти технологические требования гораздо шире и сложнее. Сложность технологических требований, предъявленных к валковым машинам с переменным межосевым расстоянием рабочих валов, предполагает, для удовлетворения этих требований, применение механизмов, обладающих также сложными кинематическими характеристиками. Межвалковый передаточный механизм является одним из ключевых механизмов валковых машин с переменным межосевым расстоянием рабочих валов с точки зрения обеспечения соответствия предъявленным технологическим требованиям, прежде всего, к кинематике машины. Поэтому, прежде чем приступить к разработке межвалкового передаточного механизма, целесообразно тщательно изучить конструкции валковых модулей и технологические требования, предъявляемые к этим модулям.

Во всех многовалковых технологических машинах в момент выполнения технологического процесса обрабатываемый материал подвергается тому или иному виду механической обработки, проходя между парой рабочих валков (двухвалковой модуль). Например, в трехвалковых машинах обрабатываемый материал подвергается механической обработке сначала парами рабочих валков, состоящих из валов 1 и 2, далее парами рабочих валков, состоящих из валов 2 и 3 (рис. 1).

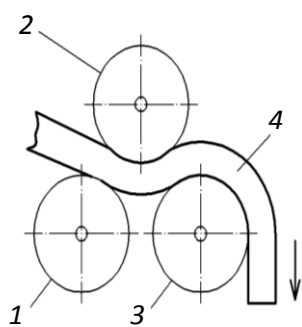


Рис.1. Схема трехвалковой машины:  
1, 2, 3-рабочие валы;  
4-обрабатываемый материал

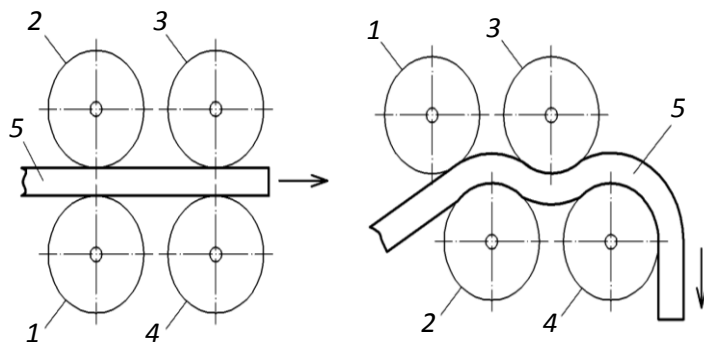


Рис. 2. Схемы четырехвалковых машин:  
а) двухпарный валковый модуль;  
б) трехпарный валковый модуль;  
1, 2, 3, 4-рабочие валы;  
5-обрабатываемый материал

А в четырехвалковых машинах обрабатываемый материал подвергается механической обработке сначала парами рабочих валков, состоящих из валов 1 и 2, далее парами рабочих валков, состоящих из валов 3 и 4 (рис. 2, а). Также в четырехвалковых машинах обрабатываемый материал может подвергаться механической обработке сначала парами рабочих валков, состоящих из валов 1 и 2, далее парами валков, состоящих из рабочих валов 2 и 3, после парами рабочих валков, состоящих из валов 3 и 4 (рис. 2, б) [5]. Таким образом, в

многовалковых машинах каждую валковую пару можно рассматривать как двухвалковый модуль двухвалковой машины.

Схемы двухвалковых модулей с переменным межосевым расстоянием рабочих валов в зависимости от возможности перемещения центров их вращения относительно станины могут быть следующих основных типов (рис. 3):

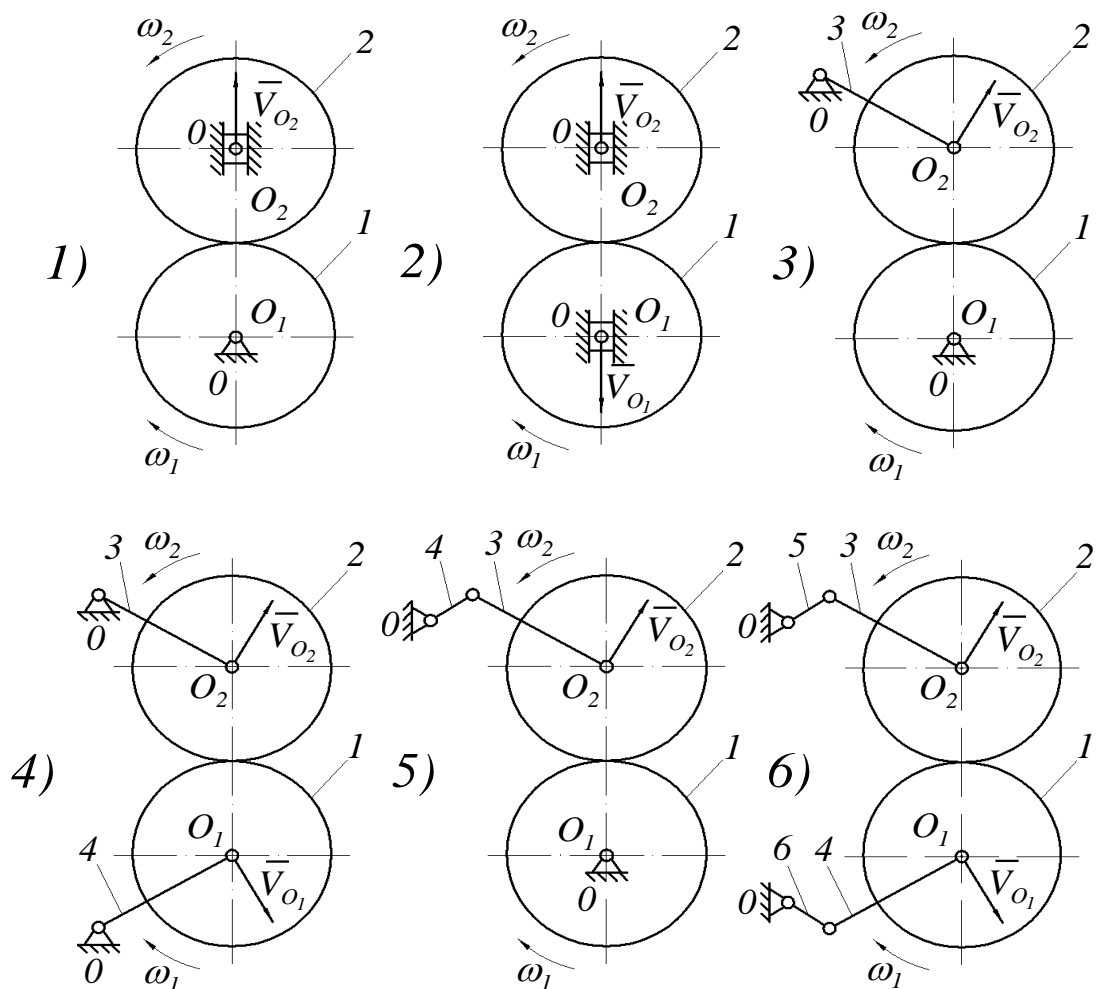


Рис. 3. Схема типов валковых модулей, применяемых в валковых машинах с переменным межосевым расстоянием рабочих валов: 0-станина, 1 и 2 рабочие валы; 3, 4, 5, 6 – рычаги;  $\omega_1$  и  $\omega_2$  – направления угловых скоростей рабочих валов;  $\bar{V}_{O_1}$  и  $\bar{V}_{O_2}$  - направление скоростей центров вращения рабочих валов

1. Один из рабочих валов имеет возможность вращаться вокруг собственной оси, а второй рабочий вал, кроме вращения вокруг собственной оси, имеет возможность перемещаться относительно первого рабочего вала по линии, проходящей по центру осей вращения обоих рабочих валов.

2. Оба рабочих вала имеют возможность вращаться вокруг собственных осей и симметрично перемещаться по линии, проходящей через эти же оси вращения относительно друг друга.



3. Один из рабочих валов имеет возможность вращаться вокруг собственной оси, а второй рабочий вал, кроме вращения вокруг собственной оси, имеет возможность перемещаться относительно первого рабочего вала по дуге с определенным радиусом кривизны.

4. Оба рабочих вала имеют возможность вращаться вокруг собственных осей и симметрично перемещаться относительно друг друга по дуге с некоторыми симметричными центрами вращения.

5. Один из рабочих валов имеет возможность вращаться вокруг собственной оси, а второй рабочий вал, кроме вращения вокруг собственной оси, имеет возможность перемещаться относительно первого рабочего вала по сложной траектории.

6. Оба рабочих вала имеют возможность вращаться вокруг собственных осей и симметрично перемещаться относительно друг друга по сложной траектории.

В валковых модулях 1–6 (рис. 3) центры рабочих валов могут быть расположены с некоторым смещением друг относительно друга, а также диаметры рабочих валов могут быть различными. В валковых модулях 4–6 (рис. 3) рычаги могут быть расположены в различных положениях относительно горизонтальной линии проходящих через оси рабочих валов и иметь различные длины, тем самым валковые пары могут перемещаться несимметрично. Следовательно, валковые модули 1–6 (рис. 3) могут иметь модификации, отличающиеся вышеуказанными отличительными признаками от основных типов.

Таким образом, любые валковые модули, применяемые в валковых машинах с переменным межосевым расстоянием рабочих валов, могут быть идентифицированы с одним из схем вышеописанных основных типов двухвалковых модулей или их модификацией.

Приведенная классификация двухвалковых модулей валковых машин с переменным межосевым расстоянием рабочих валов позволяет: разработать обобщенные методы расчета валковых машин; облегчить работы конструктора по выбору кинематических схем рабочих органов и других вспомогательных механизмов при проектировании этих машин с учетом предъявленных технологических требований к ним.

После выбора соответствующей схемы двухвалковых модулей, удовлетворявших тем или иным технологическим и агротехническим требованиям, приступаем к выбору или разработке межвалкового передаточного механизма, также удовлетворявших этим требованиям. Одним из таких требований может быть синхронность вращения рабочих валов, обеспечивающая одинаковые линейные скорости контактных поверхностей рабочих валов и обрабатываемого материала, что исключает геометрическое скольжение между обрабатываемым материалом и рабочими валами.

В последние годы за рубежом специалисты в области машиностроения и приборостроения проявляют все больший интерес к теории и практике применения зубчато-рычажных механизмов. Это объясняется тем, что с

помощью зубчато-рычажных механизмов можно осуществлять весьма разнообразные и сложные законы движения звеньев. Многочисленные комбинации рычажной кинематической цепи и кинематической цепи, составленной из зубчатых колес, весьма многообразны и позволяют получать широкий спектр движений выходного звена. Выявленные в последнее время некоторые замечательные свойства зубчато-рычажных механизмов позволяют считать их одним из наиболее перспективных для создания современных машин и приборов [6].

Одна из областей применения этих зубчато-рычажных механизмов – валковые машины с переменным межосевым расстоянием рабочих валов. Где эти механизмы применяются в качестве межвалковых передаточных механизмов.

Огромное разнообразие валковых технологических машин [2, 3, 7] и разнообразные технологические требования, предъявляемые к этим машинам [5], предполагают, для удовлетворения этих требований, разработку и применение межвалковых передаточных механизмов, обладающих также разнообразными кинематическими характеристиками.

В лаборатории «Теория механизмов и машин» Научно-исследовательского центра по проблемам отраслевого машиноведения при ТГТУ разработаны и защищены патентами на изобретения ряд зубчато-рычажных дифференциальных передаточных механизмов и их модификации для валковых машин с переменным межосевым расстоянием рабочих валов, обладающие характеристиками, отвечающими тем или иным технологическим, агротехническим требованиям, предъявляемым к тем или иным валковым машинам. На рис. 4 приведены некоторые из них [8-10]. Эксплуатация валковых машин в различных отраслях промышленности показывает, наряду с многочисленными их преимуществами, существенные недостатки, которыми являются низкое качество обработанного материала, а иногда их порча, недолговечность некоторых узлов и деталей, что обуславливается в несоответствии этих машин предъявленным к ним агротехническим и технологическим требованиям.

Применяемые передаточные механизмы в некоторых существующих валковых машинах не обеспечивают точное выполнение технологических требований, предъявляемых к этим машинам, особенно к технологическим машинам с переменным межосевым расстоянием рабочих валов. В некоторых валковых машинах передаточные механизмы выбраны и проектированы без учета структурных, кинематических, динамических свойств этих механизмов. Такие недостатки в проектировании допущены из-за недостаточной исследованности валковых технологических машин и их исполнительных механизмов в целом, межвалковых передаточных механизмов в частности, а также из-за отсутствия методов структурного, кинематического, динамического анализа и синтеза этих передаточных механизмов.

Обзор и анализ литературных источников по кинематическому исследованию зубчато-рычажных дифференциальных передаточных

механизмов показали, что в большинстве случаев кинематические исследования сводились к определению передаточного отношения механизмов, рассмотрению механизмов как простых зубчатых многоступенчатых передаточных механизмов. При этом не учитывались изменения передаточного отношения в момент изменения межосевого расстояния ведомых и ведущих зубчатых колес.

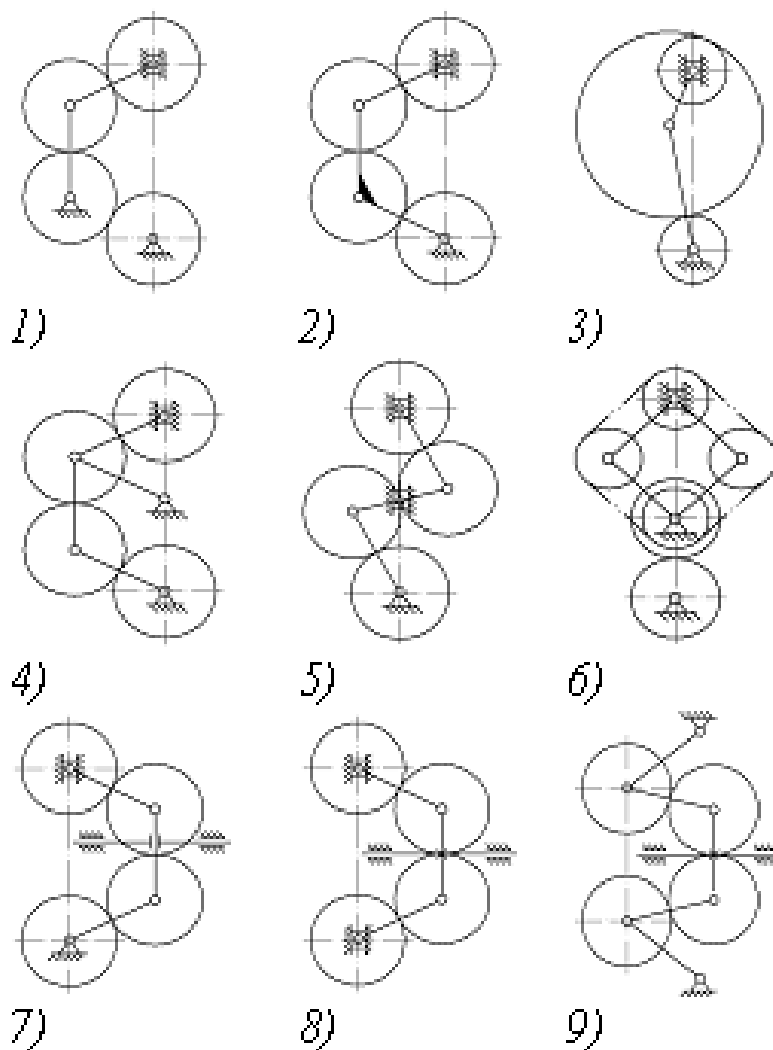


Рис. 4. Зубчато-рычажные дифференциальные механизмы:  
1 и 2 – существующие; 3-9 – разработанные в лаборатории «ТММ»

В случаях кинематического исследования дифференциальных и планетарных механизмов исследования приводились к определению передаточного отношения механизма использованием формулы Виллиса. В зубчато-рычажных дифференциальных передаточных механизмах это оправдано в случаях, когда водило или рычаги совершают только вращательное движение.

В рамках грантов нами: проведен анализ структуры существующих и вновь разработанных передаточных механизмов валковых машин с

переменным межосевым расстоянием рабочих валов; разработан аналитический и графоаналитический методы кинематического исследования зубчато-рычажных передаточных механизмов, на основе чего проведено кинематическое исследование существующих и вновь разработанных передаточных механизмов; проведено динамическое исследование существующих и вновь разработанных передаточных механизмов; разработаны методы геометрического и динамического синтеза зубчато-рычажных передаточных механизмов, на основе чего проведен синтез вновь разработанных передаточных механизмов; разработаны классификации обрабатываемых материалов, валковых модулей, валковых машин и передаточных механизмов, учитывающих конструкцию валковых модулей и технологические, агротехнические требования к ним; спроектированы и изготовлены макеты передаточных механизмов и стендов валковых машин с новыми передаточными механизмами для проведения экспериментальных исследований; спроектирован и изготовлен опытно-промышленный образец одного из видов вновь разработанного передаточного механизма и установлен на валковую технологическую машину, проведено опытно-промышленное испытание; теоретически и экспериментально исследованы влияния существующих и вновь созданных передаточных механизмов на качество обрабатываемого материала, на качество выполнения технологического процесса и на долговечность машины и их комплектующих.

Результаты проведенных исследований позволили сформулировать следующие выводы:

1. При применении зубчато-рычажных дифференциальных передаточных механизмов, приведенных на рисунках 4, 4); 4, 6) и 4, 7, в схеме валковых модулей, приведенной на рисунке 3, 1), а также зубчато-рычажных дифференциальных передаточных механизмов, приведенных на рисунках 4, 8); 4, 9), в схемах валковых модулей, приведенных на рисунках 3, 2), 3, 4) и 3, б), обеспечивается синхронность вращения рабочих валов, а в остальных комбинациях возможно выполнить синтез механизмов с минимальной требуемой разницей в углах поворота валковых пар при изменении их межосевого расстояния.

2. В случае, когда передаточные механизмы установлены промежуточными зубчатыми колесами со стороны подачи обрабатываемого материала, давление на обрабатываемый материал увеличится за счет силы давления от передаточного механизма, а в случае, когда передаточные механизмы установлены промежуточными зубчатыми колесами с противоположной стороны подачи обрабатываемого материала, давление на обрабатываемый материал уменьшается, что необходимо учитывать при проектировании валковых машин и их межвалковых передаточных механизмов.

## Список литературы

1. Абдукаримов, А. и др. Отчет о научно-исследовательской работе по теме: «Разработка методов расчета, проектирования новой конструкции джина и исполнительных механизмов кожевенных валичных отжимных, разводных машин» Институт механики и сейсмостойкости сооружений им. М.Т. Уразбаева АН РУз (шифр: АЗ-ФА-0-17872/АЗ-ФА-Ф056). Ташкент, 2012.
2. Бахадиров, Г.А. Механика отжимной валковой пары. Ташкент: Фан, 2010. – 156 с.
3. Бурмистров, А.Г. Машины и аппараты производства кожи и меха. М.: КолосС, 2006. – 384 с.
4. Абдукаримов, А. Проблемы теории и практики создания современных валковых машин // Проблемы механики. Ташкент: 2011. - №3-4. С. 40-43.
5. Абдукаримов, А. Классификация валковых модулей // Проблемы механики. Ташкент: 2012. - №4. С. 48-52.
6. Левитский Н.И. Современные задачи проектирования зубчато-рычажных механизмов // В кн.: Теория и применение зубчато-рычажных механизмов. М.: Наука, 1974. - 140 с. С. 5-8.
7. Абдукаримов А. Анализ и синтез передаточных механизмов валковых машин с переменным межосевым расстоянием рабочих валов: Дис. ... канд. техн. наук. -Ташкент: ИМСС, 1995. - 158 с.
8. Патент на группу изобретений РУз. №IAP 04934 от 15.07.2014. Зубчато-рычажный передаточный механизм валичных машин (варианты) / Абдукаримов А. и др.// Официальный бюллетень Агентства по интеллектуальной собственности РУз, №8 от 29.08.2014.
9. А.с. 1633820 А I СССР, МКИ С14 В 1/02, 17/Ю. Передаточный механизм валичных машин / Абдукаримов А., Аманов Т.Ю. -№ 4398488/12; Заявл. 25.03.88. Зарег. 8.II.1990.
10. А.с. 1632047 А I СССР, МКИ С14 В 1/00, 1/02. Передаточный механизм валичных машин / Абдукаримов А., Аманов Т.Ю., Бахадиров Г.А. - № 4621476/12; Заявл. 19.12.88. Зарег. 1.11.1990.

## ШАРНИРНО-СТЕРЖНЕВОЕ ГРУЗОПОДЪЕМНОЕ СРЕДСТВО С ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ

Н.В. Бабоченко

*Волгоградский государственный аграрный университет*

**Аннотация.** В статье дается описание усовершенствованного шарнирно-стержневого грузоподъемного средства с электрогидравлической системой управления. Имеется конструктивная разработка гидроманипулятора с шарнирно-стержневой стрелой.

**Ключевые слова:** Манипулятор, секция, стрела, гидроцилиндры, электрогидравлическая система управления.

# JOINT-ROD LOAD LIFTING EQUIPMENT WITH ELECTRO-CONTROL SYSTEM

N.V. Babochenko

*Volgograd State Agricultural University*

This article describes an improved hinge-rod lifting means with electro hydraulic control system. There is a constructive development in cranes, articulated boom-rod.

**Keywords.** *manipulator's, section, pivotal, hydrocylinds, electro-hydraulic control system.*

При исследовании конструктивных особенностей гидроманипуляторов с шарнирно-стержневой стрелой была получена новейшая конструктивная разработка шарнирно-стержневого грузоподъемного средства (манипулятора). Анализируя возможности известного шарнирно-стержневого грузоподъемного средства [1], пришли к решению его конструктивного усовершенствования. В частности, основываясь на конструктивную особенность шарнирно-стержневой стрелы грузоподъемного средства [3], усовершенствовали саму стрелу шарнирно-стержневого гидроманипулятора [5].

Конструктивно разработанная стрела шарнирно-стержневого грузоподъемного средства (рис. 1) представляет собой корневую секцию 1 и связанную с ней рукоять 2 и грузозахватный орган стрелы 3. При этом корневая секция выполнена из трех стержней в виде шарнирного треугольника с двумя острыми углами. Рукоять выполнена из двух стержневых шарнирных треугольников с двумя острыми углами и общей для обоих треугольников связью, один из шарниров которой соединен с силовыми цилиндрами рукояти. Два указанных шарнирно – стержневых треугольника имеют общую связь между собой в виде стержня, ближайший к грузозахватному органу шарнирный треугольник имеет в основании два силовых цилиндра 4, 5, работающие как одно кинематическое звено. Два других шарнирно-стержневых треугольника также связаны между собой в виде стержня, а в основании одного из шарнирных треугольников имеются два силовых гидроцилиндра 6, 7, которые работают как одно кинематическое звено и связаны с двумя гидроцилиндрами предыдущего шарнирно-стержневого треугольника. Стержни, составляющие треугольные соединения, выполнены в виде плоских в поперечном направлении ферм.

При таком исполнении шарнирно-стержневой стрелы и расположении гидроцилиндров стержни всех “треугольников” воспринимают в основном нагрузки растяжения или сжатия, а шарнирные соединения обеспечивают необходимые подвижности звеньям манипулятора. Дополнительные, ближайшие к грузозахватному органу, гидроцилиндры обеспечивают максимальный подъем и опускание грузов.

Усовершенствованная конструкция шарнирно-стержневой стрелы грузоподъемного средства расширяет функциональные возможности как стрелы, так и гидроманипулятора в целом, за счет увеличения зоны действия в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

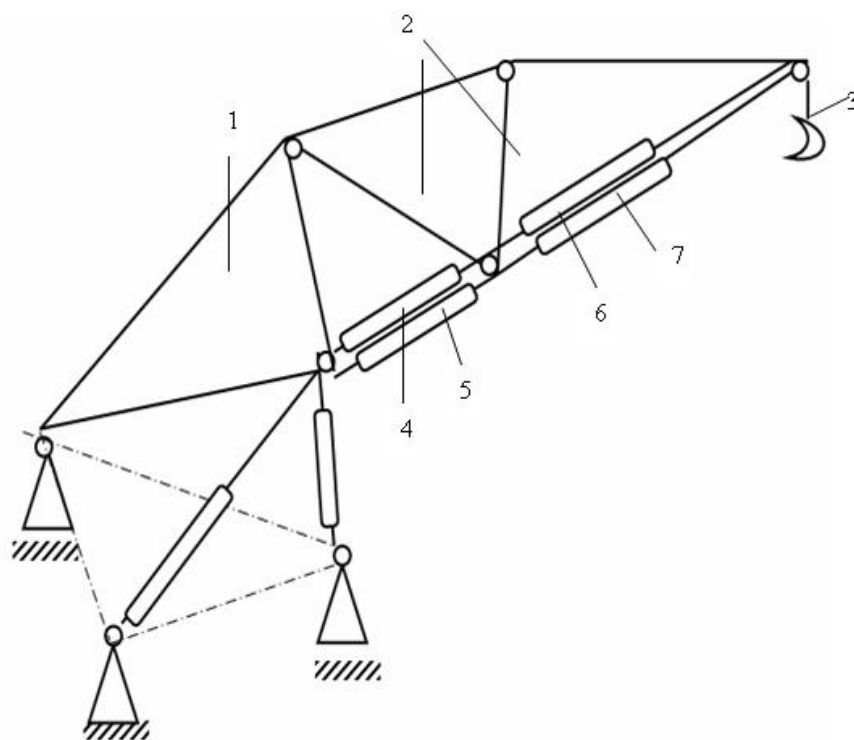


Рис. 1. Схема шарнирно-стержневого грузоподъемного средства

Управление шарнирно-стержневым грузоподъемным средством с усовершенствованной конструктивно стрелой осуществляется по электрогидравлической схеме, которую представленной на рис. 2. За основу была взята существующая электрогидравлическая система управления гидравлическими манипуляторами [2, 4], которая была усовершенствована.

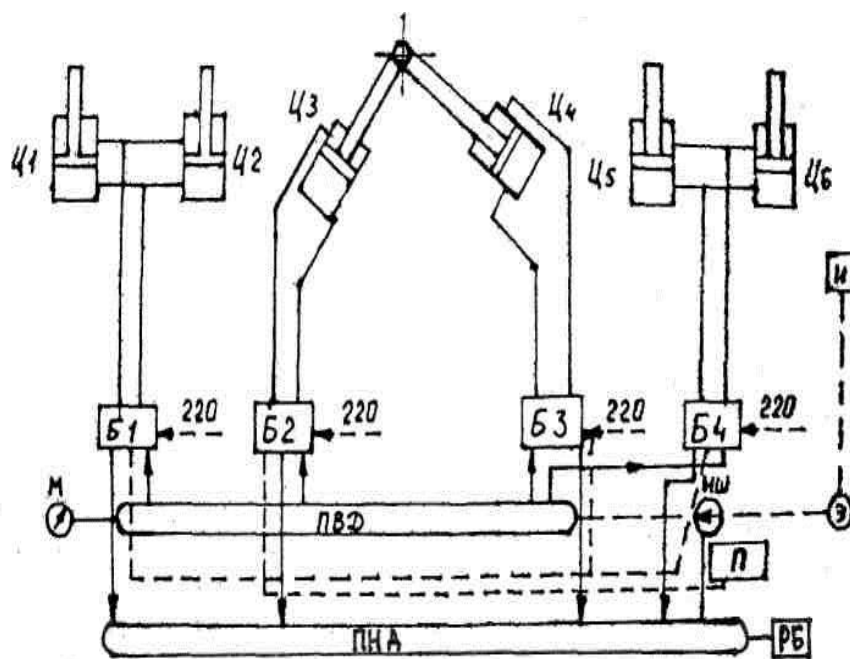


Рис. 2. Схема управления экспериментальной установкой

Схема управления шарнирно-стержневым грузоподъемным средством, представленная на рисунке 2, состоит из: шести гидроцилиндров, представленных как Ц1...Ц6; функциональных блоков Б1...Б4; полости высокого и низкого давления ПВД, ПНД; источника питания И; датчика определения давления М; насоса шестеренчатого НШ; электродвигателя Э; распределительного бачка РБ; пульта управления установкой П.

Схему управления манипулятором можно условно разделить на четыре блока. Каждый функциональный блок (Б1...Б4) выполняет функцию управления одним гидроцилиндром. В состав каждого блока входят четыре электроклапана. Для удобства соединения в гидравлической схеме присутствует полость высокого давления (ПВД) и полость низкого давления (ПНД). Данные полости соединяются через шестеренчатый маслонасос (НШ). Полость низкого давления (ПНД) дополнительно сообщается с распределительным бачком (РБ), а полость высокого давления с манометром. Каждый из четырех блоков (Б1...Б4) гидравлически соединен с полостями высокого и низкого давления и с отдельным гидроцилиндром таким образом, что включаются два электроклапана, соединенные с разными полостями гидроцилиндра и разными полостями давления. Электромотор приводит в движение шестеренчатый насос (НШ). Электрическая схема устроена таким образом, что включение двигателя сблокировано с включением электроклапанов. Для каждой операции необходимо включение двух электроклапанов, присоединенных к разным полостям давления и разным полостям гидроцилиндров.

Создается действующий макет разработанной стрелы шарнирно-стержневого манипулятора, и ведется работа по определению параметров, характеризующих механизм.

#### Список литературы

1. Кривельская, Н.В. Шарнирно-стержневой гидроманипулятор / В.И. Пындак, Н.В. Кривельская // Техника и оборудование для села. М., 2004. - №4. – С. 26.
2. Кривельская, Н.В. Перспективная электрогидравлическая система управления грузоподъемным средством / В.И. Пындак, Н.В. Кривельская // Успехи современного естествознания. 2005. - №9. – С. 82-83.
3. Пат. №2178382 РФ, МКИ<sup>7</sup> В66 С 23/04. Стрела грузоподъемного средства / В.И. Пындак, Н.В. Кривельская. – Оpubл. 2002. Бюл. №2. – 8 с.
4. Пат. №2231494 МКИ<sup>7</sup> В66 С 23/04. Устройство для управления гидравлическим манипулятором / В.И. Пындак, Н.В. Кривельская. – Оpubл. 2004. – 11 с.
5. Пат. на полезную модель № 142452. Стрела грузоподъемного средства / Н.В. Бабоченко.– Оpubл. 2014. - 8 с.



## ПНЕВМОУДАРНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОГРУЖЕНИЯ ОБСАДНЫХ ТРУБ В ГРУНТОВЫЕ СРЕДЫ

А.Н. Корнеев, А.А. Кутумов

*Рубцовский индустриальный институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский  
государственный технический университет им. И.И. Ползунова»,*

Э.А. Абраменков

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный  
университет (Сибстрин)*

**Аннотация:** Устройство для забивания обсадных труб, которое может быть использовано по методам «нагнетания» или «всасывания».

**Ключевые слова:** Пневмоударное устройство, ударник, подвижная трубка, кольцевой зазор, дроссельный канал впуска, радиальный выпускной канал, хвостовик рабочего инструмента, пневмотранспорт.

## PNEUMOSHOCK DEVICE FOR DIVING CASING IN THE SOIL ENVIRONMENT

A.N. Korneev, A.A. Kutumov

*Rubtsovsk Industrial Institute (branch), Polzunov Altai State Technica  
University*

E.A. Abramenzov

*Novosibirsk state architectural-building Institute (Sibstrin)*

**Summary:** Apparatus for driving casing, which can be used on a "discharge" or "suction"

**Keyword terms:** Pneumoshock device, drummer, movable tube, annular gap, throttle inlet port, radial outlet channel, the shank of the working tool, pneumatic transport.

Предлагаемое пневмоударное устройство в отличие от механизмов, рассмотренных в [1, 2], содержит полый корпус с размещенным в нем бесступенчатым ударником с центральным сквозным каналом, камеры рабочего и холостого ходов, подвижную трубку со сквозной неподвижной трубой. Кольцевой зазор между трубками образует кольцевой канал впуска в камеру холостого хода. Трубка подвижно установлена в центральном сквозном канале ударника и центральной отверстии неподвижной крышки и образует кольцевой дроссельный канал впуска в камеру рабочего хода. Корпус снабжен радиальным выпускным каналом, крышкой с кольцевой перемычкой с перепускными каналами. Между перемычкой и крышкой образована предкамера сетевого воздуха. Трубка и труба установлены в ступенчатом хвостовике рабочего инструмента в виде кольцевой обечайки. Корпус снабжен воздухоотбойным стаканом с кольцевым выпускным отверстием в атмосферу. Устройство может быть использовано для забивания обсадных труб, а центральная труба для пневмотранспорта грунта из обсадной трубы. Пневмотранспорт может быть организован по методам «нагнетания» или «всасывания», которые широко известны.

## Список литературы

1. Абраменков, Э.А., Абраменков, Д.Э. Пневматические механизмы машин ударного действия: дроссельные, струйные, беззолотниковые, бесклапанные / Э.А. Абраменков, Д.Э. Абраменков. Новосибирск, 1993. 456 с.
2. Абраменков, Э.А., Абраменков, Д.Э., Кириллов, Ф.Ф., Кутумов, А.А. Штоковые пневматические механизмы машин ударного действия: дроссельные, струйные, беззолотниковые, бесклапанные, комбинированные / Э.А. Абраменков, Д.Э. Абраменков, Ф.Ф. Кириллов, А.А. Кутумов. Томск, 2008. 434 с.

### **ПНЕВМАТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ МНОГОЦЕЛЕВОГО ПРИМЕНЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

А.Н. Корнеев, А.А. Кутумов

*Рубцовский индустриальный институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский  
государственный технический университет им. И.И. Ползунова»,*

Э.А. Абраменков

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет  
(Сибстрин)*

**Аннотация:** Устройство может применяться для проходки скважин в грунтовых средах, направлено на улучшение энергетических характеристик.

**Ключевые слова:** Полый корпус, бесступенчатый ударник, камеры рабочего и холостого ходов, трубка воздухоподвода, центральная сквозная дополнительная трубка.

### **PNEUMATIC DEVICES PERCUSSION MULTIPURPOSE IN CONSTRUCTION**

A.N. Korneev, A.A. Kutumov

*Rubtsovsk Industrial Institute (branch), Polzunov Altai State Technica  
University*

E.A. Abramnikov

*Novosibirsk state architectural-building Institute (Sibstrin)*

**Summary:** The device can be used for sinking wells in groundwater environments, aimed at improving energy performance.

**Keyword terms:** The hollow body, stepless drummer, camera working and idle strokes, a tube for supplying air, central through an additional tube.

Пневматическое устройство в отличие от устройств, рассмотренных в [1, 2], содержит полый корпус с размещенным в нем бесступенчатым ударником с центральным сквозным каналом, камеры рабочего и холостого ходов, трубку воздухоподвода в камеру холостого хода и центральную сквозную дополнительную трубку, которая может быть использована для пневмотранспорта части грунта, поступающего через входное отверстие корпуса при использовании устройства в качестве лидерной и прямой проходки скважины. Дополнительная труба уплотненно сопряжена с поверхностью центральной трубки с образованием пазов, образующих канал впуска воздуха в камеру холостого хода и пазы, образующие радиальный канал выпуска из

камеры рабочего хода. Центральная трубка взаимодействует с центральным сквозным каналом ударника и установлена уплотненно и неподвижно в центральном отверстии крышки и с зазором относительно перемычки, образуя при этом кольцевой канал впуска воздуха в камеру рабочего хода из предкамеры сетевого воздуха в крышке.

Трубка и дополнительная труба уплотненно и неподвижно установлены в центральном отверстии хвостовика рабочего инструмента.

Устройство может применяться для проходки скважин в грунтовых средах.

#### Список литературы

1. Абраменков, Э.А., Абраменков, Д.Э. Пневматические механизмы машин ударного действия: дроссельные, струйные, беззолотниковые, бесклапанные / Э.А. Абраменков, Д.Э. Абраменков. Новосибирск, 1993. 456 с.

2. Абраменков, Э.А., Абраменков, Д.Э., Кириллов, Ф.Ф., Кутумов, А.А. Штоковые пневматические механизмы машин ударного действия: дроссельные, струйные, беззолотниковые, бесклапанные, комбинированные / Э.А. Абраменков, Д.Э. Абраменков, Ф.Ф. Кириллов, А.А. Кутумов. Томск, 2008. 434 с.

### **ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ МОЛОТ ДЛЯ РАЗРУШЕНИЯ КРЕПКИХ МАТЕРИАЛОВ**

А.Н. Корнеев, А.А. Кутумов

*Рубцовский индустриальный институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»,*

Э.А. Абраменков

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)*

**Аннотация:** Техническое решение пневматического молотка позволяет увеличить импульс силы давления воздуха при разгоне ударника за время рабочего хода.

**Ключевые слова:** Пневматический молот, корпус, ударник, камера рабочего и холостого ходов, крышка с осевой многоканальной трубкой, отсекающая кромка торца ударника.

### **PNEUMATIC HAMMERS FOR BREAKING BRITTLE MATERIALS**

A.N. Korneev, A.A. Kutumov

*Rubtsovsk Industrial Institute (branch), Polzunov Altai State Technica University*

E.A. Abramnikov

*Novosibirsk state architectural-building Institute (Sibstrin)*

**Summary:** The technical solution of the pneumatic hammer can increase the momentum of the pressure forces the air to disperse the impactor during stroke.

**Keyword terms:** Air hammer, housing, drummer, Camera working and idle strokes, Cover with axial multichannel tube, cutoff edge of the end of the impactor.

Предлагаемое устройство, в отличие от устройств, рассмотренных в [1, 2], в виде пневматического молота, относится к горной промышленности и строительству, в частности к устройствам ударного действия, предназначенным

для разрушения крепких материалов искусственного и естественного происхождения. Пневматический молот содержит корпус, размещенный в нем ударник со сквозным осевым отверстием, разделяющий полость корпуса на камеры рабочего и холостого ходов, крышку с осевой многоканальной трубкой, служащей для впуска сжатого воздуха в камеру рабочего хода, рабочий инструмент и систему выпускных каналов, периодически сообщающих камеру холостого хода с атмосферой, выполненных в трубке и крышке. Камеры рабочего и холостого ходов сообщаются периодически между собой посредством выполненного в трубке перепускного канала с ярусами радиальных отверстий, образующих переменную площадь сечения, увеличивающуюся в сторону камеры холостого хода с ограничением торцом ударника со стороны камеры рабочего хода при условии, что длина ударника по отсекающим торцам больше длины до отсекающей кромки выпускного канала трубки со стороны торца ударника, обращенного в камеру рабочего хода, а длина отсекающей кромки выпускного канала трубки со стороны торца ударника, обращенного в камеру холостого хода, меньше длины до отсекающей выпускного канала со стороны торца ударника, обращенного в камеру рабочего хода, и выполнена по длине, не большей длины выпускного канала в трубке, ограниченного отсекающей кромкой торца ударника со стороны камеры рабочего хода.

Техническое решение пневматического молотка позволяет увеличить импульс силы давления воздуха при разгоне ударника за время рабочего хода и, как следствие, уменьшить расход воздуха, увеличить скорость соударения, частоту и энергию удара при отсутствии поступления в камеру холостого хода сжатого воздуха непосредственно из сети.

#### Список литературы

1. Абраменков, Э.А., Абраменков, Д.Э. Пневматические механизмы машин ударного действия: дроссельные, струйные, беззолотниковые, бесклапанные / Э.А. Абраменков, Д.Э. Абраменков. Новосибирск, 1993. 456 с.
2. Абраменков, Э.А., Абраменков, Д.Э., Кириллов, Ф.Ф., Кутумов, А.А. Штоковые пневматические механизмы машин ударного действия: дроссельные, струйные, беззолотниковые, бесклапанные, комбинированные / Э.А. Абраменков, Д.Э. Абраменков, Ф.Ф. Кириллов, А.А. Кутумов. Томск, 2008. 434 с.

## РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ТРЕЩИНАМИ В РАСТЯНУТОЙ ЗОНЕ

Н.С. Пичкурова, Р.М. Абзалтдинов

*ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»*

**Аннотация:** Описаны модели расчета железобетонных конструкций с трещинами в растянутой зоне, предпосылки и возможности дальнейшего совершенствования расчета железобетонных конструкций.

**Ключевые слова:** методы расчета железобетонных конструкций, трещины.

# DEVELOPMENT OF CALCULATION METHODS OF REINFORCED CONCRETE BENDING ELEMENTS WITH CRACKS IN THE TENSION ZONE

N.S. Pichkurova, R.M. Abzaltdinov

*FSBEI HPE «Siberian State University of Railway Engineering»*

**Abstract:** Described the models for calculating reinforced concrete structures with cracks in the tension zone, the background and the possibility of further improving the calculation of reinforced concrete structures.

**Keywords:** calculation methods of reinforced concrete structures, cracks

При изучении сопротивления железобетона, помимо расчета прочности и жесткости, необходимо рассматривать особую задачу, присущую только железобетону – образование трещин в растянутой зоне сечения. С появлением трещин, вследствие частичного или полного исключения из деформирования растянутой зоны бетона, в сечении и элементе возникают количественные и качественные изменения. Образование трещин в растянутой зоне практически неизбежно, однако это не является признаком опасного состояния конструкции, т.к. их раскрытие лимитировано величиной, ограничивающей снижение прочности элемента.

В теории железобетона наиболее распространена модель, основанная на понятии расчетного сечения [1]. Как правило, рассматривается состояние сечения до и после образования трещины. В трактовке проф. В.И. Мурашева – «...при двучленной эпюре напряжений железобетонное сечение с возрастанием внутренних усилий от нуля до предельных значений проходит пять стадий напряженного состояния» [1] (рис.1).

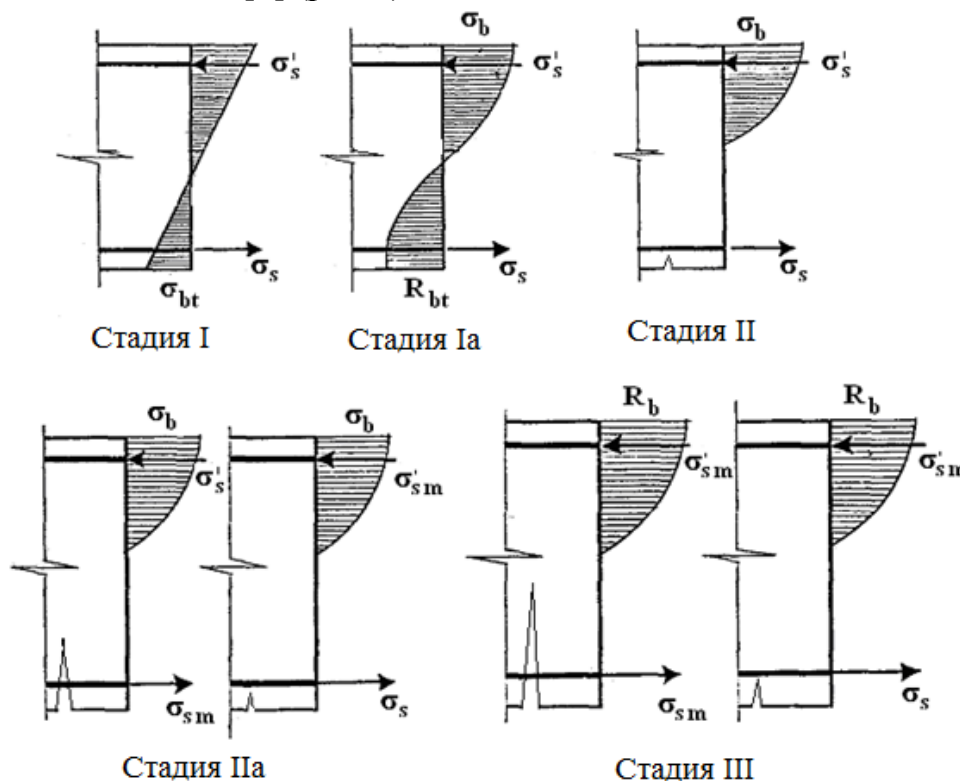


Рис. 1. Эпюры напряжений от начала загрузки до разрушения сечения

Стадия I имеет место при малых напряжениях в сечении, когда напряжения в растянутом бетоне не достигают предельных.

Стадия Ia наступает в момент достижения предельных напряжений в растянутом бетоне, непосредственно предшествует образованию трещин.

Стадия II наступает после образования трещин и является основной рабочей стадией железобетонных элементов. На участках между трещинами при увеличении внешнего момента сначала происходит перераспределение внутренних усилий в сечении, а затем – при сохранении гипотезы плоских сечений для средних деформаций по высоте сечения на всем участке – деформации в бетоне конкретного сечения искривляются за счет деформаций сдвига армированного слоя.

Стадия IIa представляет собой предельное состояние стадии II, когда в сечении образуется так называемый «пластический шарнир» (начало разрушения).

Стадия III является предельным напряженным состоянием, когда наступает полное разрушение сечения. Расчет по этой стадии заложен в нормы.

В момент образования трещины, по данным экспериментов проф. В.И. Мурашева [1], напряжения арматуры в сечении с трещиной резко возрастают, а бетон частично выключается из деформирования. В этот момент происходит некоторое искривление бетонного сечения около трещины и сдвиг бетона относительно арматуры. По мере выключения из деформирования бетона между трещинами деформации сдвига внутри бетона уменьшаются, поверхность бетона по сечению у трещины становится плоской и раскрытие трещин определяется, главным образом, сдвигом арматуры относительно бетона.

Существенное значение при определении деформаций конструкций имеют особенности развития пластических деформаций в сечениях железобетонного элемента. Характер развития пластических деформаций зависит от механических характеристик стали, а средние деформации арматуры в ряде случаев могут значительно отличаться от деформаций арматуры в сечении с трещиной. В таких случаях, по мнению проф. А.А. Гвоздева [2], неравномерность распределения деформаций может характеризоваться

коэффициентом  $\psi_\varepsilon = \frac{\bar{\varepsilon}_s}{\varepsilon_s}$ , где  $\bar{\varepsilon}_s$  – средние деформации арматуры, а  $\varepsilon_s$  –

деформации арматуры в сечении с трещиной, которая по экспериментальным данным в зависимости от вида арматуры, степени нагружения и расстояния между трещинами может изменяться от 0,4 до 1.

В нормах расчет по трещиностойкости и жесткости принято вести с помощью ядровых моментов с введением условного ядрового расстояния, уменьшенного на 20% по сравнению с ядровым расстоянием, принимаемым для упругого тела. Смысл введения заключается в том, что прямоугольное по высоте бетонное сечение с неодинаковым по его высоте модулем деформаций заменяется сечением с постоянным модулем деформаций, что уменьшает ширину сечения на более напряженной части, а значит, и граница будет

расположена к центру. Данное решение было принято для того, чтобы регулировать снижение расчетных усилий трещинообразования.

В теории железобетона рассматривают сечение, проходящее по трещине, но такой подход имеет недостатки. Во-первых, любые предположения о форме эпюры напряжения и ее максимальной ординате в сечении с трещиной недостоверны – слишком сложное НДС возникает над трещиной. Во-вторых, для сечения с трещиной нельзя воспользоваться законом распределения деформаций по высоте, т.к. в механике приняты гипотезы о сплошности и однородности материала, а в зоне с трещиной такие условия не соблюдаются.

Исходя из сказанного, принимают сечение, деформации в котором равны средним деформациям на участке между трещинами. Оно представляет собой модель, приближенно отражающую закономерности деформирования и разрушения объема железобетона между трещинами (рис. 2).

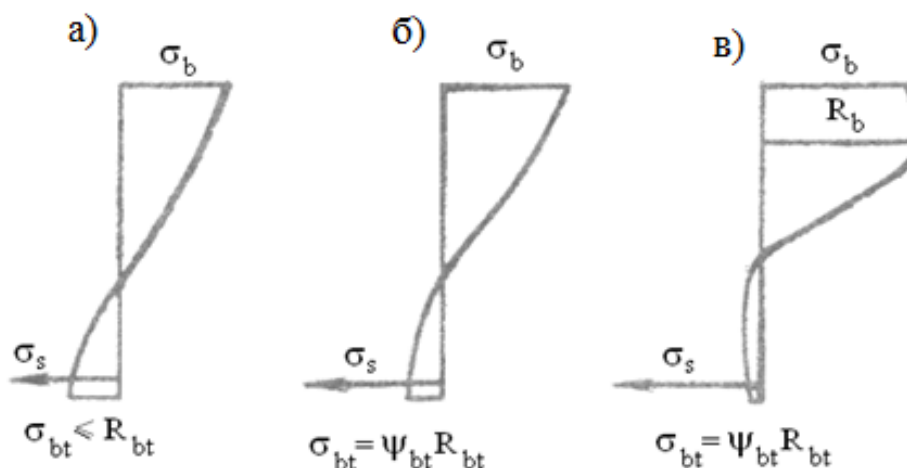


Рис. 2. Напряженное состояние расчетного сечения:  
*а – до образования трещин; б – после возникновения трещин;*  
*в – перед разрушением*

В железобетонных конструкциях в результате образования трещин происходит перераспределение усилий, а значит, и общее изменение жесткости сечений. Здесь возникают усилия, препятствующие дальнейшему образованию и распространению трещин благодаря коэффициенту интенсивности напряжений в вершине трещины. Нормативные документы это сопротивление бетона в расчетах не учитывают, однако в работе Шевцова С.В. [3] показано, что для мало- и среднеармированных конструкций учет коэффициента интенсивности напряжений в вершине трещины позволяет создать весомый запас прочности без снижения надежности элементов.

Таким образом, в связи с ростом объемов применения железобетона требуется дальнейшее совершенствование методов его расчета, чтобы перейти к более простым решениям уравнений жесткости и трещиностойкости и получить надежный прогноз дальнейшего развития деформаций в конструкциях.

## Список литературы

1. Мурашев В.И. Трещиноустойчивость, жесткость и прочность железобетона (основы сопротивления железобетона). – М.: Из-во МСПМ, 1950. – 268 с.
2. Гвоздев, А.А. Некоторые вопросы расчета прочности и деформаций железобетонных элементов при работе арматуры в пластической стадии / А.А. Гвоздев, Н.Н. Мулин, Ю.П. Гуца // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1968. – № 6. – С. 3 – 12.
3. Шевцов, С.В. Расчет изгибаемых железобетонных элементов с учетом сопротивления бетона распространению трещин: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Ростов-на-Дону: РГСУ, 2011. – 20 с.

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОВЕРХНОСТНОЙ И ОБЪЕМНОЙ ГИДРОФОБИЗАЦИИ

А.А. Пиняскин

*Алтайский государственный технический  
университет им. И.И. Ползунова*

**Аннотация.** Статья является обобщением исследований автора по гидрофобизации строительных конструкций зданий и сооружений с целью повышения их долговечности и улучшения эксплуатационных свойств. Подчеркивается необходимость защиты строительных материалов и конструкций от увлажнения, физико-химические основы процессов гидрофобизации, пути практического использования гидрофобизаторов и свойства гидрофобизированных материалов.

**Ключевые слова:** *Гидрофобизация, инъекционная гидроизоляция, грунтовые и техногенные воды, надежность и долговечность зданий, культурное наследие.*

## RESTORING THE WATERPROOFING OF BUILDINGS AND STRUCTURES WITH THE USE OF SURFACE AND BULK WATER REPELLENCY

A. A. Pinyaskin

*Altay State Technical University I. I. Polzunov*

**Annotation.** The paper is a generalization of the author's research on the hydrophobic structures of buildings and structures in order to increase their durability and improved performance properties. Emphasizes the need to protect the building materials and structures from moisture, physical and chemical bases of processes of water-repellency, ways of making water-repellent properties and hydrophobized materials.

**Tags:** *Waterproofing, injection waterproofing, ground and man-made water, the reliability and durability of buildings and cultural heritage.*

Долговечность, надежность и работоспособность зданий и сооружений зависит от многих факторов, но в первую очередь необходима их защита от влаги[3]. По традиционной строительной технологии против воздействия влаги используют вентиляцию, гидроизоляционные слои, дренаж. Однако в наше



время развитие науки позволило создать вещества, которые меняют саму суть взаимодействия влаги с материалами – так называемые гидрофобизаторы. Сделать материал гидрофобным – значит обеспечить эффект несмачивания водой, которая будет скатываться с поверхности и не будет проникать в его тело. Следовательно, гидрофобизация – один из методов решения в определённых условиях проблемы гидроизоляции.

Гидрофобизация конструкций – это один из видов пропиточной изоляции, результат образования тонких пленок гидрофобизаторов и изменение структуры материала. В настоящее время в строительстве используется два вида гидрофобизации конструкций: поверхностный и объёмный. Объёмный может осуществляться различными способами в зависимости от конкретной ситуации. Так, например, при ремонте и восстановлении строительных конструкций с целью создания горизонтальной гидроизоляции наиболее рационален способ нагнетания инъекционных материалов под определённым давлением.

Проблемным анализом природной и техногенной среды города Барнаула установлено, что около 40% занимаемой территории города подвергается заболачиванию, интенсивному подтоплению грунтовыми водами с высокой минерализацией, агрессивностью и загрязненностью техногенными продуктами.

На первой и второй надпойменных террасах реки Барнаулки, которые характеризуются высоким уровнем залегания грунтовых вод, находится значительная часть территории города Барнаула. Большая часть зданий Центрального района, среди которых множество памятников архитектуры регионального и федерального значения, имеет более чем полувековую историю, и, следовательно, гидроизоляция этих зданий потеряла работоспособность ввиду недолговечности гидроизоляционных материалов. Для сохранения культурного наследия города и его архитектурного облика необходимо восстановление гидроизоляционных слоев зданий, в том числе и с помощью гидрофобизации конструкций.

Восстановление гидроизоляции зданий (особенно их подземных частей) является трудоемким и дорогостоящим процессом - требуется отрыв шурфов, разрушение отмостки, асфальтобетонного покрытия и дренажа, а при расположении здания на красной линии вскрытие грунта у фундамента и вовсе представляется невозможным. Применение инъекционной гидроизоляции значительно упрощает задачу, так как не требуется проведения земляных работ, не изменяется внешний вид строений, а применение современных гидроизоляционных материалов позволяет эффективно защитить конструкции от пагубного воздействия влаги.

Негативное влияние воды во всех её агрегатных состояниях (водяной пар, вода, лед) вредно сказывается на сохранности бетона на всем протяжении его службы. Исключить или хотя бы значительно минимизировать его можно только уменьшением поступления этой воды в толщу бетона. Т.к. главной транспортной артерией поступления воды в бетон являются капиллярные ходы,

бороться с водонасыщением бетона очень сложно. Капиллярные силы настолько сильны, что различные наружные защитные обмазки или изоляции малоэффективны – рано или поздно вода находит себе путь.

Против капиллярных сил невозможно бороться, но, оказывается, их можно попросту «выключить». Для этого достаточно изначально гидрофильным внутренним стенкам пор и капилляров, пронизывающих все бетонное изделие, придать гидрофобные свойства. Это с успехом делают гидрофобизирующие добавки (рисунки 1 и 2).

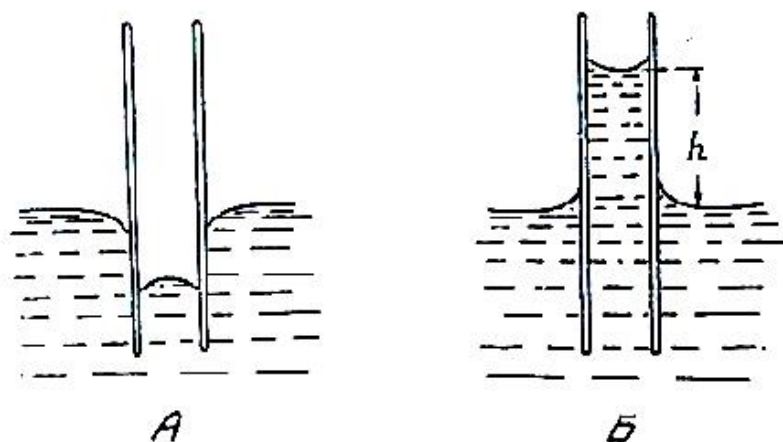


Рис. 1. Уровень воды в гидрофобном (А) и гидрофильном (Б) капиллярах

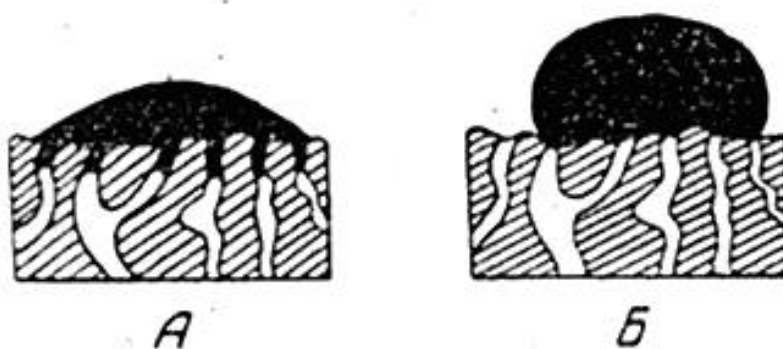


Рис. 2. Вода на поверхности гидрофильного (А) и гидрофобного (Б) пористого тела

Противокапиллярное давление гидрофобизированного пористого тела достаточно велико, и сам факт его существования подтверждает правильность часто употребляемого в этом случае термина «водоотталкивающее покрытие». И хотя этот термин в данном контексте с терминологической точки зрения неверен (ведь никакого покрытия, по сути, нет), с физической стороны он отражает сущность происходящих явлений.

Именно благодаря этому противокапиллярному давлению пористые (а равно как и условно-пористые) материалы, оставаясь воздухо- и паропроницаемыми, оказываются непроницаемыми для воды в жидкой фазе, даже при достаточно высоких гидростатических давлениях [2].

Все кремнийорганические соединения обладают сравнительно «рыхлой» структурой и не являются препятствием для проникновения одиночных молекул воды (материал «дышит»). Поверхностный углеродный слой начинает «работать» только в тех случаях, когда влага присутствует не в газообразной форме (пар), а в виде гораздо более крупных агломератов (капель и микрокапель), что визуально и выражается как «водоотталкивание».

В практике строительства чаще всего применяются силиконовые гидрофобизаторы (СГ) на основе:

- алкилсиликонатов калия;
- алкоксисиланов;
- гидросодержащих силоксанов;
- гидроксилсодержащих силоксанов (каучуки).

Поверхностная гидрофобизация предусматривает нанесение на обрабатываемую поверхность рабочего состава СГ (содержание активного вещества 2-10%), получаемого разбавлением концентрата (товарная форма). Нанесение осуществляется наиболее оптимальным для данного типа СГ и обрабатываемого материала способом: распылением, окунанием, поливом, кистью или валиком [3].

Инъекционная гидроизоляция – это способ гидроизоляции, осуществляющийся закачиванием через подготовленные отверстия специальных составов в грунт, примыкающий к строительным конструкциям, конструкцию, или в швы и трещины строительных конструкций.

Технология инъектирования хорошо подходит для защиты существующих зданий и сооружений от подъема капиллярной влаги путём создания горизонтальной гидроизоляции. Повреждения стен подвалов и соприкасающихся с грунтом конструктивных элементов по причине проникновения влаги относятся к наиболее частым повреждениям, встречающимся при ремонте зданий. Во влажных кирпичных стенах вода поднимается через тонкие поры (капилляры) и трещины в конструктивном элементе здания. В результате горизонтальной гидроизоляции подъем воды прекращается.

В целях устранения попадания капиллярной влаги в конструкции фундаментов и стен зданий обычно производится устройство горизонтальной гидроизоляции стен. Такая гидроизоляция выполняется по двум направлениям:

- горизонтальная установка металлического листа в стену здания;
- горизонтальная гидроизоляция (отсечка) закачкой в стену через систему шпуров специальных смол или гидрофобной жидкости.

В большинстве случаев рационально применение только горизонтальной гидроизоляции закачкой в стену специальных растворов. Основным преимуществом инъекционных технологий являются возможность быстро устранить течь и предотвратить вертикальный подъем воды по телу конструкции, их высокое и стабильное качество, быстрота выполнения и экологичность.

Инъекции под давлением рекомендуется применять, если обрабатываемая кладка в значительной степени или полностью пропитана водой. Расположение шпуров рассчитывается в зависимости от типа и состояния кладки. Диаметр шпуров должен составлять 12-18 мм. Шпуры могут быть пробурены горизонтально или с углом наклона до 30°. Расстояние между центрами шпуров должно составлять 10-20 см. Длина шпура должна быть на 5-8 см меньше толщины стены. Для плотных, слабо или совсем не впитывающих кирпичных кладок необходимо применять двухрядное расположение шпуров. Для впитывающей кладки и природных камней следует бурить шпуры в камнях, а при плотной кладке - в швах.

Через установленные трубки или непосредственно в шпур под давлением 0,2-2,0 МПа нагнетаются "до отказа" инъекционные композиции. Выдерживание в этом состоянии предельного давления осуществляется в течение 5-10 мин.

По окончании работ инъекционные пакеры удаляются или путем срезки их заподлицо с конструкцией, или путем извлечения их из тела бетона, если после окончания инъектирования прошло не более 16-24 ч. Оставшиеся отверстия заполняются раствором [1].

Применение метода гидрофобизации обусловлено несколькими отличительными признаками:

- составы не обладают запахом, что позволяет использовать его внутри помещений во время их эксплуатации;
- допускаются инъекции во влажные конструкции;
- не изменяет внешний вид обработанного материала;
- увеличивает атмосферостойкость и коррозионную стойкость материалов;
- препятствует появлению высолов;
- увеличивает стойкость к воздействию щелочей и слабых кислот;
- практически не снижает газо- и воздухопроницаемость;
- устраняет капиллярное проникновение воды в конструкциях, расположенных ниже уровня земли;
- проникает внутрь обрабатываемого материала на глубину до 300 мм (в зависимости от пористости материала);
- срок службы покрытия не менее 10 лет;
- водозащитный эффект наступает уже в течение 24 часов;
- при восстановлении горизонтальной гидроизоляции не требуется отрыв грунта;
- в плане экологичности, гидроизоляция не содержит в своем составе токсинов, битумных смол, а значит, является менее вредной для окружающей среды.

Автором были проведены испытания по восстановлению и устройству отсечной и поверхностной гидроизоляции с применением гидрофобизирующих составов.

При испытаниях были использованы 3 вида гидрофобизирующих составов: на экспериментальной установке №1 (кладка из керамического кирпича)

использовали гидрофобизатор Типром К Люкс, на установке №2 (кладка из керамического кирпича) использовали ГФ-2, на установках №3 (кладка из силикатного кирпича) и №4 (пенобетонные блоки) - Типром У1. По полученным результатам можно сделать вывод - данные составы пригодны для устройства инъекционной горизонтальной и поверхностной гидроизоляции. В ходе эксперимента была отработана и скорректирована методика устройства инъекционной горизонтальной гидроизоляции, на практике изучен процесс воздействия капиллярной влаги на конструкцию и обеспечена гидрозащита экспериментальных образцов (рисунок 3).



Рис. 3. Испытания по устройству объемной гидрофобизации

Подводя итог, можно сказать, что проведенный эксперимент оправдал ожидания и показал удовлетворительные результаты. Мы убедились в том, что инъекционная горизонтальная гидроизоляция с применением гидрофобизаторов является практически незаменимым методом защиты от капиллярной влаги зданий и сооружений города Барнаула, которые находятся продолжительное время в эксплуатации и подземные части которых находятся в естественно подтопленных и водонасыщенных грунтах, а поверхностная гидрофобизация материалов конструкций является их надежной гидрозащитой.

#### Список литературы

1. ВСН 64-97. Инструкция по технологии устройства гидроизоляции и укрепления стен, фундаментов, оснований полимерными гидрофобизирующими составами. М.: Стройиздат, 1997. С. 7-9.
2. Ружинский, С. Все о пенобетоне / С. Ружинский, А. Портник, А. Савиных. СПб.: Строй Бетон, 2006. С. 485-486.
3. Сураев, В. Гидрофобизация. Теория и практика / В. Сураев // Технологии строительства. 2002. №1. С. 120-121.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НИЗКОКАЛЬЦИЕВЫХ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ В РАСТВОРАХ И МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНАХ

Г.И. Овчаренко, Н.А.Фок

*Рубцовский индустриальный институт*

Представлены результаты исследования прочности образцов в зависимости от добавки низкокальциевых золошлаков, вводимых взамен части вяжущего либо части мелкого заполнителя.

**Ключевые слова:** *низкокальциевые золошлаки, замена части цемента, замена части заполнителя, класс бетона.*

## STUDY THE POSSIBILITY OF USING FLY ASH WITH LOW CONTENT OF CALCIUM IN SOLUTIONS AND FINE GRAINED CONCRETE

G. I. Ovcharenko, N. A. Fock

*Rubtsovsk industrial Institute*

Presents the results of the study strengths of the samples depending on additives with low ash content of calcium, introduced to replace part of the binder or part of fine aggregate.

**Keywords:** *low-calcium ash and slag replacement cement replacement part filler, the grade of concrete.*

### ВВЕДЕНИЕ

Известно множество технологий производства разного рода строительных материалов, где отходы ТЭЦ применяются в качестве сырьевых компонентов, например, в производстве аглопоритового и зольного гравия, лёгкого заполнителя, композиционных цементов, золошлаковых вяжущих, бетонов, растворов, кирпича [1, 2]. На практике объемы переработки техногенных отходов ТЭС незначительны и не превышают в настоящее время 12%. Одной из причин этому является высокое содержание в отходах недогоревшего угля, количество которого часто составляет 10-25%. А удаление недогоревших угольных частиц является сложной задачей [3].

В основном используются золы высококальциевые, которые наиболее распространены в России, особенно в Сибири. Такие золы обладают самостоятельными вяжущими свойствами, их можно использовать как замену части цемента. Низкокальциевые золы практически не используют, хотя по химическому и минеральному составу они также во многом идентичны природному минеральному сырью. Они не обладают самостоятельными вяжущими свойствами, но при взаимодействии с цементом и известью начинают их проявлять. Кроме того, такие золы при их использовании в производстве, например, ячеистых бетонов, позволяют отказаться от сложного процесса автоклавирования и заменить его на пропаривание.

Целью работы является исследование влияния вводимой золошлаковой низкокальциевой добавки (прокалённой и непрокалённой) на показатели прочности строительного раствора и мелкозернистого бетона.

## **СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

Для проведения эксперимента была отобрана зола-унос с ТЭЦ г. Рубцовска Алтайского края [3], речной песок с поймы реки Алей с модулем крупности 1,3 (очень мелкий), цемент ПЦ400 и вода, отвечающая требованиям ГОСТ 23732 – 2011. Для грануляции золошлаков с целью их дальнейшего прокаливания применяли в качестве связки известь в количестве 6% и 9% от массы вяжущего (с содержанием активных оксидов кальция и магния 70%).

## **МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА**

Были изготовлены образцы в виде балочек 40×40×160мм, выдержанные во влажной среде при температуре 20<sup>0</sup>С, следующих составов: а) 1:3 (цемент:песок) с водоцементным отношением В/Ц=0,5 (принятый за эталон) и того же состава, но с заменой части цемента прокалёнными и непрокалёнными золошлаковыми отходами (ЗШО) в количестве 10% и 20%; б) 1:3 (цемент:песок) с водоцементным отношением В/Ц=0,5 (принятый за эталон) и того же состава, но с заменой части песка прокалёнными и непрокалёнными золошлаковыми отходами (ЗШО) в количестве 20-40-60-80-100%.

При использовании прокалённых ЗШО их сначала гранулировали с помощью связки извести 6 и 9% и увлажнения до формовочной влажности 12-15%. После сушки гранулы обжигали в печи при температуре 800<sup>0</sup>С, а после их остывания тонко мололи.

Определение предела прочности при сжатии полученных образцов производилось через 28 суток, а также через 3,6 и 12 месяцев.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ**

При испытании эталонного образца через 28 суток был получен класс бетона В 15 (через 12 месяцев – В20). При введении в смесь прокалённых золошлаков наилучшие результаты были получены при 10% замене цемента ими (при этом в качестве связующего для прокаливания применялась 6-9% известь). Через 28 суток был получен класс бетона В10, а через 12 месяцев – В15 (рисунок 1). Конечно, показатель прочности оказался ниже эталонного значения, но такой бетон можно использовать при изготовлении стяжек, полов, фундаментов, в дорожном строительстве и др. Непрокалённые золошлаки, введённые в смесь, не дали положительных результатов и не могут быть рекомендованы к использованию.

Наиболее эффективным оказалось замещение мелкого заполнителя (песка) (рисунок 2). Наилучший результат достигнут при замене части песка 40% ЗШО. Через 28 суток твердения получен бетон класса В10, через 3 месяца – В15, а через 12 месяцев - класса В20. Характерен интенсивный рост прочности спустя 3 месяца после начала твердения. Бетон В20 является наиболее востребованным, его используют при устройстве монолитных фундаментов, возведении конструктивных элементов строений, при строительстве подпорных сооружений и т.п.

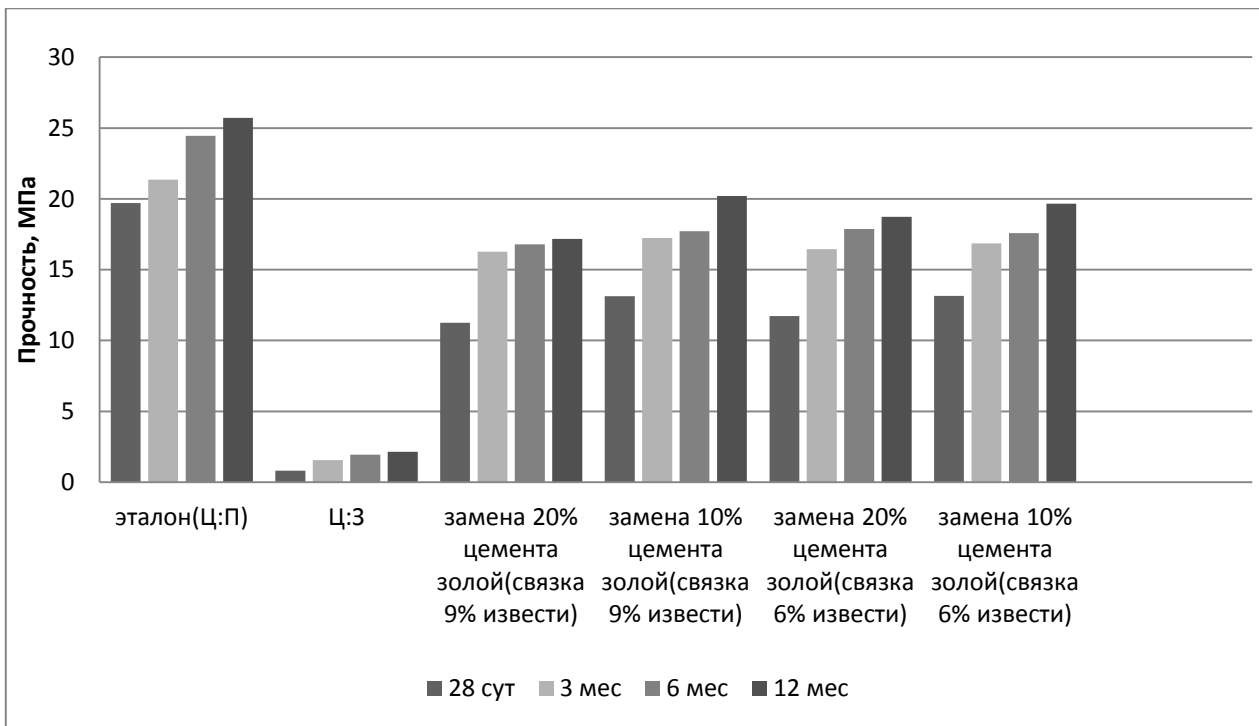


Рис. 1. Нарастание прочности образцов разных составов в зависимости от времени (замена части цемента прокалёнными золошлаковыми отходами (ЗШО) в количестве 10% и 20%)

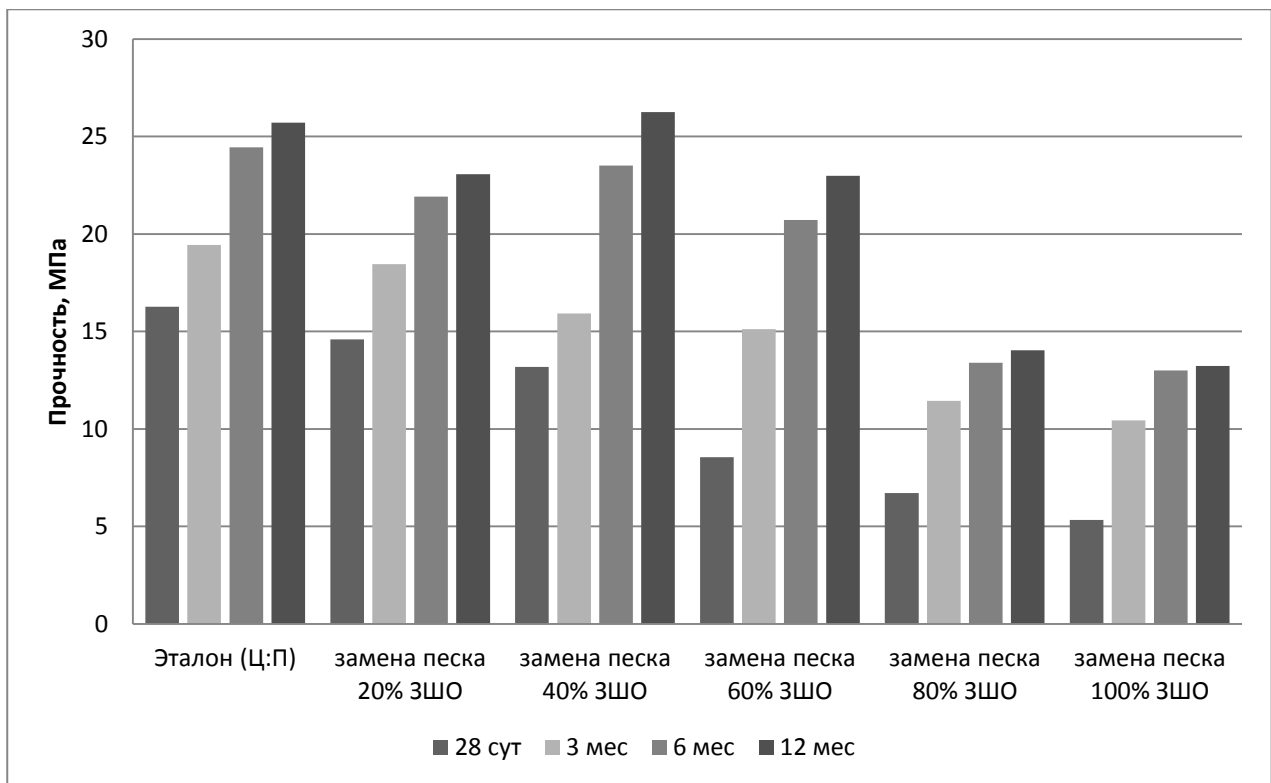


Рис. 2. Нарастание прочности образцов разных составов в зависимости от времени (замена части песка прокалёнными золошлаковыми отходами (ЗШО) в количестве 20-40-60-80-100%)



Добавку золы особенно выгодно вводить в бетонную смесь вместо мелкозернистого песка, который повышает расход цемента. Зола выполняет роль микронаполнителя и пуццолановой добавки, она заполняет пустоты между песчинками, улучшает однородность, что положительно сказывается на морозостойкости и водонепроницаемости. Кроме того, применение золошлаковых отходов в качестве заполнителя будет экономически выгодным. Снижение расхода цемента предполагается на 30-40кг/м<sup>3</sup>, песка – на 200-300кг/м<sup>3</sup>.

Безусловно, проблема использования золошлаков ТЭЦ в качестве заполнителя должна быть изучена более детально, так как внедрение подобных технологий в производство не только позволит решить вопросы технические и экономические, но и положительно повлияет на состояние окружающей среды.

## **ВЫВОДЫ**

Переработка низкокальциевых зол в растворы и мелкозернистые бетоны требует обязательного их дожигания. Наиболее эффективным оказалась замена части песка (оптимально 40%), что позволит получить материал с хорошими строительно-техническими характеристиками и экономической выгодой.

### **Список литературы**

1. Овчаренко Г.И., Фок Н.А., Гильмияров Д.И., Баландин И.С., Переработка кислых зол и золошлаков ТЭЦ в силикатный кирпич // Ползуновский вестник: Изд-во АлтГТУ. - 2011. – №1. – С. 148-152.
2. Волженский А.В. Применение зол и шлаков в производстве строительных материалов/ А.В. Волженский, И.Л. Иванов, Б.Н. Виноградов. — М.: Стройиздат, 1984. - 216 с.
3. Фок Н.А., Гильмияров Д.И., Михайленко А.А., Орлянский К.В., Исследование влияния различных видов связей на процессы грануляции золошлаков// Ползуновский вестник: Изд-во АлтГТУ. - 2012. – №1/2. – С. 109-113.

## **СЕКЦИЯ 5. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ**

**Председатель секции: кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Электроэнергетика» Гончаров Сергей Алексеевич**

### **ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СБОРА ИНФОРМАЦИИ С ТОЧЕК УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

**И.А. Ащеулов, А.Н. Попов**

*Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова*

В статье рассмотрены способы передачи информации от точек учета электроэнергии энергетическим компаниям, выявлены их преимущества и недостатки. Также в статье затрагивается вопрос повышения надежности данных каналов связи.

**Ключевые слова:** точки учета электроэнергии, АСКУЭ, АСТУЭ, ВЧ-связь.

# IMPROVING THE RELIABILITY OF INFORMATION COLLECTION OF ELECTRICITY METERING POINTS

I.A. Ascheulov, A.N. Popov

*Polzunov Altai State Technical University*

The article considers the methods of transmission of information from metering points of electricity energy companies, identified their advantages and disadvantages. The article also addresses the issue of improving the reliability of data communication channels.

**Keywords:** energy metering, ASCA, ASTA, HF communications.

В последнее время в сфере электроэнергетики все активней идет автоматизация всех производственных процессов. Взамен старых методов сбора информации с точек учета электроэнергии в сетях 0,4 кВ у потребителей, когда для съема показаний необходимо непосредственно задействовать персонал, стали появляться автоматизированные системы технического (АСТУЭ) и коммерческого (АСКУЭ) учета электроэнергии.

Системы АСКУЭ и АСТУЭ позволяют дистанционно снимать и передавать показания от подключенных точек учета электроэнергии по выбранным зашифрованным каналам связи на компьютер с установленным программным обеспечением для учета потребляемой электроэнергии, технических параметров и удаленного администрирования счетчиков. При установке данных систем появляется масса возможностей выполнить оперативный расчет балансов, получить информацию для коммерческих и технических расчетов потребления электроэнергии, определяются технологические расходы и потери, происходит оперативное управление режимами энергопотребления в любой момент времени

Данные системы обладают рядом следующих достоинств [1]:

- возможность проводить оперативное управление режимами энергопотребления;
- повысить достоверность и оперативность учета электрической энергии;
- производить постоянный контроль технического состояния электроэнергетических систем;
- добиться высокой точности учета и измерений и многое другое.

Как правило, работа системы АСТУЭ и АСКУЭ представляет собой простейшую трехуровневую схему (рисунок 1).

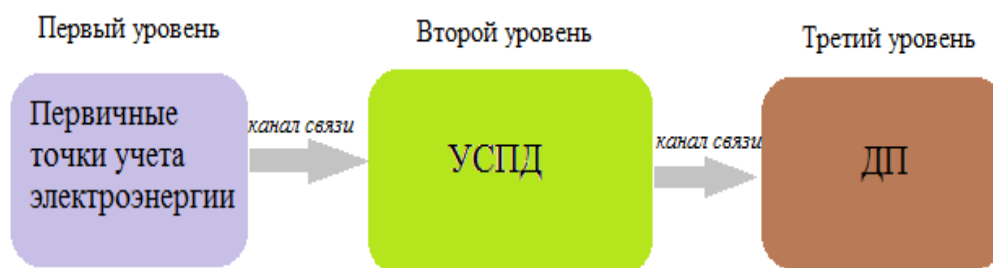


Рис. 1. Простейшая трехуровневая схема сбора информации

Система сбора показаний с точек учета электроэнергии состоит из трех уровней:

- первый уровень состоит из устройств измерения различных параметров электрической энергии;

- второй уровень включает в себя устройство сбора, обработки и передачи данных;

- третий уровень включает в себя диспетчерский пункт, который оборудован компьютером с программным обеспечением АСКУЭ и АСТУЭ [2].

Как правило, оборудование системы для получения учётных данных от потребителей, присоединённых к одной трансформаторной подстанции в самой минимальной комплектации, состоит из маршрутизатора и множества однофазных и трёхфазных счётчиков, оснащённых встроенными модемами.

Коммуникационное оборудование состоит из маршрутизатора, который устанавливается в любом подходящем месте трёхфазной четырёхпроводной сети 0,4 кВ, например, в электрощитовой жилого дома или на трансформаторной подстанции в коттеджном поселке и подключается по трем фазам одной из секций шин. Данный прибор служит для накопления информации, полученной с пользовательских точек учета и преобразования полученных команд с верхнего уровня в интерфейс и обратно. Все устройства оснащены цифровым интерфейсом, с которого возможен съём накопленной информации на переносной компьютер инспектора непосредственно на месте установки маршрутизаторов или передача данной информации диспетчеру по каналам связи.

Абонентское оборудование состоит из одно- и трехфазные счетчиков электроэнергии со встроенным модемом, которые позволяют получать и исполнять команды, полученные с верхнего уровня и использовать все функции счетчиков удаленно. В свою очередь удаленные пользовательские дисплеи позволяют отображать информацию с заданных счетчиков. Они необходимы в тех случаях, когда счетчики электроэнергии установлены в недоступном месте, к примеру – на опоре линий электропередач.

На практике существуют различные способы передачи информации от первичных точек учета электроэнергии диспетчеру пункта. На сегодняшний день в АСКУЭ и АСТУЭ освоены и активно применяются следующие основные технологии для передачи данных:

- передача данных при помощи интернета, телефонных линий и отдельных проводников [3]. Данный тип связи необходим для передачи больших объемов информации на большой скорости. Иногда инфраструктура интернета и телефонных линий уже существует на объекте автоматизации, однако зачастую необходимо прокладывать новые кабели, что существенно увеличивает стоимость передачи информации. Также для подключения к промышленному оборудованию с последовательными интерфейсами необходимо устанавливать преобразователи интерфейсов.

- передача данных при помощи мобильной связи (GPRS, GSM, 2G, 3G) и технологий wi-fi. Данный способ передачи информации является

привлекательным для компаний, обслуживающих системы АСТУЭ и АСКУЭ, в связи с тем, что существует уже сформированная инфраструктура сотовой сети с достаточно большим покрытием территории, большой выбор оборудования. Однако существует серьезный недостаток в виде взимаемой оператором сотовой связи платы за услугу передачи данных, зависимости от работоспособности оборудования оператора сотовой связи, уровень сигнала в специальных помещениях, таких как трансформаторные подстанции, распределительные пункты и т.д. зачастую низок, что требует дополнительных монтажных мероприятий по установке внешних антенн.

- передача данных по высокочастотному каналу через силовые линии. Данный вид передачи представляется наиболее перспективным, т.к. для передачи информации от точек учета электроэнергии практически не требуется больших капиталовложений в построение специальных линий связи и не требуются затраты на оплату услуг, предоставляемых третьими лицами.

Однако, при всех достоинствах передачи данных по высокочастотному каналу через силовые линии, существует ряд проблем. Основная заключается в том, что не всегда информация от точек учета электроэнергии доходит до диспетчерского пункта по линиям связи, что существенно снижает надежность системы в целом. Это вызвано непостоянством параметров электрической сети, так как они меняются в зависимости от времени суток, в связи с тем, что изменяется количество подключенных к сети устройств, их тип и мощность.

Также существует проблема, связанная с тем, что на одну фазу трансформатора могут быть подключены сотни абонентов, у каждого из которых имеется большое количество всевозможных устройств, что создает весьма высокий уровень помех в силовой сети здания и города в частности.

Не меньшей проблемой является плохое состояние силовых сетей как в целом, так и внутри строений. Последние часто выполнены с нарушениями, также нарушается даже минимальное требование: магистраль выполняется более толстым проводом, чем отходящие питающие линии в комнаты. Если сечение проводов выбрано неверно, прокладка магистральной линии выполнена некачественно, то сопротивление линии гасит высокочастотные сигналы. Исправить ситуацию можно или улучшив чувствительность приемника, или увеличив мощность передатчика. Данное техническое решение проблематично, так как в линии связи присутствуют помехи, поэтому увеличение чувствительности приемника до уровня помех не даст увеличения достоверности приема сигналов и увеличение мощности передатчика может создавать помехи другим устройствам.

На практике для решения таких проблем используются так называемые повторители высокочастотного сигнала, которые усиливают передаваемый сигнал от точек учета электроэнергии. Однако не существует типового метода, с помощью которого определяется число и конкретное место расположения повторителя в сети. Соответственно, компании, обслуживающие точки учета электроэнергии, ставят повторители «наугад», что ведет к увеличению их числа и, следовательно, к увеличению стоимости обслуживания систем

коммерческого и технического учета электроэнергии. Мы считаем, что разработка метода определения оптимального количества и расположения устройств учета электрической энергии позволит существенно повысить надежность сбора информации и снизить их стоимость.

Повсеместная автоматизация электроэнергетического комплекса ставит перед энергетиками целый ряд вопросов. В частности, при внедрении систем автоматического технического и коммерческого учета электроэнергии, которые обладают рядом преимуществ, ставится вопрос способа и качества передачи информации от точек учета электроэнергии диспетчеру. Можно сделать вывод, что передача информации по силовым кабелям в сетях низкого напряжения является достаточно перспективной, однако существует риск потери информации от передатчика к приемнику. Проведение анализа и выявление причин в данной области позволит повысить надежность каналов связи, что, в свою очередь, приведет к повсеместному распространению и удешевлению данного вида передачи данных от точек учета электроэнергии и ускорит автоматизацию энергосистемы.

#### Список использованных источников

1. Библия электрика. ПУЭ, МПОТ, ПТЭ [Электронный ресурс]. – Новосибирск : Сибирское университетское изд-во, 2011. – 688 с. – Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=57229>
2. Стрельников, Н. А. Электроснабжение промышленных предприятий : Учеб. пособие [Электронный ресурс] / Н. А. Стрельников. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2013. – 100 с. – Режим доступа. — URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=228801>
3. АСКУЭ для частного сектора [Электронный ресурс]//Интернет портал сообщества ТЭК. [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://www.energyland.info/news-show-electroseti-electro-57775>
4. Внедрение систем автоматизированного учета и контроля параметров энергопотребления (АСКУЭ, АИИСКУЭ) [Электронный ресурс]// ООО ПФФ «Центр энергосберегающих технологий». [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://www.estc.dias.ru/askue/>

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

О.П. Балашов

*Рубцовский индустриальный институт АлтГТУ*

**Аннотация:** В статье рассматриваются перспективы использования светодиодного освещения в производственных помещениях.

**Ключевые слова:** Газоразрядные лампы, светодиодные источники света, производственные помещения.

# THE USE OF LED LIGHTING IN INDUSTRIAL PREMISES

O.P. Balashov

*Rubtsovsk industrial Institute, Altai state technical University*

**Abstract:** the article discusses the prospects of using led lighting in industrial premises.

**Keywords:** Discharge lamps, led light sources, manufacturing facilities.

Применение освещения в производственных помещениях является одним из основных элементов, создающих предпосылки для обеспечения технологического процесса производства продукции. В настоящее время для создания требуемой освещенности в производственных цехах используются газоразрядные лампы. Их применение обусловлено значительным световым потоком, который требуется для помещений с большой высотой.

Газоразрядные лампы имеют высокую световую отдачу, достаточно большой срок службы, а также хорошие уровни цветопередачи (особенно у люминесцентных ламп низкого давления и ламп типа ДРИ), что является их несомненным достоинством.

Однако газоразрядные лампы обладают рядом существенных недостатков. Для зажигания и горения ламп необходимы специальные схемы включения, предусматривающие использование последовательно включенных пускорегулирующих аппаратов. Газоразрядные лампы имеют небольшой набор номинальных мощностей по сравнению с лампами накаливания и относительно большие габариты. Лампы, работающие на переменном токе, не могут работать на постоянном токе с той же схемой включения.

Все газоразрядные лампы при питании переменным током дают световой поток, пульсирующий с удвоенной частотой тока, что вызывает повышенную утомляемость глаз и может приводить к возникновению стробоскопического эффекта. Стробоскопические явления вредны для зрения и особенно опасны в производственных условиях, так как могут быть причиной травматизма. Для устранения явлений стробоскопии могут применяться многоламповые светильники с пускорегулирующими аппаратами, создающими искусственный сдвиг фазы напряжения переменного тока, электронные пускорегулирующие аппараты, специальные схемы включения газоразрядных ламп, а также подключение соседних светильников к разным фазам трехфазной сети.

Газоразрядные лампы являются источниками высших гармоник тока, что неблагоприятно сказывается на режимах электрической сети. Кроме того, работа ламп создает радиопомехи, распространяемые как по эфиру, так и по сети. Схемы с газоразрядными лампами потребляют помимо активной также и существенную реактивную мощность, поэтому коэффициент мощности в сети с газоразрядными лампами высокого давления и люминесцентными лампами низкого давления с некомпенсированными ПРА находится в пределах 0,35-0,5.

Влияние отклонения напряжения на работу газоразрядных ламп меньше, чем для ламп накаливания, но при напряжении ниже 90% номинального устойчивое зажигание ламп не обеспечивается.

Поскольку многие виды газоразрядных ламп содержат ртуть, их необходимо утилизировать централизованно в специальных организациях.

Нужно иметь в виду, что лампы высокого давления обычно имеют продолжительное время зажигания, как из горячего, так и из холодного состояния. Оно обусловлено скоростью установления теплового режима колбы и составляет в среднем 2—10 мин.

В последнее время в качестве источников света для производственных помещений могут быть использованы светодиоды, обладающие хорошими светотехническими характеристиками, являющиеся безопасными, экологически чистыми, удобными для применения, не требующими значительных затрат на эксплуатацию.

Светодиоды обладают рядом очевидных преимуществ по сравнению с существующими источниками света, такими как:

1. Высокая световая отдача.

2. Питание светодиодов осуществляется на постоянном токе и низком напряжении. Низкое напряжение позволяет использовать светодиодные источники света для освещения мест, опасных в отношении поражения электрическим током, а также труднодоступных мест, где технически сложно или экономически невыгодно прокладывать электрические сети обычных осветительных установок.

3. Отсутствие ультрафиолетового и инфракрасного излучения.

4. Большой срок службы. Для современных светодиодов при температуре 25<sup>0</sup>С он составляет от 50 000 до 100 000 ч. При этом самые долговечные газоразрядные натриевые лампы типа ДНаТ имеют среднюю продолжительность горения около 20 000 ч.

5. Виброустойчивость. В отличие от люминесцентных ламп, светодиодные источники света обладают достаточно высокой механической прочностью и устойчивостью к вибрациям, так как не имеют никаких стеклянных колб.

6. Направленность вывода света. Обычные электрические лампы излучают свет равномерно во все стороны, а светодиоды только в одном преимущественном направлении. Это позволяет значительно снизить потери светового потока в оптической системе светильника.

Основными недостатками светодиодных источников света, препятствующими их широкому внедрению в осветительных установках, является высокая стоимость, обусловленная сложностью технологии их изготовления [1], что требует значительных капитальных затрат на модернизацию осветительных установок. К тому же, поскольку питающее напряжение светодиода намного меньше сетевого напряжения, то возникает необходимость в использовании либо последовательного подключения, что имеет свои недостатки, либо дополнительного устройства питания, а это уменьшение общей надёжности и увеличение стоимости.

Рассмотрим, обладают ли они высокой эффективностью использования, как утверждают производители ламп светодиодного освещения [2].

Представим данные расчета по инструментальному производству одного из цехов, в котором была проведена модернизация осветительной установки. Данные для сравнения приведены в таблице 1.

Сравнительные данные по источникам света

Наименование источника света	Освещенность рабочей поверхности, лк	Кол-во и тип источника света	Расчетная активная мощность, кВт	Расчетная реактивная мощность, кВт	Коэффициент пульсации, %
Газоразрядные лампы	200	58 ДРЛ-400	24,36	42,14	около 20
Светодиодные лампы	200	41 Plant02-140	5,74	1,15	около 7

С учетом роста тарифов за электрическую энергию на 15% в каждом календарном году срок окупаемости светодиодных источников света для инструментального производства составил 3,8 года без учета дополнительных мероприятий, связанных с компенсацией реактивной мощности, экологического и социального эффектов.

Рассмотрим более подробно, в чем они заключаются. Во-первых, светодиодные светильники меньше потребляют реактивную мощность из сети. В нашем случае разница составляет 41 квар, что не требует использования батарей статических конденсаторных установок. Стоимость которой (например, КРМ-0,4-40) составляет 28000 рублей [3]. Во-вторых, нет необходимости утилизации светодиодных источников света по отношению к газоразрядным. Стоимость утилизации одной газоразрядной лампы составляет около 22 рублей [4]. В третьих, снижение коэффициента пульсации меньше оказывает влияние на утомляемость производственного персонала на рабочем месте, что является факторами, увеличивающими производительность труда и снижения вероятности травматизма.

Тогда с учетом всех перечисленных факторов срок окупаемости светодиодных источников света может быть снижен до 3,5 лет и явиться предпосылкой для внедрения энергоэффективных мероприятий в производственных помещениях.

#### Список литературы

1. Козловская В.Б., Радкевич В.Н., Сацукеви. В.Н. Электрическое освещение: учебник / В.Б. Козловская, В.Н. Радкевич, В.Н. Сацукевич. – Минск: Техноперспектива, 2011.
2. Промышленные четырехмодульные светильники AtomSvet® Plant // [Электронный ресурс].- Режим доступа.-URL: <http://www.atomsvet.ru/production/industrial/plant/tetra-mode/> (дата обращения 05.11.2015).
3. Торговая электротехническая компания «Энергозапад» // [Электронный ресурс].- Режим доступа.-URL: <http://www.energozapad.ru/ukm> (дата обращения 05.11.2015).



4. Утилизация ртутных, люминесцентных и энергосберегающих ламп, экологические проекты // [Электронный ресурс].- Режим доступа.-URL: <http://unepspb.ru/> (дата обращения 05.11.2015).

### **ВИХРЕВОЙ ГАЗО - ВЕТРОЭНЕРГОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ**

В.В. Бирюк, доктор технических наук, профессор кафедры  
«Теплотехники и тепловых двигателей»,  
*Самарский государственный  
аэрокосмический университет им. С.П.Королева,*  
Р.А. Серебряков,  
кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник,  
*Федеральное агентство научных организаций, «Федеральное бюджетное  
научное учреждение Всероссийский институт  
электрификации сельского хозяйства»,*  
Ю.И. Цыбизов,  
доктор технических наук, начальник отдела,  
*Самарский научно-технический комплекс им. Н.Д. Кузнецова,*  
Л.П. Шелудько,  
кандидат технических наук, доцент,  
*Самарский государственный технический университет*

В статье предложен принцип работы и конструктивное решение вихревой газо-ветроэнергетической установки для выработки электроэнергии за счет использования отходящего потока газов от газоперекачивающих агрегатов и кинетической энергии ветра.

**Ключевые слова:** газоперекачивающий агрегат, потери электроэнергии, газотурбинные энергоагрегаты, энергия ветра, вихревая ветроэнергетическая установка, отработавшие газы, комбинированный газо-ветроэлектроагрегат.

UDC 621.548 + 621.438

### **THE GAS - WIND ENERGY CONVERTERS**

V.V.Biryuk ,  
*Samara state aerospace University names after academician S.P. Korolev*  
R.A. Serebryakov,  
*The Federal Agency of scientific organizations Federal state scientific institution  
All-Russian research Institute for electrification of agriculture*  
Yu.I. Tsibizov,  
*N.D. Kuznetsov Samara scientific and technical complex*  
L.P. Chelydko,  
*Samara state technical university*

In this paper the principle and design solution and vortex gas-wind turbine to generate electricity through the use of the effluent gas from the gas compressor units and the kinetic energy of the wind.

**Keywords:** gas compressor unit, loss of electricity, gas-turbine power units, wind energy, whirling wind power plant, exhaust, combined gas-electric generation wind.

Для обеспечения собственных электрических нужд каждой из сотен КС страны, оснащенных газоперекачивающими агрегатами (ГПА), затрачивается около 1,5–2,5 МВт электрической мощности. Электроснабжение КС производится от высоковольтных линий электропередач (ЛЭП), удаленных от них на десятки и даже сотни километров. При этом потери при транспорте и трансформации централизованно поставляемой электроэнергии обычно составляют от 10 до 15% от электроэнергии, потребляемой на собственные нужды КС и достигают в стране значительных величин.

Для повышения надежности и возможности обеспечения аварийного электроснабжения на всех КС установлены специальные аварийно - резервные газотурбинные энергоагрегаты [1].

В условиях непрерывного роста цен на централизованно поставляемую электроэнергию и повышения себестоимости транспорта газа целесообразно стремиться к сокращению или даже к ликвидации зависимости КС от поставок внешней дорогой электроэнергии.

При этом одно из возможных направлений – оснащение газотурбинных КС высокоэкономичными газотурбинными или парогазовыми энергоустановками собственных нужд с отказом от низкоэкономичных аварийных энергоустановок. Но этот путь потребует больших капитальных затрат.

Второй путь – выработка электроэнергии для обеспечения собственных нужд КС с использованием энергии ветра. Но большинство из лопастных ветрогенераторов, установленных на башнях высотой 30-40 м с длиной лопаток ветроколеса 4 – 5 м и горизонтальной осью, развивают мощность порядка 800 - 1000 кВт при средней скорости ветра в 5 – 7 м/с. Удельные капиталовложения в эти ветрогенераторные установки находятся на уровне 1200 – 1400 \$/кВт. Высокая стоимость и возможность получения требуемой мощности только в районах с высокими ветровыми нагрузками определяют их малую эффективность для обеспечения собственных нужд КС.

Значительно меньшую стоимость имеют вихревые ветроэнергетические установки [2, 3, 4]. В их гиперболическом корпусе (статоре) происходит образование закрученного воздушного потока, подобного природному смерчу, обладающего значительным запасом кинетической энергии.

В приосевой, центральной области вихря, сформированного в статоре, давление понижено относительно внешнего атмосферного давления. Благодаря этому в восходящий смерчеобразный столб всасывается дополнительная масса воздушного потока. В ветроколесе этой ветрогенераторной установки, имеющей вертикально расположенную ось, кинетическая энергия воздушного потока преобразуется в механическую работу, используемую для выработки электроэнергии.

Вихревые установки, при значительно меньшей скорости ветра (2 – 3 м/с) и одинаковых площадях, ометаемых ветроколесом, могут развивать примерно в пять раз большую мощность, чем лопастные ветроэнергетические установки с горизонтальной осью [5, 6, 7].

Из сбросных труб газоперекачивающих агрегатов компрессорных станций ежесекундно выбрасываются в атмосферу миллионы килограммов отработавших газов со скоростями порядка двадцати метров в секунду и с температурой до четырехсот градусов Цельсия.

Вместе с тем, кинетическая энергия уходящих газов ГПА сравнительно невелика и практически не позволяет напрямую использовать их значительный энергетический потенциал для выработки электроэнергии и обеспечения собственных нужд КС. При увеличении скорости и кинетической энергии уходящих газов произойдет повышение сопротивления выхлопного тракта и снижение эффективного КПД газоперекачивающих агрегатов.

Поэтому представляет интерес создание энергетических установок для собственных нужд КС путем разработки новых типов комбинированных газозетроэлектроагрегатов вихревого типа с вертикальной осью и возможностью эффективного использования в них энергетического потенциала потоков отходящих газов ГПА и кинетической энергии набегающего потока ветра.

В зависимости от расхода и температуры выхлопных газов газовых турбин ГПА электрическая мощность газозетроэнергетических установок даже в безветренную погоду может составлять от 80 до 200 кВт. Причем с увеличением скорости ветра в них происходит повышение вихревого эффекта и, соответственно, мощности установки.

На рис.1 изображена принципиальная схема движения в вихревой газозетроэнергетической установке потоков отходящих газов ГПА и атмосферного воздуха. Установка этого типа снабжается входным завихрителем воздушного потока, вызывающим его вихревое движение с увеличением тангенциальной скорости, созданием разрежения в осевой части вихря и ускорением движения сбросного потока газов ГПА. Предварительно подкрученный поток газов, выходящий из выхлопной трубы ГПА, поступает в центральную часть цилиндрического статора установки и смешивается с воздушным потоком, ускоряясь вместе с ним.

За счет того, что в осевой части статора газозетроэнергетической установки развивается небольшое разрежение, относительно атмосферного давления, в выходном тракте установки не будет происходить увеличения газодинамического сопротивления выхлопного тракта, снижения эффективного КПД газовой турбины или уменьшения мощности ГПА.

Если на периферии гиперболического статора преобладает тангенциальная составляющая скорости акрученного газозетровоздушного потока, то в его центральной части происходит значительное увеличение осевой скорости потока.

Важно, что при увеличении скорости ветра в газозетроэнергетической установке возрастает вихревой эффект, сопровождающийся увеличением скорости и расхода газозетровоздушной смеси и вызывающий повышение ее мощности.

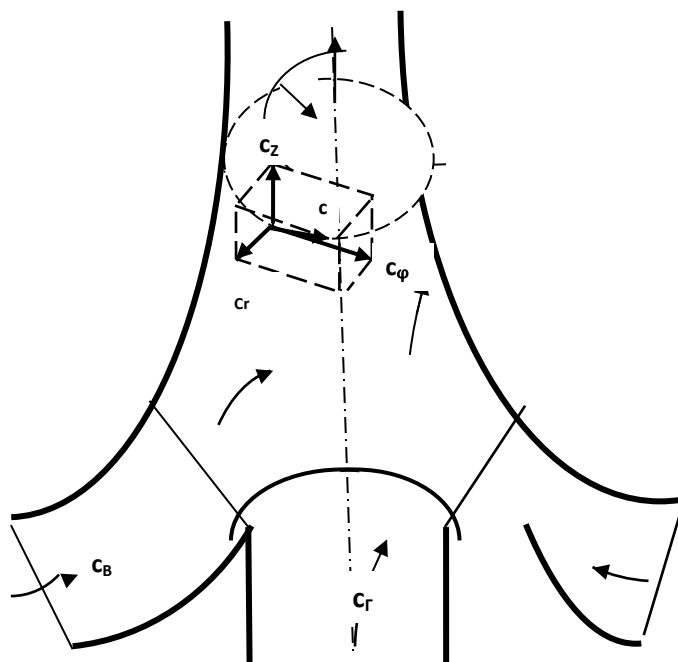


Рис.1. Схема газо-воздушных потоков в статоре установки:  
 $C_B$ ,  $C_r$  - скорости воздушного и газового потоков на входе в газ-  
ветроустановку;  $C$  – абсолютная скорость газовойоздушного потока у стенок  
статора;  $C_z$ ,  $C_r$ ,  $C_\phi$  - проекции скорости  $C$  на оси координат;  
 $\omega$  и  $z$  – тангенциальная и осевая скорости газовойоздушного потока

Конструктивная схема газ-ветроэнергетической установки приведена на рис. 2. Корпус установки имеет гиперболическую форму и установлен с воздушным зазором над выхлопной трубой ГПА.

Воздушный ветровой поток с помощью криволинейных направляющих лопаток 2 завихривается с увеличением его тангенциальной скорости и поступает в гиперболический статор установки 3, где смешивается с предварительно закрученными газами, выходящими из выхлопной трубы 1 ГПА. Ускоренный в гиперболическом корпусе установки газовойоздушный поток с помощью направляющего аппарата 4 подается на лопатки осевой турбины 6, приводящей во вращение электрогенератор 5. Над выходной частью статора 3 на подшипниках установлена труба Вентури, создающая дополнительное разрежение в верхней части корпуса установки. С помощью направляющей пластины 8 (флюгера) труба Вентури устанавливается по направлению ветра и способствует увеличению мощности осевой турбины 6 и электрогенератора 5.

Рассмотренный принцип и конструктивная схема газ-ветроэнергетической установки дают возможность достаточно эффективно использовать для выработки электроэнергии энергию отходящего потока газов ГПА и кинетическую энергию набегающего воздушного потока.

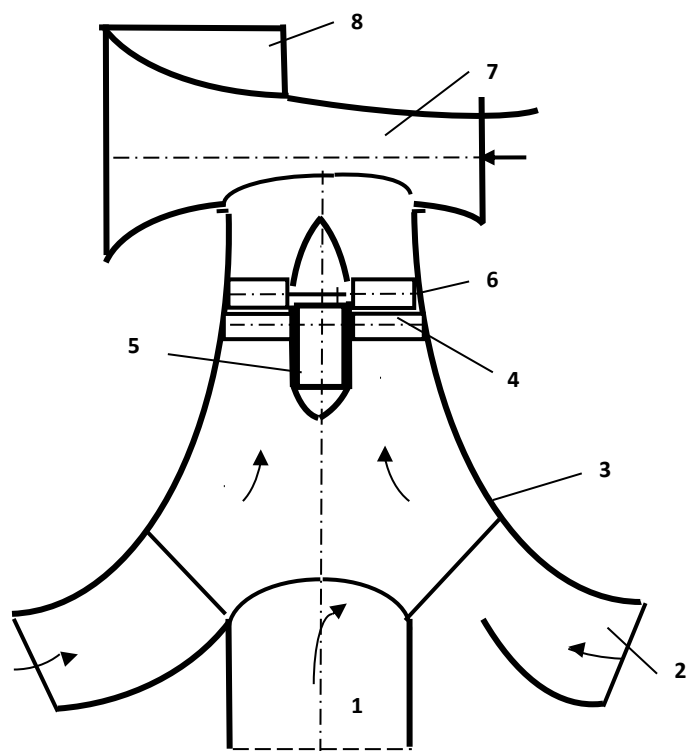


Рис. 2. Принципиальная схема газо-ветроэнергетической установки ГПА:  
 1 – выхлопная труба ГПА; 2 – криволинейные воздушные каналы;  
 3 – гиперболический статор; 4 – направляющий аппарат; 5 – электрогенератор;  
 6 – лопатки осевой турбины; 7 – труба Вентури; 8 – флюгер

При этом для нее характерны следующие положительные качества:

- увеличение скорости и кинетической энергии газозвдушного потока;
- увеличение массового расхода через осевую турбину;
- разбавление горячих выхлопных газов ГПА потоком воздуха, снижение температуры газозвдушной смеси и уменьшения в них концентрации вредных веществ, что позволяет уменьшить высоту выхлопных труб ГПА;

- в результате применения трубы Вентури в выхлопной трубе ГПА создается небольшое разрежение, приводящее к уменьшению гидравлических потерь в выходном тракте и к повышению эффективного КПД газовой турбины при той же мощности ГПА;

- главный положительный фактор – за счет обеспечения автономного электроснабжения собственных нужд повысится надежность работы КС магистральных газопроводов;

- в случае установки на ГПА газоветроэнергетических агрегатов и сохранения централизованного электроснабжения существенно снизятся затраты на покупку электроэнергии у внешних поставщиков или появится возможность сокращения потребления топливного газа аварийно-резервными газотурбинными энергоагрегатами.

Принципиально, газо-ветроэнергетическими установками такого типа может быть оборудована значительная часть ГПА КС, находящихся на больших расстояниях от электростанций и транзитных высоковольтных ЛЭП.

#### Список литературы

1. Гриценко Е.А., Данильченко В.П., Лукачев С.В., Резник В.Е., Цыбизов Ю.И. Конвертирование авиационных ГТД и газотурбинные установки наземного применения. – Самара: СПЦ РАН, 2004. – 266 с.: ил.
2. Бирюк В.В. Вихревые энергетические системы для транспорта. – Самара: Известия СПЦ РАН. Перспективы и направления развития транспортной системы, 2007. – С. 167-171.
3. Серебряков Р.А., Бирюк В.В. Vortex effect – vortex energy technologies, Research in Agricultural Electric Engineering, volume 4, 2013, # 4, page 74-78.
4. Серебряков Р.А., Бирюк В.В. Вихревая ветроэнергетическая установка. Сб. Ракетно-космическая техника, сер. XII. Самара, 2000. С. 48-73.
5. Серебряков Р.А. Некоторые вопросы теории вихревой энергетики. Научные труды ВИЭСХ, т. 85, 1999. С. 34-54.
6. Серебряков Р.А. Вихревая энергетика. Научные труды ВИЭСХ, т. 86, 2000, с. 80-92.
7. Серебряков Р.А., Бирюк В.В., Пиралишвили Ш.А. Вихревая энергетика в энергосберегающих технологиях. Сб. докл. XIX школы-семинара «Проблемы газодинамики и теплообмена в энергетических технологиях». Орехово-Зуево, М. Издат. Дом МЭИ, 2013. С. 15-16.

## РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ОПОВЕЩЕНИЯ О ПРОНИКНОВЕНИИ НА ОБЪЕКТЫ ЭНЕРГЕТИКИ

Р.Ю. Власов

*Алтайский государственный технический университет  
им. И.И. Ползунова*

В работе раскрывается проблема несанкционированных проникновений и вандализма на объектах энергетики. Эти проникновения могут привести к перебоям в электроснабжении, краже или порче оборудования объектов энергетики, а также травмам или гибели правонарушителей. Все эти возможные последствия увеличивают экономические издержки на содержание объектов энергетики, что влияет на величину тарифа на электроэнергию. В статье представлена разработка устройства оповещения о проникновении на объекты энергетики.

**Ключевые слова:** энергосбережение, охранные системы, автоматизация, вандализм, сигнализация, микроконтроллеры.

## ENERGY FACILITIES INTRUSION ALARM DEVICE DEVELOPMENT

R. Y. Vlasov

*Polzunov Altai State Technical University*

The energy industries facilities unauthorized intrusion and vandalism problem is disclosed in the article. This kind of intrusions can lead to power outages, energy facilities equipment theft or, as well as offenders personal injury or death. All of these possible consequences are increasing

economic costs of energy facilities maintenance, which in turn affects the amount of electricity tariff. The development of energy industries facilities intrusion alarm device introduced in this article.

**Keywords:** energy efficiency, security systems, automation, vandalism, alarm systems, microcontrollers.

Электрическая энергия является товаром первой необходимости для граждан, промышленности и народного хозяйства. Трудно представить жизнь современного человека без бытовых электроприборов. Качество труда, жизни и отдыха всё зависит от надёжного электроснабжения. В свою очередь, надёжность систем электроснабжения складывается из множества факторов, о существовании многих из которых обычный гражданин не имеет представления. Системы электроснабжения включают в себя большое количество разнообразных объектов, каждый из которых обеспечивает надёжное функционирование системы в целом.

В настоящее время на рынке охранных систем существует огромное количество предложений, но большинство из них по тем или иным причинам не подходят к применению на объектах энергетики.

Как показывает статистика, около 50% случаев воровства регистрируется на воздушных линиях электропередачи (ВЛЭП). Это не удивительно, ведь воздушные опоры расположены далеко от населённых пунктов и закреплённый на них проводниковый материал является легкой добычей. При этом лица, совершающие воровство, даже не имеют представления о параметрах электрической сети и возможной опасности. Такие характеристики, как рабочее напряжение, минимально допустимые расстояния до токоведущих частей, шаговое напряжение, ни о чём не говорят горе-грабителям.

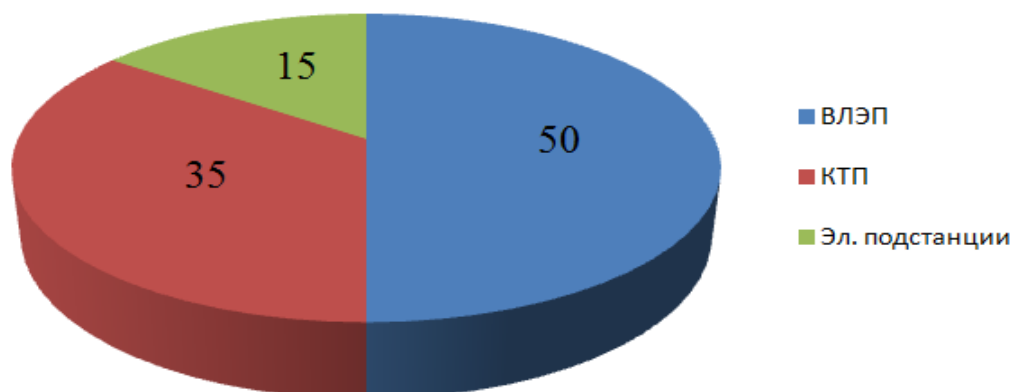


Рис. 1. Диаграмма количества несанкционированных проникновений на объектах энергетики

В свою очередь, около 35% преступлений совершается в отношении комплектных распределительных подстанций (КТП). Данный вид электроустановок является легкодоступным для правонарушителей, вследствие своей автономности. Ни для кого не секрет, что КТП рассчитаны на автономную работу без участия оперативного персонала. Также большому количеству правонарушений в отношении комплектных трансформаторных

подстанций способствует их значительное количество на территории городов и шаговая доступность. Правонарушители заблуждаются, считая, что распределительное устройство 0,4 кВ не несёт в себе опасности.

Как следствие, наиболее часто оборудование пропадает из-за вандализма, приходит в негодность на распределительных подстанциях, работающих автономно, а также на комплектных распределительных подстанциях, которые в принципе не требуют оперативного персонала. Целью злоумышленников, как правило, являются проводниковый материал, рубильники, предохранители, трансформаторное масло, силовые и измерительные трансформаторы, катушки и другое оборудование [1].

Таким образом, оборудование именно распределительных подстанций и КТП очень часто страдает от преступников и вандалов. Распределительные подстанции являются «привлекательными» из-за установленного на территории дорогостоящего оборудования, которое защищено только забором и колючей проволокой. В свою очередь, от проникновения в КТП защищает замок и стальная дверь, открыть которые не составит труда для целенаправленного преступника.


Обеспечить оперативное и надёжное оповещение о несанкционированном проникновении позволяют множество технических методов. Наиболее эффективным является метод комплексной охранной сигнализации, основным элементом которой является приёмно-контрольный прибор (ППК) [1].

К выбору ППК следует подойти со всей строгостью и ответственностью, так как именно от него во многом зависит, как именно будет функционировать вся система охранной сигнализации [2].


В таблице 1 приведены результаты анализа существующих приемно-контрольных приборов.

Таблица 1

Существующие приемно-контрольные приборы

Наименование	Характеристики	Достоинства/недостатки	Фото
1	2	3	4
«Элемент - 1120» (Е-1120)	Питание – от внешней сети 220 В, встроенная АКБ; Количество ШС – 2; Количество извещений – 3; Ток потребления для питания извещателей, не более 100 мА	Возможность использования микрофона для удалённого прослушивания объекта, удалённое управление устройством при помощи SMS-команд, невысокая стоимость / Отсутствие датчика вскрытия, низкая информативность блока индикаций, отсутствует возможность расширения	



1	2	3	4
«Тандем-1»	Питание – от внешней сети 220 В, встроенная АКБ; Количество ШС – 4; Количество извещений – 10; Ток потребления для питания извещателей, не более 150 мА	Информативный блок индикаций, одновременный контроль четырёх ШС, датчик вскрытия, ППК сертифицирован российскими стандартами /Отсутствует возможность расширения, цена, отсутствует резервирование передачи сигнала	

В большинстве случаев приёмно-контрольные приборы рассчитаны на общепромышленные объекты. Как правило, поставщики охранных систем предоставляют готовые решения для частного имущества, торговых помещений, складов и т.д. Узкая специфика энергетики нередко требует доработки существующих систем сигнализации. Реализовать прибор приема и контроля было решено на основе микроконтроллера. ППК на основе микроконтроллера можно запрограммировать в зависимости от назначения.

При рассмотрении тех или иных видов передачи сигнала путем какой-либо связи необходимо, в свою очередь, учитывать достаточно большое количество факторов, которые могут повлиять на надежность передачи сигнала в случае несанкционированного проникновения на охраняемый объект. Сигнал должен дойти до пульта администратора (дежурного персонала) с максимальной скоростью [3]. На данный пункт могут влиять довольно много факторов, таких как:

- загруженность «эфира»;
- помехи, которые оказывают непосредственное воздействие на некоторые способы передачи сигналов на пульт оператора;
- условия окружающей среды.

Основные способы передачи информации:

- проводная передача;
- радиоканал;
- спутниковая связь;
- связь GPRS;
- связь GSM;
- комбинированные системы.

Проанализировав все вышеперечисленные способы передачи информации, а также приняв во внимание все достоинства и недостатки, видим, что наиболее рационально как с экономической, так и с монтажной сторон использование сигнализации со способом передачи данных с помощью связи GSM.

Данная сигнализация удобна для дистанционного применения, так как при помощи GSM сигнала устанавливается двусторонняя связь. Из этого следует, что постановка на охрану или снятие с нее может производиться путем дистанционного дозвона до устройства диспетчером или дежурным. Поэтому нет необходимости в присутствии обслуживающего персонала в момент постановки объекта на охрану.

Сигнализация отличается экономичностью. Не требуется дополнительных затрат. Основная оплата за передачу сигнала путем сообщений или с помощью дозвона производится в соответствии с условиями выбранного тарифного плана оператора [2].

Несмотря на повсеместное использование телефонной связи, стоит отметить, что, в отличие от радиосвязи, связь GSM имеет довольно устойчивые каналы. Следовательно, автоматически исключается возможность перегрузки «эфира». Нет риска поступления сигнала оператору с какой-либо задержкой [3]. А значит, применение данной связи позволит своевременно узнать о проникновении нарушителей.

Следующим этапом разработки устройства явился выбор первичных преобразователей, способных работать на открытом воздухе, обеспечивать необходимую селективность срабатывания, а также быть недорогими в приобретении и дальнейшем обслуживании.

Датчики движения применяются с одинаковым успехом как на закрытых, так и на открытых объектах. Датчики подобного принципа срабатывания имеют широкое применение в музеях, галереях. Также они являются доступными практически для любых организаций и частных лиц из-за дешевизны и широкой распространенности [4]. Но у них имеются довольно существенные недостатки. Данные датчики движения срабатывают на изменение температуры объекта, совершившего несанкционированное проникновение, поэтому возможны ложные срабатывания в большом количестве. Например, в случае нагрева лучами солнца каких – либо поверхностей, от резкой смены температуры, вызванной порывом холодного ветра или сквозняка, от включения или отключения обогревателя или батареи.

Фотоэлектрические датчики отличаются высокой устойчивостью и надежностью. В их состав входят приемники и передатчики. Они распределяются около всей охранной линии. Между приемниками и передатчиками проходит система инфракрасных лучей. Данные извещатели посылают сигнал на приемное устройство при пересечении нарушителями системы лучей. В нашем случае мы имеем дело с открытыми объектами большой площади, на которых для создания необходимой системы инфракрасных лучей, которые способны максимально надежно и качественно обеспечить охрану, потребуется слишком большое количество фотоэлектрических датчиков.

Микроволновые датчики применяются как на открытых, так и на закрытых объектах охраны. Они имеют довольно низкую устойчивость к вероятным ложным срабатываниям, имеют высокую стоимость. При охране открытого

периметра они имеют меньшую надежность и вероятность качественного срабатывания и фиксирования нарушителей в случае несанкционированного проникновения на охраняемые объекты [4].

Ультразвуковые датчики относятся к довольно простым, поэтому их применяют при охране небольших объектов. Чаще всего они находят использование в охранных системах автомобильных сигнализациях. Для более масштабных объектов извещатели такого типа не применяются. Среди недостатков таких датчиков имеются критические для нашего случая. У них малая чувствительность, частые ложные срабатывания, в зависимости от окружающей среды.

Магнитные датчики срабатывают в случае несанкционированного открытия или закрытия двери или окна. Основным элементом магнитного датчика – геркон состоит из контакта, который в свою очередь запаян в герметичную стеклянную трубку. Этот контакт срабатывает при поднесении к нему магнита. Такой магнит обычно крепится на подвижной части оборудованных этими датчиками окнами или дверьми. Геркон же крепится на статической части.

Инфракрасные датчики являются наиболее приемлемым вариантом с экономической точки зрения. Они достаточно широко распространены и находятся в доступности для потребителей. Наиболее значимым преимуществом является возможность качественного использования данного вида датчиков на открытых объектах без потери надежности. У современных инфракрасных извещателей малая вероятность ложных срабатываний [3].

Результатом проведенных исследований явился синтез структурной и принципиальной схем устройства.

Структурная схема отображает принцип работы системы или устройства в самом общем виде. На структурной схеме изображаются все основные функциональные блоки (элементы), а также основные взаимосвязи между ними, указывающие на последовательность взаимодействия функциональных блоков в схеме [5]. На рисунке 2 приведена структурная схема устройства.

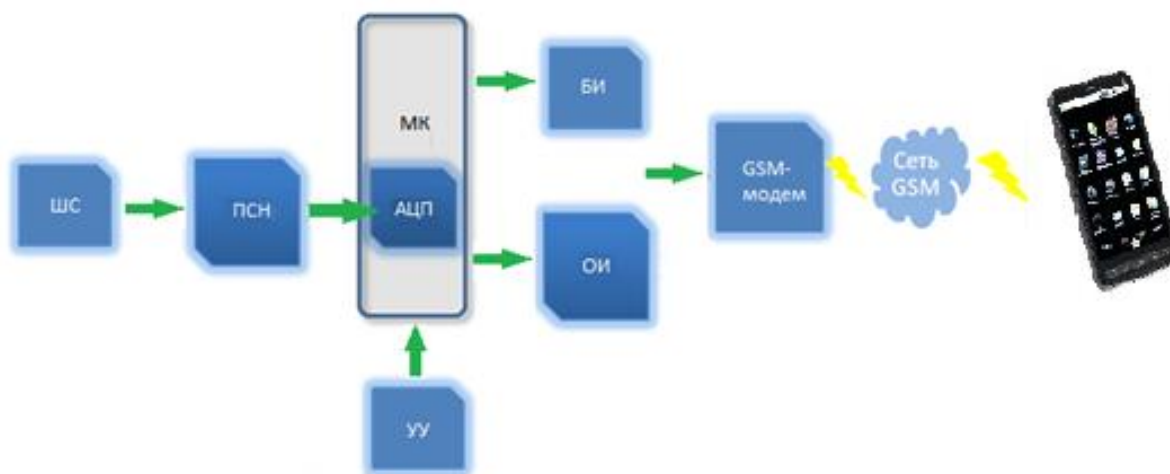


Рис. 2. Структурная схема разрабатываемого устройства

Шина сигнализации (ШС) представляет собой электрическую цепь, прокладываемую по территории защищаемого объекта, к которой подключаются охранные извещатели.

Входной преобразователь сопротивления в напряжение (ПСН) осуществляет преобразование величины сопротивления шины сигнализации, изменяющееся в процессе работы охранной системы зависимости от текущего состояния ОИ (нормальное состояние; тревога) в эквивалентное ему значение постоянного однополярного напряжения.

Аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) осуществляет преобразование величины поступающего от ПСН постоянного напряжения в их цифровой эквивалент.

Микроконтроллер (МК) на основании поступающих от блока АЦП цифровых эквивалентов напряжений, зависящих от текущей величины сопротивления ШС, определяет, в каком режиме в данный момент находится ШС, и формирует соответствующие команды блоку индикации (БИ), охранным извещателям (ОИ) и GSM-модему. Также блок МК осуществляет управление изменением режима работы устройства (например, поставить на охрану; снять с охраны; сбросить тревогу и т.д.) по командам оператора, поступающим от блока устройства управления (УУ).

Блок индикации (БИ) осуществляет визуальное оповещение о состоянии прибора и его работоспособности.

Блок ОИ осуществляет звуковое и световое оповещение о текущем режиме работы устройства и охраняемого объекта.

GSM-модуль по командам от МК осуществляет оповещение электротехнического персонала о режиме, в котором находится охраняемый объект, посредством SMS-сообщений.

В ходе работы также была разработана принципиальная схема устройства, которая представлена на рисунке 3.

Состояние в области обеспечения охраны объектов энергетики является проблемным. Все больше стал распространяться вандализм, несанкционированные проникновения, что, безусловно, несет вред электроустановкам. Не стоит забывать, что в ходе вандализма на объектах энергетики могут получить травмы различной степени тяжести, вплоть до летального исхода, сами нарушители.

Разработанная система позволяет самостоятельно отвечать за безопасность объектов энергетики, получать своевременные данные и информацию о нештатных ситуациях на охраняемых объектах.

В результате внедрения разработанной системы будет достигнуто снижение материальных затрат на восстановление украденного или испорченного оборудования, увеличение надёжности электроснабжения, уменьшение количества несчастных случаев, вызванных правонарушителями, что в конечном счете повысит надёжность электроснабжения потребителей и уменьшит экономические затраты.

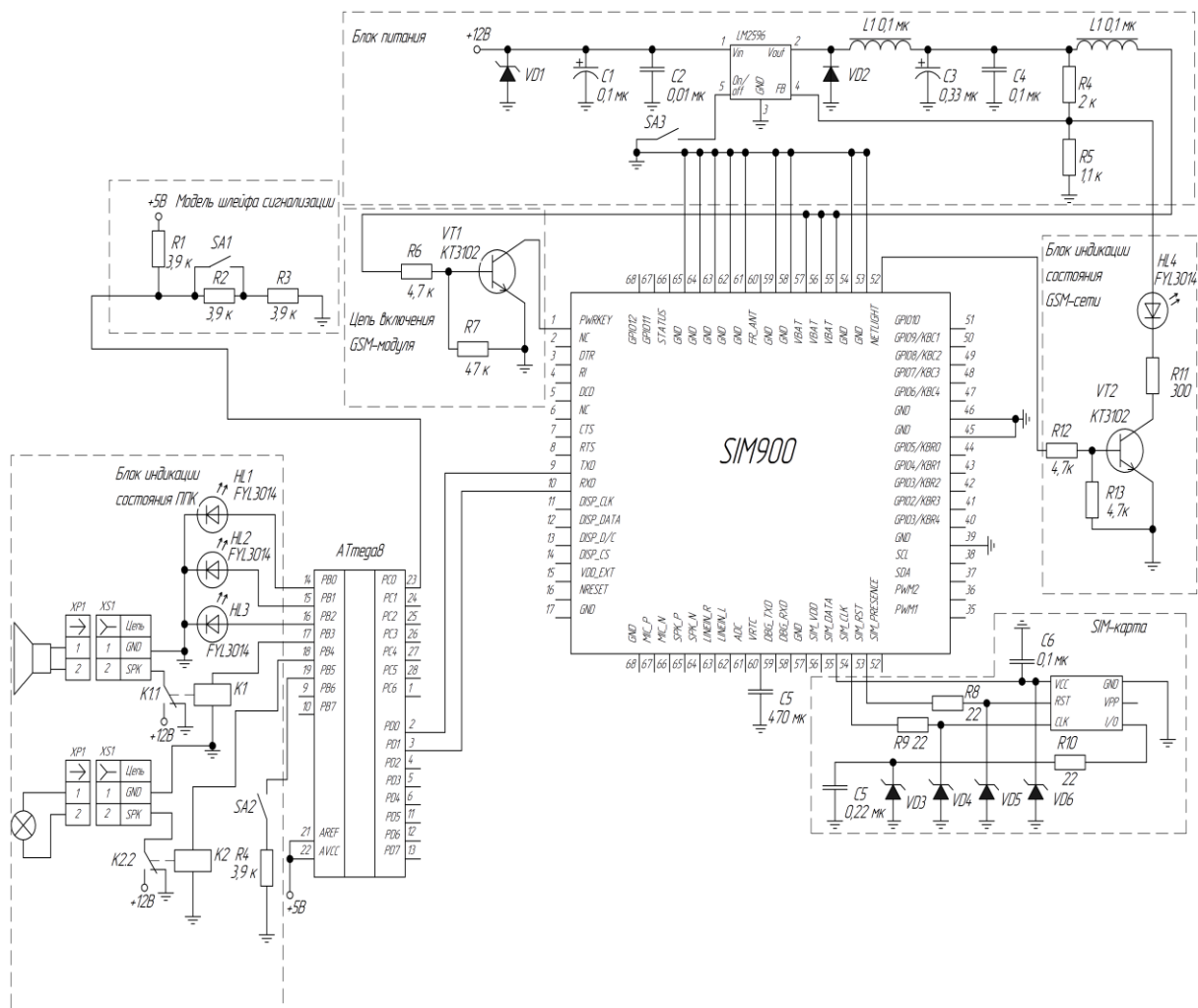


Рис. 3. Принципиальная схема разрабатываемого устройства

#### Список использованных источников

1. Дементьев, А.Н. Технические средства охраны [Текст] / А.Н. Дементьев, Г.В. Дементьева. – Томск : ТУСУР, 2012. – 119 с.
2. Баканов, В. Ключ к системам пожарной сигнализации высокой надёжности [Текст] / В. Баканов // Алгоритм безопасности. – 2010. – № 6. – С. 6–9.
3. Синилов, В.Г. Системы охранной, пожарной и охранно-пожарной сигнализации [Текст] / В.Г. Синилов. – М.: ИРПОПрофОбрИздат, 2001. – 267 с.
4. Неплохов, И. Классификация неадресных шлейфов, или Почему за рубежом нет двухпороговых приборов [Текст] / И. Неплохов // Алгоритм безопасности. – 2008. – № 3. – С. 7–11.
5. Белов, В.В. Создаем устройство на микроконтроллерах [Текст] / В.В. Белов. – М.: Наука и техника, 2007. – 224 с.

# РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

И.В. Козлова, А.Г. Ушаков

*Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева*

**Аннотация.** Поиск энергоносителей, альтернативных традиционному углю и газу, – одна из важнейших задач для современного общества. Перспективным является использование органических отходов промышленных и сельскохозяйственных предприятий как исходного сырья для получения высококалорийного газа.

**Ключевые слова:** органические отходы, активный ил, анаэробная переработка, биологическая очистка.

## *DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY OF PROCESSING OF WASTE OF BIOLOGICAL TREATMENT FACILITIES*

I.V. Kozlova, A.G. Ushakov

*Kuzbass state technical university of name T.F. Gorbachev*

**Annotation.** Search of the energy carriers alternative to traditional coal and gas – one of the major tasks for modern society. Use of organic waste of the industrial and agricultural enterprises as initial raw materials for receiving high-calorific gas is perspective.

**Keywords:** organic waste, active silt, anaerobic processing, biological cleaning

### **Введение**

Деятельность человеческого общества активно развивается – этому способствует развитие сложной, высокопроизводительной техники, глубокие научные и технологические изыскания. Антропогенное воздействие охватывает практически всю атмосферу, сушу, океан и вносит существенные изменения как количественные, так и качественные в биологические циклы движения элементов в биосфере [1].

Если рассматривать состав загрязнений бытовых сточных вод, то можно выделить: минеральных веществ – около 42% (от общего количества загрязнений), органических – около 58%; осаждающихся взвешенных веществ – 20%, суспензий – 20%, коллоидов – 10%, растворимых веществ – 50%.

Состав и степень загрязнённости производственных сточных вод весьма разнообразны и зависят главным образом от характера производства и условий использования воды в технологических процессах. Основными источниками загрязнения и засорения водоемов является недостаточно очищенные сточные воды промышленных и коммунальных предприятий, крупных животноводческих комплексов, отходы производства при разработке рудных ископаемых; воды шахт, рудников и т.д.

Для очистки водных ресурсов наиболее эффективным является метод биологической очистки [1].

В исходном виде избыточный активный ил вне зависимости от его химического или бактериального состава представляет собой потенциально опасный источник загрязнения биосферы. Поскольку процессы очистки воды идут непрерывно и в значительных объемах, то выделяемые из воды осадки постоянно накапливаются. Необходимо проводить мероприятия по их обезвреживанию и обеззараживанию, удалению с территории очистных

сооружений и дальнейшему размещению [2]. Такие операции затруднены ввиду высокой влажности ила, это приводит к тому, что до 40% стоимости всех затрат на очистку воды приходится на операции, связанные с утилизацией иловых осадков.

Обычно отстаивание и биологическая очистка сточных вод не обеспечивают удовлетворительного удаления бактериальных загрязнений: степень удаления патогенных и других макроорганизмов составляет только 90-95%. Многие патогенные микроорганизмы выживают в сточных водах до двух недель, а некоторые до 10 недель. Яйца гельминтов попадают в водоемы со сточной водой в количестве 500-1000 шт/м<sup>3</sup> даже при хорошей очистке воды от бактерий. Поэтому санитарно-эпидемиологическая безопасность воды обеспечивается только при условии ее обеззараживания. При этом степень снижения бактериальных загрязнений сточных вод на станциях полной биологической очистки с обеззараживанием повышается до 99,5-99,99%. [3].

Биологическая очистка стоков является на сегодняшний день неотъемлемой частью технологического процесса многих промышленных предприятий. Из-за того что активный ил, питаясь бактериями, растет, избыток *его* нужно постоянно выводить и *утилизировать*. Избыточный активный ил является неизбежным, хотя и нежелательным отходом систем биологической очистки промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод [4].

Исходя из вышесказанного была поставлена **цель** работы – использование метода анаэробного сбраживания, применительно к отходам биологических очистных сооружений. Для достижения данной цели были поставлены следующие **задачи**:

1. Отладить процесс анаэробного сбраживания в лабораторных условиях на установке, учитывая требования безопасности к такого рода объектам.

2. Подобрать параметры процесса анаэробного сбраживания для получения сброженного остатка с необходимыми характеристиками.

#### **Экспериментальная часть:**

Исходя из поставленных задач, объектом исследования явились механически обезвоженный избыточный активный ил станции аэрации г. Кемерово. Он представлял собой густую однородную массу черного цвета (кек) со специфическим запахом и отнесен к IV классу опасности по критериям отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей природной среды.

#### **1. Первоначально производили анализ исходного сырья (табл. 1):**

*Обезвоженный избыточный активный ил* анализировали по следующим методикам:

– массовая доля влаги и массовая доля сухого вещества. ГОСТ 26713-85 «Удобрения органические. Метод определения влаги и сухого остатка»;

– реакция среды. ГОСТ 27979-88 «Удобрения органические. Метод определения рН»;

– массовая доля золы (минеральные вещества), потери при прокаливании (органические вещества). ГОСТ 26714-85 «Удобрения органические. Метод определения золы» (табл. 1).

Таблица 1

Данные, полученные при определении анализа механически обезвоженного избыточного активного ила

рН	A <sup>a</sup> (%)	W (%)
6,3-7,3	37	72

**Далее определяли массовое соотношение воды и избыточного активного ила для наиболее эффективного протекания процесса анаэробного сбраживания.**

Ранее было установлено, что исходная влажность смеси для сбраживания должна быть не менее 85-87%, что позволит получить биогаз с достаточным количеством метана в его составе (более 80% об). Соответственно проведем расчеты для получения такой смеси из представленных выше исходных веществ.

Исходя из того, что объем метантенка 40 л, а должен быть он заполнен на 2/3 от своего объема, следует то, что необходимо взять 27 кг сырья (вода + активный ил). Расчетным путем установлено, что массовое соотношение воды и избыточного активного ила должно составлять 14:13 для получения смеси влажностью 87 %, анаэробное сбраживание которой будет наиболее эффективно с точки зрения выделения газа наибольшей калорийностью.

Внедрение технологий анаэробного сбраживания отходов, в технологическом процессе которых происходит выделение газообразного энергоносителя – биогаза с высокой концентрацией метана, значительно увеличивает вероятность техногенных рисков, связанных с утечкой метана в атмосферу, потенциальной опасностью взрывов и других аналогичных внештатных ситуаций.

Неотъемлемой частью технологических процессов анаэробной переработки органических веществ является подогрев метантенков. Особенно важен вопрос регулирования температуры метантенков, работающих в условиях Сибири. Процесс брожения необходимо осуществлять при выбранном оптимальном температурном режиме, поскольку даже кратковременное нарушение его, особенно в сторону снижения температуры, приводит к торможению стадии метаногенеза, накоплению кислот за счет активной работы более устойчивых гидролитических организмов, нарушению трофических связей и процесса в целом [5].

Для минимизации техногенных рисков и устранения причин их появления разработаны следующие технические решения:

1. Обогрев метантенка с применением источников инфракрасного излучения.



2. Дешевая и качественная теплоизоляция на основе силикатов щелочных металлов.

Состав термопленки: карбоновая паста, серебряная паста, медь, полиэстеровая пленка.

Предложенные технические решения применены для модернизации опытной установки анаэробного сбраживания органических отходов. Ее эксплуатация показала стабильность нагрева и поддержания температуры сбраживаемой массы в диапазоне 35-55 °С и простоту обслуживания. Внешний вид метантенка, оборудованного термопленкой, представлен на рис. 1.



Рис. 2. Внешний вид опытной установки анаэробного сбраживания обезвоженного избыточного активного ила

Сравнительный анализ способов обогрева метантенка (с использованием газообразных, жидких и твердых энергоносителей) в сравнении с термопленкой подтверждают наличие у электрообогрева конкурентных преимуществ: простота реализации и эксплуатации обогрева, а также меньшие экономические затраты.

#### Список литературы

1. Анаэробная биологическая обработка сточных вод/ Тезисы докладов участников республиканской научно-технической конференции 15-17 ноября 1988г. / Кишинев, 1988.
2. Евилевич А.З. Осадки сточных вод. – Л. – М.: Стройиздат, 1965.
3. Ушаков А.Г. Утилизация обезвоженного избыточного активного ила с получением топливных гранул // Вест. Кузбасс. гос. технич. ун-та. – 2010. – №5. – С. 110-112.
4. Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод / Ю.В. Воронов, С.В. Яковлев. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. – 704 с.
5. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов : 12-е изд., стереотипное, доработанное / А.Г. Касаткин. – М.: ООО ТИД "Альянс", 2005. – 753 с.

# ВЛИЯНИЕ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА

А.К. Лысоконь

Рубцовский индустриальный институт АлтГТУ

Научный руководитель: Н.И. Черкасова

**Аннотация:** В работе рассмотрено влияние светодиодного освещения на здоровье человека. Изучено биологическое воздействие светодиодов, сформулированы ограничения для практической реализации. Исследованы яркость светодиодов и качество освещения.

**Ключевые слова:** Светодиодное освещение, светодиод, светоизлучающие диоды

## LED LIGHTING IMPACT ON HUMAN HEALTH

A.K. Lysokon

Ministry of Education and Science

Rubtsovsk Industrial Institute (Branch)

"Altai State Technical University. I.I Polzunova "

Department of Electricity Supervisor: N. Cherkasova

**Annotation:** The paper considers the influence of LED lighting on human health. Studied the biological effects of light-emitting diodes, formulated limits for implementation. We studied the brightness of the LEDs and lighting quality.

**Keywords:** LED lighting, LED light-emitting diodes

### Светодиодное освещение



Рис. 1

Светодиоды, или светоизлучающие диоды (LED – light emitting diodes), известны с 1970-х годов. Основное преимущество «старых» зеленых и красных светодиодов - малые размеры, что перекрывало их недостаточную светоотдачу, которая была даже хуже ламп накаливания.

Дальнейшие исследования позволили повысить светоотдачу (в экспериментальных образцах до 200 люмен/ватт) и создать «синий» светодиод,

имеющий значительно более высокую яркость. Последнее привело к появлению конструкций, излучающих белый цвет:

1. Совместное размещение трех светодиодов: красного, зеленого и синего, излучение которых смешивается с помощью линзы (технология RGB). При создании системы управления можно получать не только белый цвет, но практически любой. Такие конструкции позволили создать динамические системы, включая экран компьютера, с которого Вы читаете этот текст.

2. Ультрафиолетовый светодиод, совмещенный с тремя слоями люминофора, преобразующими ультрафиолетовое излучение в голубой, зеленый и красный свет, которые в свою очередь вместе образуют белый (аналогично люминесцентной лампе).

3. Синий светодиод с желто-зеленым люминофором.

Белые светодиоды с люминофорами существенно дешевле, чем RGB матрицы, что позволило использовать их для освещения. К недостаткам такой конструкции можно отнести:

- Меньшую светоотдачу из-за преобразования света в люминофоре.

- Сложность технологии и контроля равномерности нанесения люминофора на каждый светодиод.

- Более быстрое старение люминофора по сравнению с самим светодиодом.

- Срок службы сверхъярких белых светодиодов меньше, чем у маломощных сигнальных, и составляет обычно 25 000 часов, что также впечатляет.

Светодиоды излучают свет в узкой полосе спектра шириной 20-50 нм. Они занимают промежуточное положение между лазерами, излучающими в одной длине волны, и лампами, излучающими белый свет как смесь широких спектров. В то же время основное преимущество светодиодного освещения - отсутствие «полосатости» спектра, то есть непрерывный спектр (в отличие от газоразрядных ламп) при относительно небольшом энергопотреблении. Яркость свечения светодиодов можно регулировать, но не снижением напряжения, а методом широтно-импульсной модуляции (ШИМ), для чего необходим специальный блок, подающий на светодиод импульсные высокочастотные сигналы. В отличие от ламп накаливания цветовая температура при регулировании яркости у светодиодов изменяется очень мало.

Светодиодное освещение интенсивно развивается, о нем говорят руководители страны и дикторы с телеэкрана. В США строятся дома, в которых сразу закладывается низковольтная разводка и только светодиодное освещение. Каждый год повышается планка по светоотдаче светодиодов. Информация устаревает буквально за год.

### **Биологическое воздействие светодиодов**

Имеются аргументы и против светодиодов, они связаны не с качеством световосприятия, а с биологическим воздействием. Человеческий организм приспособлен под циклы естественного освещения. Ночью, то есть в темноте, нам лучше спать, а под воздействием излучения ясного неба (солнце появляется

позже) просыпаться. Оказывается, в организме есть специальный гормон - **мелатонин**, включающий и выключающий ночной режим восстановления организма. Его иногда называют гормоном молодости. Днем концентрация мелатонина в крови ничтожна. Часа за два до привычного времени отхода ко сну концентрация его начинает повышаться, а в темноте быстро возрастает примерно в 30 раз. Максимальные значения наблюдаются между полуночью и 4 часами утра, с пиком в 2 часа ночи. Спад концентрации завершается после пробуждения.

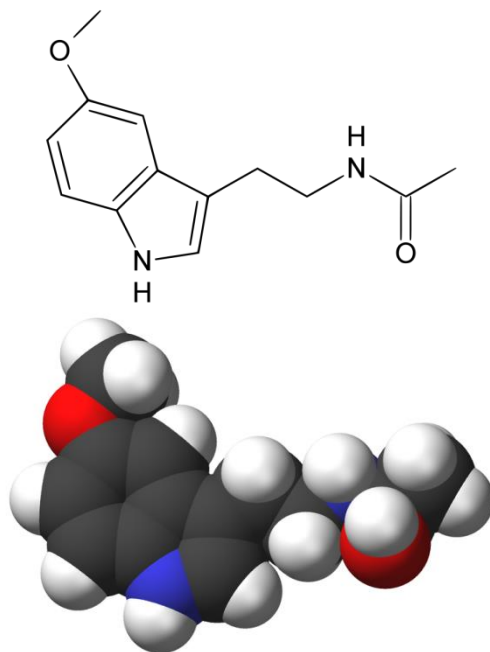


Рис. 2

Количество функций, выполняемых мелатонином, поражает:

- Регулировка деятельности эндокринной системы.
- Повышение эффективности иммунной системы.
- Нейтрализация разрушительных последствий окислительных процессов во всех органах и тканях (предотвращение старения клеток, вплоть до видимых проявлений в виде старения кожи).
- Участие в регулировании кровяного давления, пищеварительного тракта, работы клеток мозга.
- Регулирование полового развития.
- Регулировка периодичности сна и сезонной ритмики, включая изменение концентрации активных веществ и других гормонов.
- Антиопухолевое действие, включая подавление раковых клеток.
- Изменение отрицательного эмоционального состояния (решения лучше принимать утром на «свежую» голову).

Таким образом, ночью, под регулирующим воздействием мелатонина, организм человека глубоко очищается, настраивается работа всех внутренних органов и систем. Оказалось, что концентрация мелатонина существенно снижается при ночном и вечернем влиянии искусственного освещения. Ощутимое воздействие оказывает только синий участок спектра (440 - 490 нм),

соответствующий цвету неба, с максимальным воздействием интервала 460 - 470 нм.

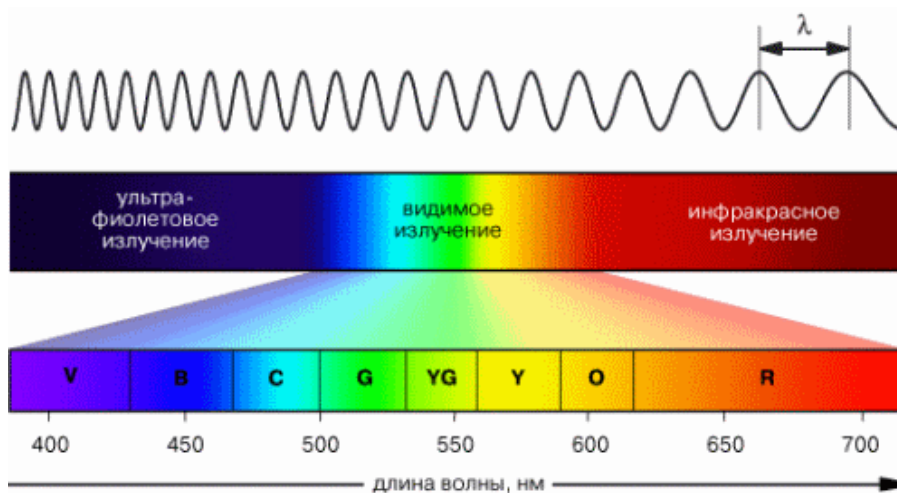
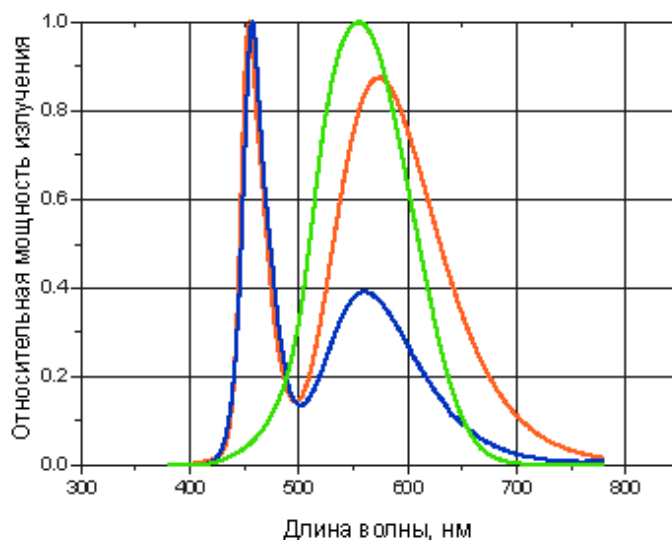


Рис. 3



- стандартная кривая чувствительности глаза;
- спектр излучения светодиода „натурального“ белого цвета, CCT=4000 К;
- спектр излучения „белого“ светодиода, CCT=6500 К;

Рис. 4

Наиболее распространенный голубой светодиод без люминофора имеет максимум излучения с длиной волны 468 нм.

При одном часе воздействия в позднее вечернее время светодиодного освещения или экрана компьютера ночной уровень мелатонина может снизиться на 3-20%, в зависимости от их качества. Воздействие монохромного синего светодиода ночью сказывается даже при освещенности в 1-4 люкса. Также может влиять «световое загрязнение» городов при использовании светодиодного наружного освещения.

Даже при качественных люминофорах свет от белых светодиодов имеет весьма большую синюю составляющую. Также надо учитывать, что в процессе эксплуатации люминофор, нанесенный на светодиод, изнашивается. Сильнее воздействуют светодиоды с высокой цветовой температурой более 4000 К, так как их спектр сдвинут в синюю область.

Серьезные производители озаботились проблемой и начали решать ее по двум направлениям:

-Совершенствование люминофоров. В последних конструкциях светодиодов уровень синего цвета даже меньше, чем у обычных люминесцентных ламп.

-Создание источников света по технологии удаленного люминофора, когда он наносится не на каждый светодиод, а на внешнюю колбу.

Также происходит постепенный отказ от синей светодиодной подсветки и индикации. Существует так называемый эффект Пуркинье - синий свет кажется более ярким в условиях слабой освещенности и вызывает раздражение.

### **Ограничения по применению**

Глаз человека не может нормально сфокусироваться на синих предметах, контуры их кажутся нечеткими. Чтобы рассмотреть что-то в синем свете, приходится сильно напрягать глазные мышцы. Подобный эффект возникает при использовании некачественных светодиодов. Группой российских научных центров была проведена работа «Обоснование, разработка, подготовка к утверждению и утверждение санитарных норм на основании проведенных исследований психофизиологического воздействия светодиодных источников света на организм человека». Испытуемые (мужчины от 18 до 30 лет) выполняли работы с высокой зрительной концентрацией под воздействием света от обычных растровых светильников со светодиодными трубками и от высококачественных типа BetaLux. Сравнение производилось с воздействием на контрольную группу людей, выполняющих ту же работу под светом люминесцентных ламп. В работе не изучались вопросы цветопередачи и цветоразличения, не проводилось сравнение с освещением лампами накаливания.

В первом случае выявлено двукратное снижение работоспособности и также двукратное повышение утомляемости. При работе с качественными светильниками утомляемость не превышала показателей контрольной группы, а работоспособность даже повысилась на 12%.

По результатам исследования, Постановлением Главного государственного врача РФ от 15.03.2010 №20 были утверждены изменения и дополнения в СанПиН 2.2.1./2.2.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий». Теперь медики не запрещают применять светодиодное освещение везде, кроме учреждений дошкольного, школьного и профессионально-технического образования.

Надо понимать, что СанПиН дает общее медицинское разрешение, а конкретные условия и нормы применения светильников расшифровываются в

СНиП. Последние сегодня считаются Национальными стандартами с добровольным применением. В действующем СНиП 23-05-95 отсутствовали рекомендации по применению светодиодных светильников в жилых и общественных зданиях, а также производственных помещениях, но 20 мая 2011 года введен в действие Свод правил - СП 52.11330 к вышеназванному СНиПу, в нем уже присутствуют требования к светодиодному освещению.

Сложилась парадоксальная ситуация - требования к освещению есть (хотя и добровольные), а требований к светодиодным источникам света и светильникам для них нет (даже добровольных).

Специалисты утверждают, что существующие требования к применению светильников на газоразрядных лампах и лампах накаливания неприменимы к светодиодной технике. Авторы вышеназванного исследования отмечают, что необходимо создавать принципиально новые световые приборы под эти источники света, но сегодня отсутствует даже обязательность сертификации источников света и светильников по светотехническим параметрам.

### **Яркость светодиодов**

Показатель удельной плотности мощности, характеризующий плотность светового потока, у стандартной люминесцентной лампы составляет 0,1-0,2 Вт/см<sup>2</sup>, а у сверхъяркого белого светодиода около 50 Вт/см<sup>2</sup>. Светодиоды могут ослеплять человека.

Светильники, предназначенные для работы со светодиодами, должны иметь так называемый «защитный угол» распространения света, предупреждающий попадание в поле зрения человека прямого излучения. По мере увеличения единичной мощности светодиодов, количество их в одном светильнике становится меньше и оптическая система, направляющая свет в нужном направлении, играет все большую роль.

Требование по соблюдению защитного угла включено в СанПиН одновременно с разрешением на использование светодиодов, но для бытового потребления светодиоды продаются в основном в виде ламп, отдельно от светильников. На любом строительном рынке вы найдете также разные конструкции из сверхъярких светодиодов, применяемых без всякой защиты. Многие, по незнанию, применяют светодиодные ленты со сверхъяркими светодиодами, вообще без всякого рассеивания.

### **Качество**

Многие производители светодиодов обозначают их срок службы в 50 и даже 100 тысяч часов. В настоящее время нет никакого стандарта, определяющего для светодиодов, а что такое, собственно, «срок службы». Не определено, как должна работать лампа по истечении этого срока. Некоторые ведущие компании были вынуждены самостоятельно определять критерии для срока службы, например, снижение светового потока на 30%. Интересно, что ими декларируется меньший срок службы, чем у «халтурных» производителей.

Нет также стандартов, определяющих количественный норматив возможного изменения цветности светодиода.

Изготовление светодиодов - это сложнейшее производство с высочайшими требованиями к комплектации и технологическим операциям, длящимся несколько часов. У нормальных производителей большая часть готовых матриц светодиодов идет в отбраковку. На освоение нового серьезного производства, от завершения строительства до начала серийного выпуска, уходит 1-3 года.

В настоящее время стоимость качественных светодиодов составляет 20-30 рублей за люмен светового потока. Все производители работают над увеличением светоотдачи отдельных диодов для снижения себестоимости люмена. Основной путь - увеличение тока, протекающего через светодиод. Возникающая при этом проблема необходимости отвода большего количества тепла решается сложными технологическими методами.

Большинство азиатских производителей долго не мучились и просто подняли величину тока. Используя чипы для подсветки экранов и подавая на них большой ток, можно добиться яркого свечения. Важно то, что все характеристики светодиодных ламп на момент продажи оказываются соответствующими паспортным. Реальный срок службы таких светодиодов не превышает 1000 часов, так как за это время световой поток снижается минимум в 2 раза.

Проблемы возникают и с эпоксидным корпусом светодиода, занимающим большую часть его объема. От перегрева изменяются его характеристики и выгорает фосфорный люминофор. Лампа начинает светить более синим цветом.

На характеристики светодиодов влияет также низкое качество источников питания. Светодиоды работают на низковольтном постоянном напряжении, даже небольшое изменение которого приводит к существенным изменениям тока и, соответственно, светотехнических характеристик. Многие, в целях еще большей экономии, просто пренебрегают необходимостью стабилизации тока.

#### Список литературы

1. Юнович А.Э. Ключ к синему лучу. М., 2000.
2. Остроумов А.Г., Рогачев А.А., Лосев О.В. - пионер полупроводниковой электроники. В кн. «Физика. Проблемы, история, люди». Л.: Наука, 1986.
3. <http://svet.energsovet.ru/svetodiod.html>
4. <http://forca.ru>
5. Специализированный журнал «Светотехника». №3. 2012.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ВЕЙВЛЕТОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ДАННЫХ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ**

В.З. Манусов, К.Н. Бойко

*Новосибирский государственный технический университет*

В данной статье рассмотрено применение теории вейвлет-анализа для решения задачи прогнозирования электропотребления. Рассмотрено и проанализировано влияние метеофакторов на изменение электрической нагрузки.

**Ключевые слова:** вейвлет преобразования, прогнозирование, электрическая нагрузка, метеофакторы.



# APPLICATION OF WAVELET THEORY TO ANALYZE THE DATA IN SOLVING THE PROBLEM OF ELECTRIC LOAD FORECASTING

V.Z. MANUSOV, K.N. BOYKO

*Novosibirsk State Technical University*

This article deals with the application of the theory of wavelet analysis to solve the problem of electricity forecasting. We reviewed and analyzed the influence of meteorological factors on the change in the electrical load.

**Keywords:** wavelet transform, prediction, electrical load, meteorological factors.

Цена ошибок прогнозирования и планирования становится все более высокой. Оценочные расчеты, проводимые для энергообъединения России с уровнем месячного потребления около 1500 млн. кВт·ч, показали, что улучшение качества прогнозирования только месячного потребления на 0,1% способно в настоящих условиях снизить затраты на оплату отклонений от плана по поставкам электроэнергии на 3-5 млн. рублей в год. Еще больший эффект приносит уточнение краткосрочного и оперативного прогноза графиков потребления мощности.

На сегодняшний день разработано множество моделей и методов для прогнозирования электрической энергии и мощности. Развитие и совершенствование соответствующих математических инструментов приведет к разработке более точных методов прогнозирования нагрузки. Точность прогнозирования нагрузки зависит не только от методов прогнозирования нагрузки, но и от точности погодных сценариев.

На сегодняшний день наиболее актуальной является задача краткосрочного прогнозирования мощности. На рис. 1 показан график мощности на месячном интервале (март 2015 г., 124 значения). С интервалом снятия показаний с приборов учёта в 6 ч., т.е. показания снимались в 00:00 ч, 06:00, 12:00 и 18:00 каждых суток месяца. Для примера на рис 2 приведён суточный график мощности на 1 марта 2015 г.

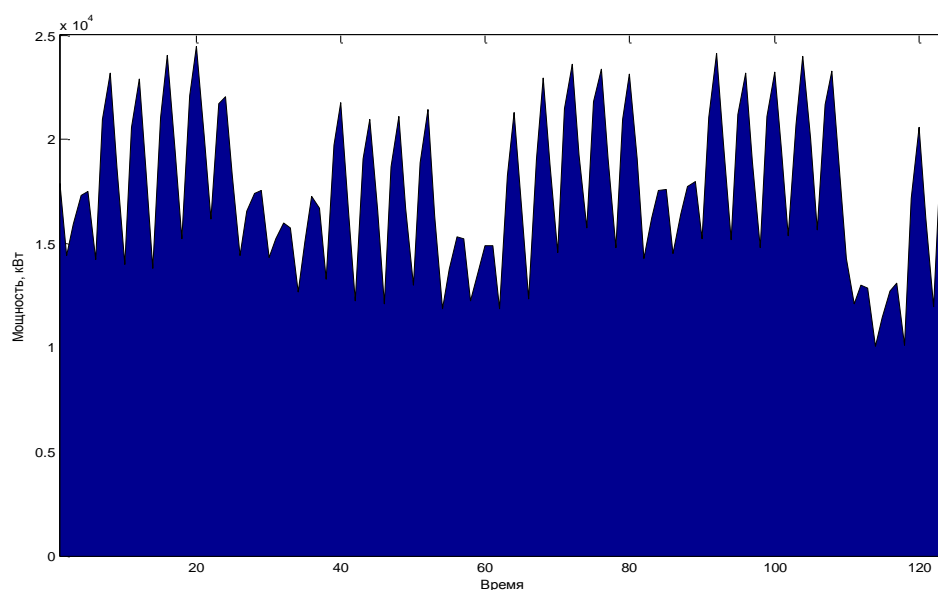


Рис. 1. Изменение мощности на месячном интервале

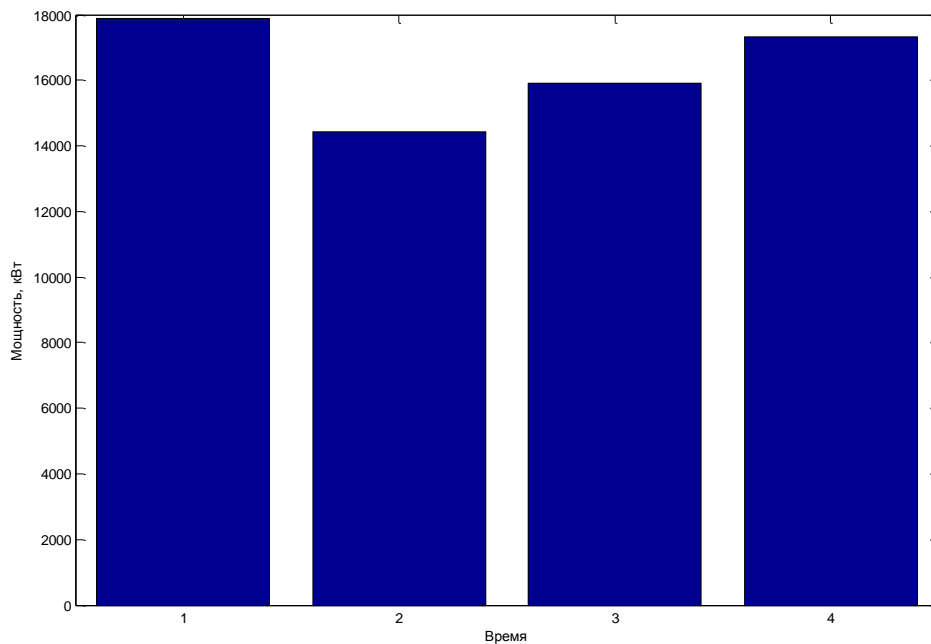


Рис. 2. Изменение мощности на суточном интервале

Как мы видно из рис. 1, график изменения мощности имеет явный синусоидальный характер, с характерными минимумами и максимумами, и выделенный базис в 15000 кВт.

В то же время исходя из того факта, что анализ исходных данных является наиболее важной частью любой модели прогнозирования, необходимо провести более детальный анализ данных для прогнозирования.

Традиционно для анализа временных рядов используется преобразование Фурье, дающее разложение исследуемого временного процесса  $f(t)$  в ряд по тригонометрическим функциям, или в более общей форме записи

$$f(t) = \sum_{-\infty}^{\infty} c_n \exp(int).$$

Коэффициенты  $c_n$  являются амплитудами гармонических колебаний соответствующей частоты и определяются формулой

$$c_n = (2\pi)^{-1} \int_0^{2\pi} f(t) \exp(-int) dt.$$

Множество функций  $\exp(int)$  образует ортонормированный базис пространства  $L^2(0, 2\pi)$ .

Аппарат Фурье-преобразований дает достаточно простые для расчетов формулы и прозрачную интерпретацию результатов, но не лишен и некоторых недостатков. Преобразование, например, не отличает сигнал, являющийся суммой двух синусоид, от ситуации последовательного включения синусоид, не дает информации о преимущественном распределении частот во времени, может дать неверные результаты для сигналов с участками резкого изменения. Исследуемые ряды также далеко не всегда удовлетворяют требованию периодичности и, более того, как правило, заданы на ограниченном отрезке времени.

Основы вейвлет-анализа были разработаны в середине 80-х годов Гроссманом и Морле как альтернатива преобразованию Фурье для исследования временных (пространственных) рядов с выраженной неоднородностью. В отличие от преобразования Фурье, локализующего частоты, но не дающего временного разрешения процесса, и от аппарата d-функций, локализующего моменты времени, но не имеющего частотного разрешения, вейвлет-преобразование, обладающее самонастраивающимся подвижным частотно-временным окном, одинаково хорошо выявляет как низко-частотные, так и высокочастотные характеристики сигнала на разных временных масштабах. По этой причине вейвлет-анализ часто сравнивают с "математическим микроскопом", вскрывающим внутреннюю структуру существенно неоднородных объектов.

Указанная универсальность обеспечила вейвлет-анализу широкое использование в самых различных областях знаний. Семейства анализирующих функций, называемых вейвлетами, применяются при анализе изображений различной природы, для изучения структуры турбулентных полей, для сжатия больших объемов информации, в задачах распознавания образов, при обработке и синтезе сигналов, например, речевых, для определения характеристик фрактальных объектов.

Подобно тому, как в основе аппарата преобразований Фурье лежит единственная функция  $\psi(t) = \exp(it)w(t)$ , порождающая ортонормированный базис пространства  $L^2(0,2\pi)$  путем масштабного преобразования, так и вейвлет-преобразование строится на основе единственной базисной функции  $\psi(t)$ , имеющей солитоноподобный характер и принадлежащей пространству  $L^2(R)$ , т.е. всей числовой оси.

Для анализа изменения исходных данных на месячном интервале был применён вейвлет Хаара — один из первых и наиболее удобных вейвлетов, который определяется соотношением:

$$\psi^H(t) = \begin{cases} 1, & 0 \leq t \leq 1/2 \\ -1, & 1/2 \leq t \leq 1 \\ 0, & t < 0, t \geq 1 \end{cases}$$

Используя теорию вейвлет-преобразований, получили разложение временных рядов (мощность и температур на месячном интервале) на два последовательных пространства, представленные на Рис. 3 – 4. А также их частотную локализацию, показанную на рис. 5-6.

Ежесуточно происходят колебания  $\pm 2000$  кВт в 00:00 и 06:00 ч. Пик мощности держится порядка 6 ч.

В среднем температура не меняется в течение 6-12 ч. Характерны колебания температуры в интервале  $\pm 2$  градуса Цельсия. Происходит увеличение количества колебаний температуры во второй половине месяца. Среднее значение температуры – 4,5 градуса Цельсия.

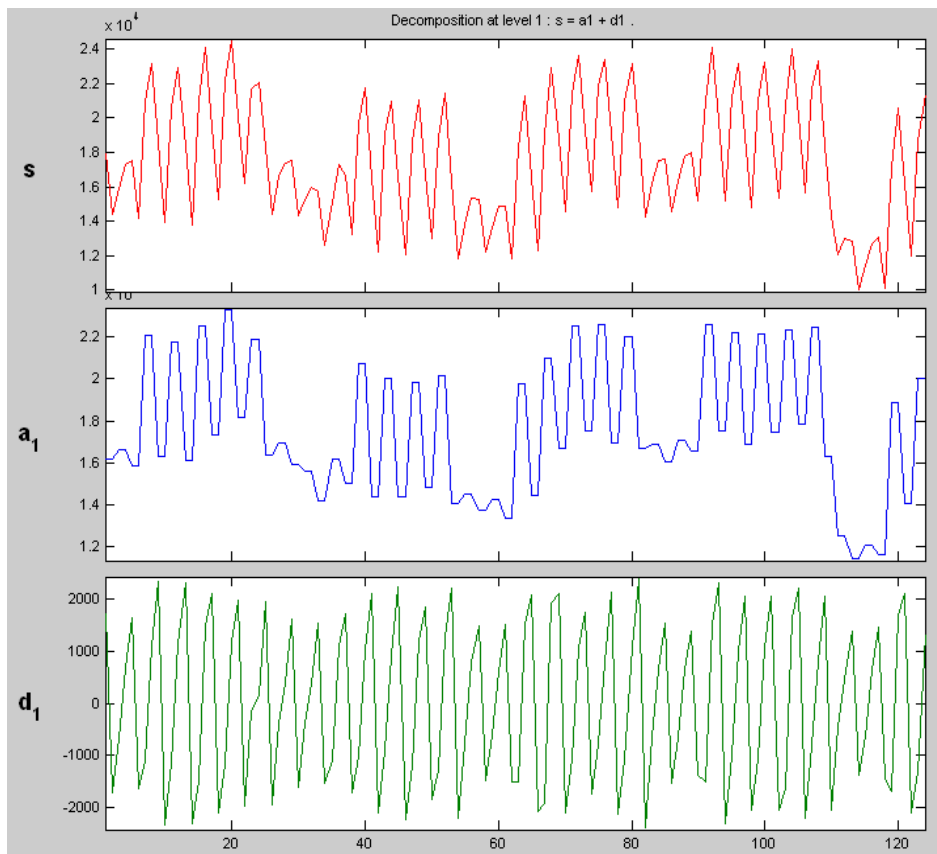


Рис. 3. Изменение мощности и его проекции на два последовательных пространства

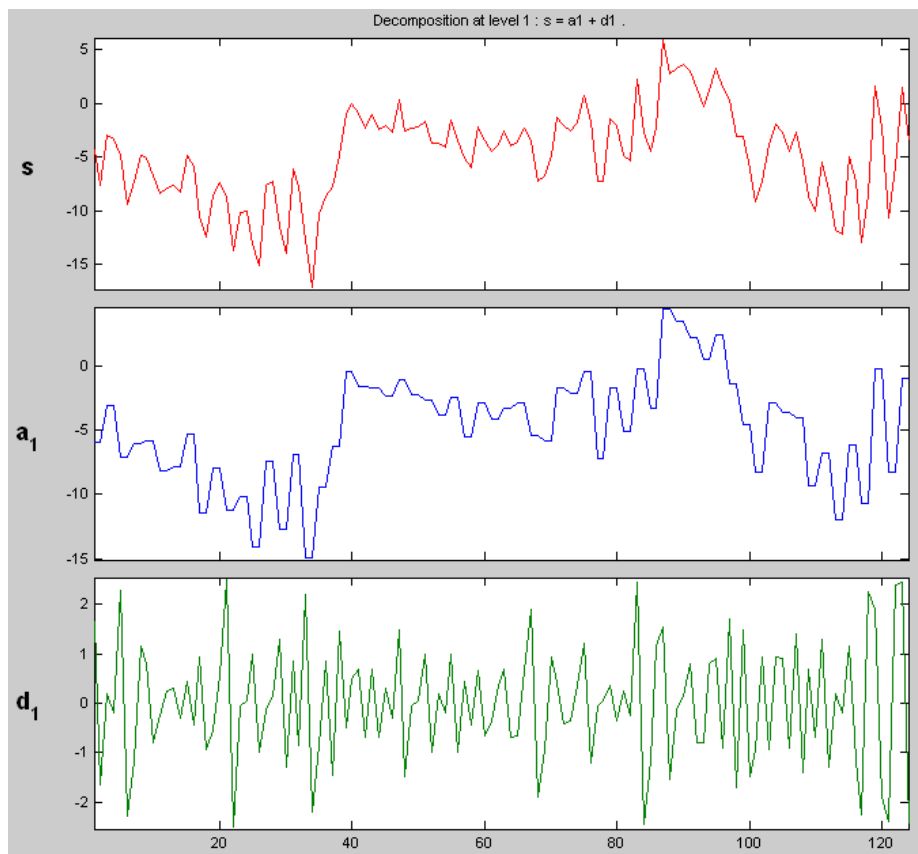


Рис. 4. Изменение температуры и его проекции на два последовательных пространства

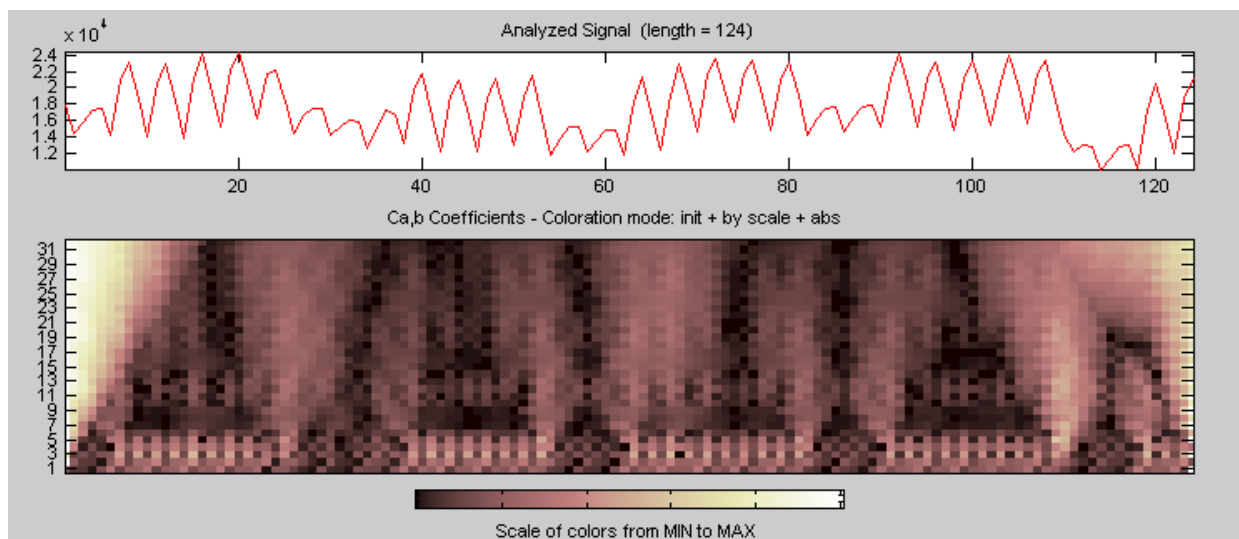


Рис. 5. Частотная локализация мощности

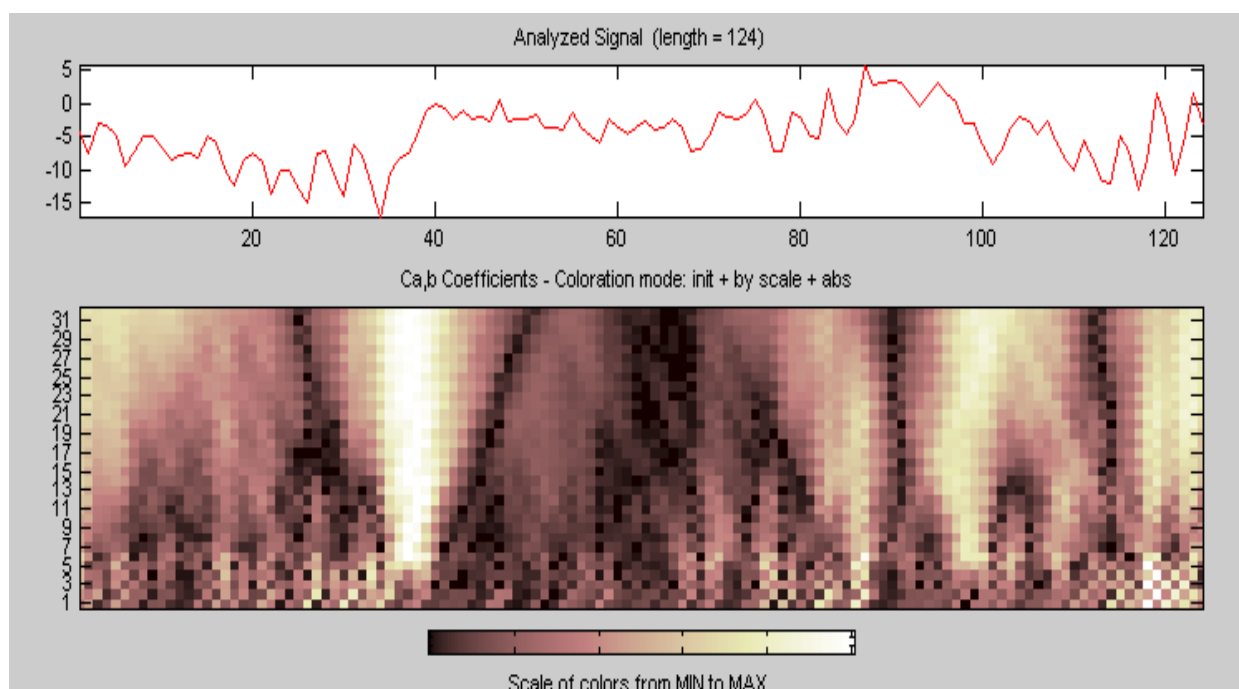


Рис. 6. Частотная локализация температуры

Для обоих взятых для анализа временных рядов чётко видны экстремумы (фиксированы светлым тоном) и переходы через ноль (фиксированы темным тоном) на всём интервале. Очевидно, что минимум температуры будет соответствовать максимуму электропотребления, что мы и наблюдаем на рис. 5–6. Также отмечено, что изменение температуры не оказывает резкого влияния на изменение электропотребления. Существенное влияние на электропотребление оказывают длительное (более трёх дней) увеличение либо уменьшение температуры более чем на 5 градусов Цельсия.

На основании полученных результатов можно сделать выводы, что применение теории вейвлет-преобразований целесообразно при работе с большим массивом неоднородной информации. Вейвлет-преобразования

помогают сделать анализ временных рядов более детальным и наглядным, провести закономерности, недоступные при разложении в ряд Фурье.

#### Список литературы

1. Яковлев А.Н. Основы вейвлет-преобразования сигналов. М.: Физматлит, 2003. 176 с.
2. Чуи К. Введение в вэйвлеты. Пер. с англ. М.: Мир, 2001. 412 с.

## СИСТЕМА АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ НА БАЗЕ ЭЛЕМЕНТОВ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

В.З. Манусов, Ш.К. Халдаров

*Новосибирский государственный технический университет*

**Аннотация** – В статье предложена схема адаптивного регулирования скорости турбины на базе нечеткой логики для определения точек максимальной мощности. Данная схема способствует непрерывному регулированию скорости ветровых турбин, подстраиваясь под изменчивый характер скорости ветра.

**Ключевые слова** – нечеткая логика, точки максимальной мощности, регулирование, нечеткий контроллер, ветровая турбина.

## ADAPTIVE WIND TURBINE CONTROL SYSTEM BASED ON ELEMENTS OF FUZZY LOGIC

Manusov V.Z., Khaldarov S.K.

*Novosibirsk State Technical University*

**Abstract** – In this paper an adapted control scheme based on fuzzy logic approach for adjusting the turbine speed so as to track the maximum power point. This scheme can help to control wind turbine speed for maximum power extracting for a given wind velocity.

**Keywords** –Fuzzy logic, maximum power points, control, fuzzy controller, wind turbine

### I. ВВЕДЕНИЕ

Известно, что в условиях изменчивого поведения скорости ветра ветроэнергетические установки (ВЭУ) характеризуются нестабильностью по скорости вращения. При нарушении баланса между аэродинамической мощностью ротора и электрической мощностью электрогенератора скорость вращения либо увеличивается, либо уменьшается, отклоняясь от своего оптимального значения и снижая производительность ВЭУ. Нарушение баланса мощности вызывается неравномерностью нагрузки потребителя и случайными изменениями скорости ветра [1].

Для решения данной проблемы в ВЭУ может быть использована автоматизированная система управления для регулирования скорости вращения ротора с целью извлечения максимально возможной мощности. Данная система поможет адаптировать ВЭУ под изменчивую скорость ветра и работать с переменной скоростью вращения ротора, что дает значительную эффективность по сравнению с работой при фиксированной скорости [2].

В настоящее время при проектировании ВЭУ широко применяются асинхронные генераторы с переменной скоростью в связи с их прочной конструкцией и относительно низкими расходами на техническое обслуживание. Преимущества асинхронной машины хорошо известны. Эти машины относительно недорогие, надежные и не требуют частого обслуживания. При управлении асинхронными машинами методом векторного управления достигается быстрая динамическая характеристика и точное управление вращающим моментом. Все эти характеристики выгодно применять при проектировании ВЭУ. Сегодня проделано немало работ в данном направлении. Схема с несколькими самовозбуждающимися асинхронными генераторами, связанными общей шиной, предложена в [3]. Система управления для работы с векторно-регулируемыми асинхронными машинами на базе потоко-ориентированных косвенных роторов для ВЭУ с переменной скоростью предложена в [4]. В работе [5] предложена система нечеткого управления ВЭУ на базе каскадных преобразователей.

Во многих из вышеупомянутых схем управления для извлечения максимальной мощности контроллерами используются датчики скорости ветра (анемометры), для определения располагаемой мощности ветра. Эти датчики увеличивают стоимость и создают определенные сложности при конструировании ВЭУ [6].

Для выработки оптимально необходимой мощности в данной работе предложена схема управления ВЭУ на базе нечеткой логики для извлечения максимальной мощности при широком диапазоне изменения скорости ветра. Предлагаемый нечеткий контроллер для поиска точки максимальной мощности использует угловую скорость генератора и крутящий момент или измерения выходной мощности для поиска оптимальной скорости, при которой ветровая турбина должна работать для выработки максимальной мощности. Для данного исследования в среде моделирования Матлаб Симулинк [7] построена компьютерно-математическая модель системы управления при различных скоростях ветра.

## II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В данном исследовании ставится задача анализа и использования схем систем генерирования мощности на основе ветроэнергетической турбины с переменной скоростью. Решение поставленной задачи позволит выявить основные отличия установки от традиционных с позиции систем генерирования мощности и используемого энергоресурса, обеспечить надлежащее качество электрической энергии, оценить различные методики выработки мощности с требуемыми параметрами.

Необходимо отметить, что вопросы выработки мощности необходимого качества считаются решенными при использовании машинно-вентильных систем, например асинхронных машин двойного питания. Поэтому основное внимание при строительстве ветроэнергетических станций уделяется необходимости максимальной выработке электроэнергии, что достигается при эффективных системах регулирования мощности.

### III. ТЕОРИЯ

Ветровая турбина (ВТ) соединена с валом асинхронного генератора через повышающую трансмиссию для преобразования низкой скорости ротора ветровой турбины в высокую скорость асинхронного генератора (АГ). Далее АГ соединяется с сетью с помощью биполярного транзистора с изолированным затвором на широтно-импульсном модуляторе (БТИЗ ШИМ). Сгенерированная мощность передается электросети через системы преобразования.

Блок-схема системы преобразования энергии ветра с нечетким контроллером показана на рис. 1.

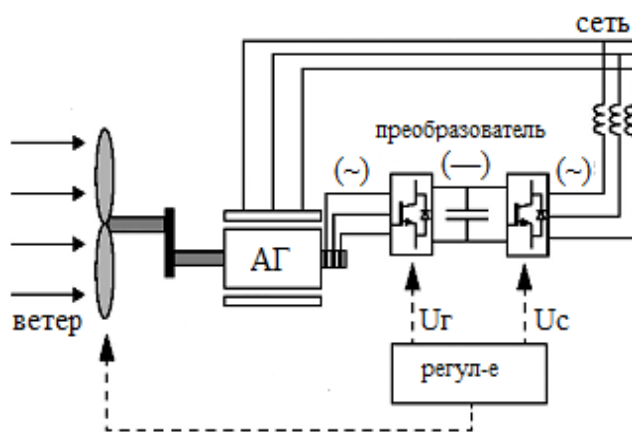


Рис.1. Ветроэнергетическая система

На рисунке 2 приведена рабочая кривая оптимальной мощности с учетом того, что лопасти турбины имеют фиксированный угол наклона, а мощность на выходе  $P_T$  не линейна угловой скорости турбины ( $\omega$ ) и скорости ветра. Согласно этому рисунку максимальная мощность извлекается при определенной угловой скорости для данной скорости ветра.

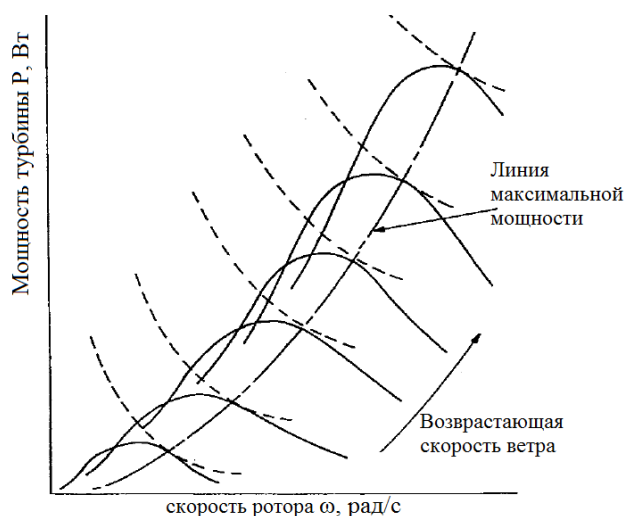


Рис. 2. Генерируемая механическая мощность при разных скоростях ветра



Выходными параметрами АГ являются переменное напряжение, переменная частота, которые преобразуются в постоянные величины, при помощи регулируемого преобразователя.

Нечеткий контроллер производит поиск оптимальной скорости, при которой должна работать ВЭУ с целью извлечения максимальной мощности при данной скорости ветра. Блок-схема нечеткого контроллера приведена на рис. 3.

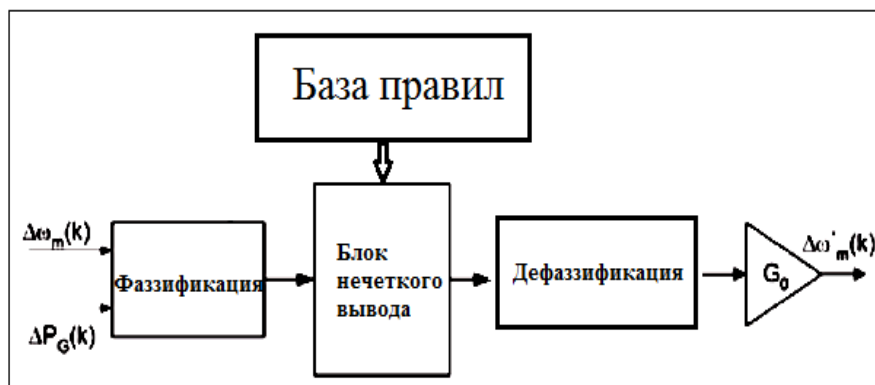


Рис. 3. Блок-схема системы нечеткого управления

Эта система состоит из четырех основных частей. В первом блоке входные параметры фаззифицируются, затем на основе экспертных правил и системы вывода генерируются желаемые выходные параметры. Далее нечеткие выходные параметры дефаззифицируются и преобразуются в четкие управляющие переменные системы. Нечетким контроллером используются небольшие изменения в сигналах управления скорости при регулярных шагах поиска. В это же время проводится мониторинг за соответствующими изменениями действующих значений угловой скорости ротора ( $\Delta\omega_p$ ), крутящего момента генератора ( $\Delta T_G$ ) и мощности на выходе генератора ( $\Delta P_G$ ). Для осуществления поиска оптимальной рабочей точки контроллеру не требуются измерения скорости ветра.

Входные параметры нечеткого контроллера при шаге  $K_{th}$  выражены равенством:

$$\Delta\omega_p(k) = G_\omega[\omega_p(k) - \omega_p(k - 1)] \quad (1)$$

и

$$\Delta T_G(k) = G_T[T_G(k) - T_G(k - 1)], \quad (2)$$

где  $G_\omega$  и  $G_T$  - коэффициенты усиления. Они настроены вместе с выходным коэффициентом  $G_0$  таким образом, чтобы заданная скоростью сходилась с требуемым значением скорости ротора для вывода максимальной мощности. Выходная мощность оценивается уравнением крутящего момента генератора:

$$P_G = T_G \omega_n, \quad (3)$$

В данном исследовании были использованы пять треугольных равномерно распределенных и нормализованных к единице функции принадлежности. Действующие входные переменные схемы управления фаззифицируются путем составления входных функций принадлежности. Каждой лингвистической переменной было присвоено числовое значение от -3 до +3. Процесс дефаззификации осуществляется методом центра тяжести для генерации четких выходных значений, соответствующих изменению заданной угловой скорости.

#### IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Математическая модель предлагаемой системы управления ВЭУ была разработана с помощью программы Матлаб Симулинк. Результаты моделирования помогают исследовать такие характеристики системы как производительность поиска максимальной мощности.

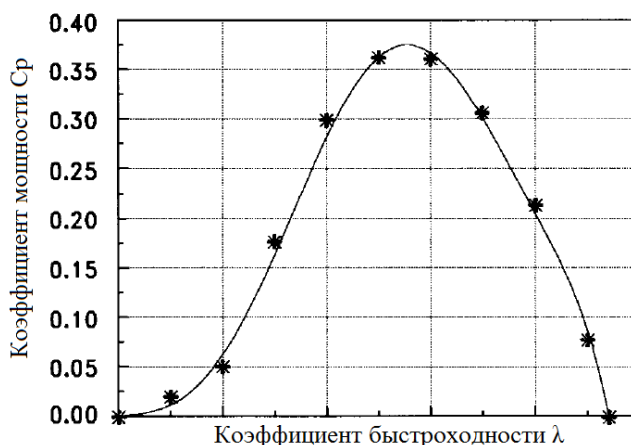


Рис.4. Зависимость коэффициента мощности турбины от коэффициента быстроходности (КБ)

В моделировании была использована 10-киловаттная ветровая турбина со следующими параметрами: радиус ротора ветровой турбины 2,74 м, момент инерции  $J=12,8 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ , коэффициент демпфирования  $D=0,38 \text{ Nm/rad}^2$ , номинальная скорость ветра 11 м/с, стартовая скорость ветра 4 м/с, предельная скорость ветра 20 м/с. Кривая мощности турбины показана на рис. 4. Следует отметить, что турбина выдает максимальную мощность при значении коэффициента мощности  $C_p=0,365$ .

Например, изначально заданная скорость настроена под угловую скорость ротора, соответствующую стартовой скорости ветра. В момент, когда скорость ветра приближается к 11 м/с при  $t=10 \text{ с}$  с соответствующим скачком в мощности на выходе ветровой турбины, активируется нечеткий контроллер для поиска оптимальной угловой скорости турбины для вывода максимальной мощности. Когда скорость ветра становится меньше номинального, например 7 м/с, контроллер ищет угловую скорость турбины, соответствующую возможной максимальной мощности для этой скорости ветра. Когда скорость ветра вновь достигает 11 м/с при  $t=25 \text{ с}$ , нечеткий контроллер ищет оптимальную угловую скорость и мощность на выходе турбины возрастает до значения близкой

номинальной мощности. На рис. 5 показаны изменения коэффициентов мощности турбины для двух случаев, когда нечеткий контроллер не активирован, и наоборот.

На рис. 6 видно, что при помощи нечеткого контроллера значение заданной угловой скорости ротора достаточно точно подгоняется до значения действующей скорости.

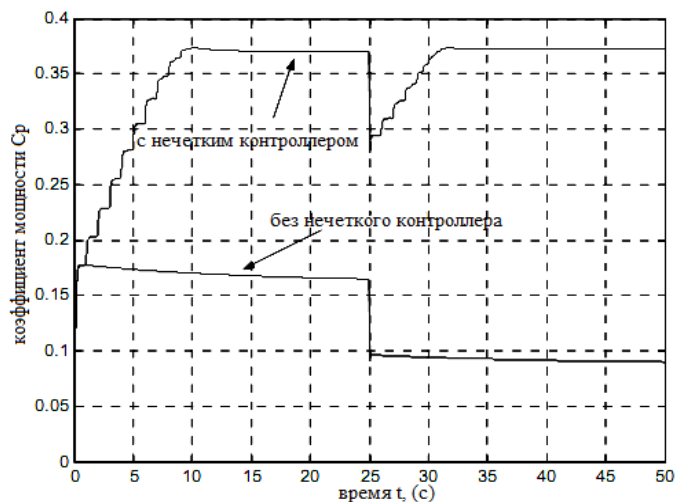


Рис.5. Сравнение коэффициентов мощности для двух случаев

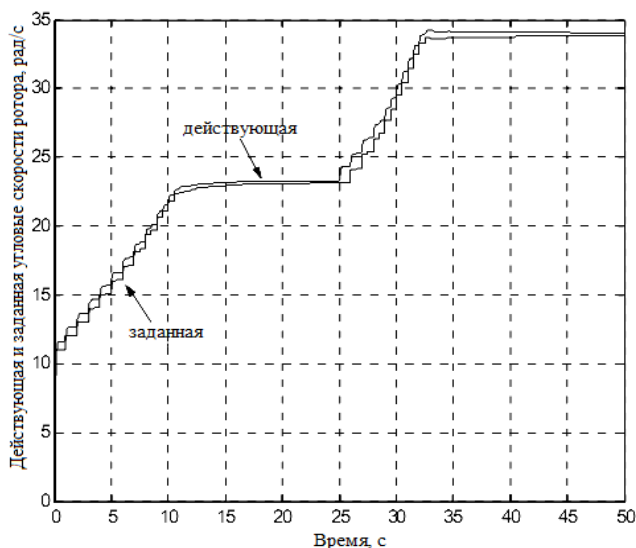


Рис.6. Заданная и действующая угловые скорости ротора при активации контроллера

## V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты моделирования показали осуществимость и возможность отслеживания точек максимальной мощности при помощи предлагаемого контроллера, работающего без измерений скорости ветра. Данное технологическое улучшение автоматизированной системы управления ветроэнергетической системы позволит сократить срок окупаемости установки за счет отсутствия датчиков измерения и возможности извлечения максимальной мощности. Необходимо отметить, что данная система

управления актуальна для автономных ветровых установок, а также для установок малой мощности.

## VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье представлено моделирование системы управления ветровой установки малой мощности. Предложенная схема нечеткого контроллера адаптирована для поиска оптимальной угловой скорости ротора, с которой ВЭУ работает при изменениях скорости ветра. Схема нечеткого управления позволяет регулировать угловую скорость ротора и подогнать под оптимальное значение так, чтобы коэффициент мощности турбины совпадал с его максимальным значением.

### Список литературы

1. Адрианов В.Н., Быстрицкий Д.Н., Вашкевич К.П., Секторов В.Р. Ветроэлектрические станции. - М-Л.: Госэнергоиздат, 1960. - 320 с.
2. Удалов, С.Н. Возобновляемые источники энергии: Учебник/С.Н. Удалов.-Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. – 432 с.
3. C.V. Nayar, and J.H. Bundell, Output power controller for a wind driven induction generator, IEEE Trans. Aerospace Electronic Systems, vol. 23, 1987, pp. 388-401
4. R. Cardenas, and R. Pena, "Sensorless vector control of induction machines for variable speed wind energy applications," IEEE Trans. Energy. Conv., vol. 19, 2004, pp. 196-205.
5. P. Novak, T. Ekelund, I. Jovik, and B. Schmidtbauer, Modelling and Control of Variable-Speed Wind-Turbine Drive-Systems Dynamics, IEEE Trans Control Systems, Vol. 15,1995, pp. 28-38.
6. C. V. Nayar, and J. H. Bundell, Output power controller for a wind driven induction generator, IEEE Trans. Aerospace Electronic Systems, vol. 23, 1987, pp. 388-401.
7. Дьяконов, В.П. VisSim + Mathcad + MATLAB. Визуальное математическое моделирование В.П. Дьяконов. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004, – 384 с.

## ФОРМИРОВАНИЕ АДАПТИВНОЙ ПОЛИТИКИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ НА РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ

С.Ю. Мычка, М.А. Шаталов

*Воронежский экономико-правовой институт*

Аннотация: в данной статье рассмотрены основные проблемы энергетической эффективности в региональном аспекте. В рамках исследования авторами были выявлены главные принципы формирования адаптивной политики в области энергоэффективности и предложены некоторые рекомендации для совершенствования политики энергетической эффективности.

**Ключевые слова:** адаптивная политика, энергоэффективность, регион, энергетическая безопасность, энергосбережение.

## CREATING ADAPTIVE ENERGY POLICY AT THE REGIONAL LEVEL

S.Yu. Mychka, M.A. Shatalov

*Voronezh Institute of Economics and Law*

**Abstract:** This article discusses the basic problems of energy efficiency in the regional aspect. In the study, the authors identified the main principles of adaptive energy efficiency policies and propose some recommendations for the improvement of energy efficiency policies.

**Keywords:** adaptive policy, energy efficiency, the region, energy security, energy efficiency.

Одним из важнейших элементов формирования политики энергосбережения на государственном уровне является повышение энергетической эффективности в региональном разрезе, а также, являясь связующим звеном, планирование энергоэффективности объединяет территориальные и отраслевые вопросы управления в сфере энергетической эффективности. Удельный вес энергоэффективности, его увеличение зависят от степени разработанности и ограниченности целевых программ на уровне региона. Российская Федерация – огромная страна, поэтому здесь существует разрозненная ситуация в области энергоэффективности и энергосбережения, даже в географически соседствующих регионах, т.к. российские регионы различны между собой как в количественных, так и в качественных показателях.

Поэтому именно особенности определенной территории (региона) и являются отправной точкой для разработки приоритетных программ реализации энергосберегающих мероприятий.

Энергетическая стратегия регионального развития исходит от требований самого региона, т.е. от того, какие процедуры необходимы на данной территории в определенный момент времени, какие цели и задачи стоят перед регионом по осуществлению политики региональной энергоэффективности.

Сегодня современный город нельзя представить без развитых систем электро- и теплоснабжения. Основной особенностью отрасли можно выделить тождественность во времени процесса производства и потребления энергетической продукции [1]. Конечно же, ни электрическую, ни тепловую энергию невозможно складировать или запастись. Энергетические системы должны выдавать столько энергии и мощности, сколько требуется в данный момент. Отпуск тепло- и электроэнергии осуществляется на основании графика загрузки оборудования, т.к. спрос на электроэнергию неравномерен в течение дня, а на теплоэнергию – при изменении температуры воздуха. Следовательно, энергоэффективность, в основном, зависит от режима энергопотребления.

В связи с этим выделим несколько вариантов мероприятий (региональных энергосберегающих стратегий):

- стратегия законодательного типа, опирающаяся на «букву закона», например, Указы Президента, законы федерального и местного уровня и т.п.
- стратегия, направленная на регулирование основных региональных проблем, например, энергобезопасность, альтернативные виды топлива, возобновляемые виды ресурсов и т.п.

- стратегия согласования энергетического сбережения в разрезе «энергоэффективность – энергоисточник».

Естественно, для реализации мероприятий по повышению энергоэффективности в разнообразных типах программ применяют различные инструментари и механизмы стимулирования (таблица 1).

Таблица 1

Виды программ и стратегии энергосбережения

Наименование программы	Цель программы (стратегия)	Инструментарий и подходы	Основные механизмы
Законодательно обусловленные программы	Выполнение требований федерального законодательства	Распределение требований по секторам и муниципалитетам	Законодательные требования, стандарты, нормативы
Проблемно ориентированные программы	Решение ключевых проблем энергобезопасности и развития регионов	Выявление иерархии проблем энергобезопасности и энергоэффективности	Реализация приоритетов, повышение энергобезопасности
Территориально сопряженные программы	Сбалансированное развитие энергоисточников и потребителей	Топливо-энергетические балансы промузлов и агломераций региона	Сбалансированная тарифная политика, управление спросом

Безусловно, для реализации программ по региональному повышению энергосбережения необходимо наличие законодательной базы в данной области. Таким образом, региональные законы по обеспечению энергетического сбережения и увеличению энергоэффективности приняты лишь в 23 субъектах России, в 8 регионах – законы действуют в старой редакции, в 7 субъектах – разработаны проекты законов, в 45 регионах – законопроекты на стадии разработки (таблица 2).

Таблица 2

Процесс разработки программ энергетического сбережения и увеличения энергоэффективности на уровне МСУ

Федеральный округ	Доля муниципальных образований, утвердивших программы энергосбережения (%)
ДВФО	81
ПФО	90,1
СЗФО	72
СКФО	39
СФО	84,1
УФО	90,6
ЦФО	69
ЮФО	65,3
Россия в целом	73,9

По данным проанализированной нормативной документации субъектов России можно вычленить более 30 способов применения повышения энергетического сбережения, объединив их по следующим категориям:

- методы информационной и методической поддержки, пропаганда энергосбережения, подготовка кадров;
- методы финансовой поддержки и стимулирования, налоговые льготы;
- методы тарифного регулирования;
- методы организационной и административной поддержки.

Одним из важнейших инструментов энергоэффективности выделим внедрение механизмов энергоменеджмента [2, с. 481]:

1. Совершенствование отечественной системы стандартизации, ужесточение требований для аккредитованных и сертификационных органов, гармонизация принимаемых национальных стандартов на основе международных;

2. Информационная и образовательная поддержка организаций при внедрении стандартов энергоменеджмента;

3. Реформирование системы договоров на энергоснабжение и т.д.

Таким образом, можно сказать, что анализ мероприятий по энергетическому сбережению в регионах показывает уровень образованности в сфере энергосбережения ниже среднего как сотрудников органов исполнительной власти, так и органов местного самоуправления. Поэтому для эффективной реализации программ энергоэффективности на региональном уровне необходимо наличие высококвалифицированных специалистов в данной области. Ведение регулярной пропаганды по существующему вопросу – еще один приоритетный момент в увеличении энергоэффективности региона. Нельзя не отметить, что существующие в настоящий момент программы регионального развития энергетической эффективности нуждаются и доработке и адаптации к постоянно изменяющимся реалиям современной экономической и политической ситуации, как региона и страны, так и мира в целом.

#### Список литературы

1. Особенности реализации политики энергосбережения в регионах: аналитический сб. / Авт.-сост. Е.Г. Гапо, В.С. Пузаков, М.В. Степанова. – М.: Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации, 2012.

2. Шаталов М.А., Мычка С.Ю. Проблемы современного менеджмента в условиях инновационного развития региона// Наука. 2014. № 4-3. С. 481.

### **ОБСЛУЖИВАЮЩИЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЭК В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ АО «БИЙСКЭНЕРГО»)**

Т.В. Позднякова

*Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Алтайский  
государственный технический университет им. И.И. ползунова»*

**Аннотация:** В статье представлен анализ ситуации, сложившейся на изучаемом предприятии в связи с принятой политикой управления запасами, а также некоторые методические разработки и рекомендации, направленные на решение выявленных проблем.

**Ключевые слова:** Запасы, обслуживающие подразделения, предприятия ТЭК.

# SERVICE UNIT OF ENERGY COMPANIES IN INVENTORY MANAGEMENT: PROBLEMS AND SOLUTIONS (THE CASE OF «BIYSKENERGO»)

TV Pozdnyakova

*Biysk Technological Institute (branch) of Altai State Technical University*

**Abstract:** This paper presents an analysis of the situation in the target company in connection with the policy of inventory management, as well as some methodological developments and recommendations to address the problems identified.

**Tags:** Stocks, servicing units, energy companies.

Объектом исследования выступает АО «Бийскэнерго» (ранее – ОАО) – крупная (одна из крупнейших в Сибирском федеральном округе) энергокомпания, расположенная в г. Бийске Алтайского края.

К основным направлениям деятельности АО «Бийскэнерго» относятся производство и реализация тепловой и электрической энергии; снабжение тепловой энергией промышленных предприятий, жилищно-коммунальных объектов и населения города Бийска; выполнение диспетчерского графика поставки электрической энергии на федеральный оптовый рынок электроэнергии (мощности); обеспечение графика теплоснабжения потребителей в зимний период, надежности и устойчивости работы энергосистемы в летний период.

Производственную базу АО «Бийскэнерго» формирует электростанция высокого давления с поперечными связями. Ведущее оборудование включает 16 энергетических котлов (общая паропроизводительность – 4110 тонн пара/час), 5 водогрейных котлов (теплопроизводительность – 500 Гкал/час), 8 турбинных установок (общая электрическая мощность 535 Мвт). Тепловая мощность станции в горячей воде составляет 911,5 Гкал/час, а величина присоединенной тепловой нагрузки (при средней нагрузке ГВС) – 376 Гкал/час. Резерв тепловой мощности – 535,5 Гкал/час.

Отпуск тепла в горячей воде осуществляется в тепловые сети г. Бийска (посредством ООО «БийскэнергоТеплоТранзит»), предприятиям и организациям города. Учет тепловой энергии осуществляется по приборам учета, установленных на границе раздела балансовой принадлежности между АО «Бийскэнерго» и собственником тепловых сетей.

Обслуживание и ремонт оборудования (котлов, турбин, насосов), а также паропроводов, зданий и сооружений предприятия ранее велись силами аутсорсинговых предприятий (с 2003 по 2007 г. – ЗАО «ПРП», в 2007-2010 гг. – ЗАО «Бийскэнергоремонт»), а в настоящее время осуществляется силами базы производственного обслуживания (БПО). Специфика работы данного подразделения связана со следующими особенностями:

- при проведении плановых ремонтов вскрытие и дефектование могут показать как идеальное состояние агрегата, так и его полную изношенность и необходимость замены всех ведущих деталей и узлов;



- крупные габариты и высокие термические нагрузки ведущего оборудования делают невозможной его предварительную диагностику без вывода из производственного процесса.

Если трудоемкость ремонтов поддается корректировке (в подразделении распространены сверхурочные работы), то наличие деталей и расходных материалов является необходимым условием для проведения работ, однако определить заранее уровень их расхода затруднительно вследствие крайне высокой степени неопределенности параметров деятельности.

Действующая на предприятии система планирования предусматривает разработку опережающих заказов: весной текущего года составляется график планово-предупредительных ремонтов на следующий год, к началу лета должны быть утверждены заявки на запасные части и материалы, а в декабре завершаются торги по первым поставкам. Длительную процедуру проведения открытых торгов (минимум 3 месяца, а зачастую – существенно дольше) предприятие не может «обойти» из-за высокой социальной значимости товара и, следовательно, необходимости открытого обоснования себестоимости производимой продукции.

Одной из задач БПО, таким образом, является осуществление долгосрочных прогнозов относительно объема и номенклатуры всех необходимых запасов задолго до выявления фактических проблем.

Стратегический характер выпускаемой продукции, специфика производственного процесса и внешние обстоятельства закупочной деятельности (в частности, узкая специализация поставщиков и оборудования, крайне ограниченное их количество, множественные законодательные ограничения) логично обосновывают рекомендацию придерживаться консервативного подхода к созданию запасов. Однако действующая в АО «Бийскэнерго» система управления закупочной деятельностью заставляет подразделения планировать детали без образования складских запасов, не предусматривает создания резервов. Наличие заказанных и не полученных со склада материальных ресурсов является основанием для применения административных санкций, лишения премиальных выплат, сокращения последующих планов закупок. В результате такой политики на предприятии наблюдаются:

- создание «нелегальных» запасов на местах (в подразделениях и на участках);

- излишнее списание расходных материалов (или, по крайней мере, отсутствие необходимости работать над его сокращением);

- конфликты и ухудшение морально-психологического климата;

- снижение уровня инициативности работников и количества рацпредложений, выступающих в описанной ситуации факторами возникновения дополнительной неопределенности.

На основании изучения сложившейся ситуации в рамках данного исследования были определены следующие задачи:

1. Определить возможные направления решения данной проблемы.

2. Предложить конкретные рекомендации и алгоритмы оптимизации системы планирования закупок и запасов.

Соответственно, набор предлагаемых нами решений проблемы формируется с учетом выделенных ключевых аспектов.

1. Научно-статистическая обоснованность величины запасов.

Так как прямая проблема БПО, по нашему мнению, сводится к повышению точности прогнозирования объема запасных частей и расходных материалов, наиболее эффективным представляется следующий алгоритм прогнозирования.

1) Формирование базы исходных данных (ввод накопленной информации о проведении ежегодных ремонтов). В рамках данного шага необходим анализ количества выявляемых дефектов и расхода запасных частей и материалов по типам и возрастным группам ведущего оборудования.

2) Ретроспективный анализ базы данных, в том числе:

- определение временного горизонта прогнозирования (учет выбытия и замещения типов оборудования), метод осуществления – анализ технической документации;

- выявление уровня «шума» (завышения списания или использование собственных запасов), метод осуществления – опрос экспертов;

- классификация дефектов:

а) по частоте (предварительно мы предлагаем следующую градацию, в дальнейшем, возможно, требующую корректировки: редкие – выявленные не более, чем в 10% случаев дефектования; средние – 11-30%, частые – выявленные в 31 и более случаях из 100);

б) по масштабу (малый – требующие только регулирования, смазки и т.п.; средний – требующие замены деталей; большой – требующие полного ремонта или замены узлов);

в) по связи с типом объекта (фундаментальные дефекты – обусловленные типом оборудования и типичные для него; стандартные – обусловленные технологией, способом работы или укрупненной группой оборудования; стохастические – случайные, нетипичные для данного оборудования дефекты);

г) по связи с источником повреждений (отраслевая специфика обусловила следующие категории: вызванные естественным воздействием внешней среды; связанные с воздействием предмета труда – вода, пар, электроэнергия; связанные с условиями эксплуатации – вибрационными, термическими, статическими нагрузками; связанные с воздействием «человеческого» фактора – нарушение графика обслуживания, режима и условий эксплуатации и др.; технологически обусловленные дефекты – связанные с качеством поставляемого оборудования или предыдущего ремонта); - определение динамики количества дефектов и расхода запасных частей/комплектующих с учетом изменения детерминирующих факторов:

а) замена технологии производства (слабо реализуется);

б) замена типа оборудования (реализуется с постепенным замещением);

в) замена технологии проведения ремонтных работ и текущего обслуживания (реализуется непрерывно);

г) замена типа запасных частей и расходных материалов, а также нормы их расхода (обусловлена значением предыдущих факторов);

д) смена поставщика без замены марки/типа расходных материалов (реализуется достаточно слабо, значительного влияния не выявлено).

3) Построение кривой распределения вероятной потребности по типам запасных частей и расходных материалов (напр., по методу Монте-Карло):

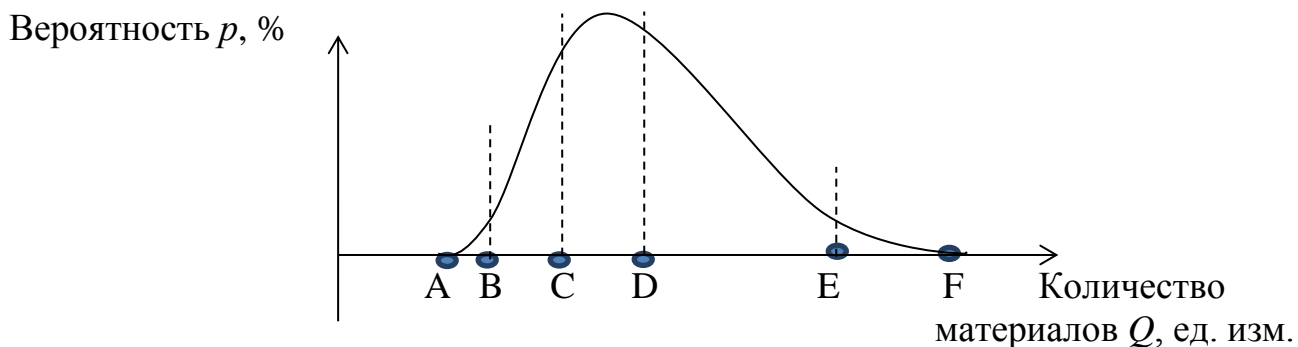


Рис. 1. Кривая распределения вероятной потребности

Точка А характеризует зону «нано-вероятности». То есть, создавая запасы в меньшем, чем А, объеме, мы гарантированно не покроем потребность в запасах. Определив экстремумы функции вероятностного распределения  $P=p(Q)$ , можно найти значения интервалов АВ (объем запасов покроем текущую потребность с малой долей вероятности), CD (наиболее ожидаемый объем расхода), DE (создавая запасы на данном уровне, мы с большой долей вероятности покроем текущую потребность). Создание запасов в объеме больше F однозначно нецелесообразно. Подробнее см. [1].

4) Соотнеся кривую распределения с характером и масштабом дефектов, определим наиболее приемлемые зоны установления запасов (так, для глобальных повреждений стратегически значимого оборудования объем запасов должен составлять не менее E, а для менее масштабных и допускающих резерва времени – на уровне D).

5) На основании прогнозных данных и с учетом утвержденных планов ППР принимается управленческое решение относительно объема и календарных сроков поставок.

## 2. Организационно-управленческая модернизация системы закупок.

Помимо прямой задачи оптимизации системы планирования запасов в конкретных подразделениях, на предприятии явно прослеживается проблема управленческого характера: стратегическая задача обеспечения работоспособности оборудования превратилась в проблему единственного подразделения. Это вызывает несогласованность целей, критериев эффективности подразделений, провоцирует конфликты, эмоциональную напряженность.

Рассмотрев сложившуюся ситуацию, мы считаем целесообразным изменение системы стимулирования работников экономического и планового отделов, службы конкурентных закупок, отдела заключения договоров.

Изучив традиционные и современные системы оплаты труда персонала промышленных предприятий, наиболее адекватным инструментом мы считаем введение косвенно-сдельной формы оплаты. Поскольку основным показателем работы АО «Бийскэнерго» является объем выработанной энергии, который, в свою очередь, зависит от бесперебойной работы оборудования, обеспечиваемой БПО, целесообразно «привязать» к этой величине весь ФЗП предприятия. В этом случае отсутствие страховых запасов становится общей проблемой производственных и обслуживающих подразделений. К сожалению, действующий коллективный договор и трудовые договоры не позволяют использовать это предложение для тарифной части заработной платы специалистов и служащих экономических служб, однако к премиальной части (которая для разных должностей составляет от 50 до 100% оклада) оно вполне применимо.

### 3. Оптимизация системы закупок и отношений с поставщиками.

Современная практика договорных отношений предлагает множество инструментов, позволяющих оптимизировать отношения с поставщиками. Представляется, что для предприятия с высоким уровнем неопределенности (каковым является АО «Бийскэнерго» в части планирования запасов расходных материалов для ремонта основного оборудования) наиболее эффективным будет заключение договоров с отложенным сроком исполнения по фьючерсной технологии.

Рассмотрим данное предложение на примере подшипников. Эти малоценные и быстроизнашивающиеся запасные части в большом количестве присутствуют во многих типах ведущего оборудования. Спрогнозировать заранее необходимое их количество невозможно. При этом на складе неиспользованные подшипники быстро выходят из строя из-за попадания пыли и других воздействий. Заключим с поставщиком два договора:

- первый – с безусловной поставкой на обычных условиях в объеме D (см. рисунок, чем покроем наиболее ожидаемую потребность).

- второй – договор с правом, но не обязанностью приобретения в оговоренные сроки (скажем, в середине ремонтного периода, когда большая часть оборудования уже будет отдефектована) подшипников в объеме разницы E-D, покрывающем ожидаемую потребность с наибольшей вероятностью (для более стратегически значимых видов расходных материалов это может быть объем F- D, который 100% покроем возможную потребность). В случае, если данный объем запасов останется невостребованным, предприятие теряет сумму, потраченную на заключение договора, однако она будет существенно меньше, чем возможные потери из-за проведения экстренных торгов или порчи запасов на складе.

Справедливости ради отметим, что подобные технологии ведения продаж и закупок еще слабо распространены на территории РФ. Однако и поставщики,

и потребители интенсивно осуществляют поиск и освоение новых приемов. Выставляя, таким образом, конкурсный пакет в новом формате, предприятие сможет подтолкнуть поставщиков к освоению новых типов сделок.

Обобщая внесенные предложения, резюмируем, что наши рекомендации носят как внутренний характер (помогают БПО повысить точность и эффективность процесса планирования), так и общий для предприятия, что требует привлечения к реализации специалистов различных служб и директората АО «Бийскэнерго».

#### Литература

1. Позднякова Т.В., Совершенствование системы управления запасами расходных материалов ремонтных и обслуживающих подразделений предприятий ТЭК (на примере ОАО «БИЙСКЭНЕРГО») / Т.В. Позднякова, М.С. Ладыгин // Актуальные проблемы экономики и управления на предприятиях машиностроения, нефтяной и газовой промышленности в условиях инновационно-ориентированной экономики. – Издательство: Пермский национальный исследовательский политехнический университет (Пермь). 2014. – Т.1. – С. 392-398.

### **ОБОСНОВАНИЕ ОБЪЁМА ДИАГНОСТИКИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И ОЦЕНКА ИХ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА**

М.С. Попова

*Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова*

**Аннотация:** Рассмотрены виды неисправностей и методы диагностики оценки состояния асинхронного двигателя. С помощью программной среды MatLab Fuzzy Logic Toolbox и нечёткой логики определяется остаточный ресурс электродвигателей. На основании полученных данных производится оценка необходимого объёма диагностики асинхронных двигателей для прогнозирования их остаточного ресурса.

**Ключевые слова:** асинхронный двигатель, методы диагностики, остаточный ресурс, программная среда MatLab Fuzzy Logic Toolbox, нечёткая логика.

### **STUDY OF VOLUME DIAGNOSIS OF INDUCTION MOTORS AND ASSESSMENT OF THEIR RESIDUAL RESOURCE**

M.S. Popova

*Polzunov Altai State Technical University*

**Abstract:** The article considers the types of troubleshooting and diagnostic methods of assessment of the state of the induction motor. With the help of a software environment MatLab Fuzzy Logic Toolbox and fuzzy logic residual resource of electric motors is determined. Based on these data the required volume of induction motors diagnostics to predict their remaining resource as evaluated.

**Key words:** induction motor, diagnostic methods, residual resource, software environment MatLab Fuzzy Logic Toolbox, fuzzy logic.

При изготовлении и эксплуатации асинхронных двигателей (АД) возникают отклонения параметров двигателя от номинальных значений. Эти

отклонения могут быть вызваны как технологическими погрешностями изготовления двигателя, неправильными режимами эксплуатации, так и износом во время эксплуатации.

Под правильной эксплуатацией АД понимается его работа в соответствии с номинальными параметрами, указанными в его паспортных данных. Однако в реальной жизни имеет место значительное отступление от номинальных режимов эксплуатации. Изоляция электрических машин подвергается действию ряда неблагоприятных факторов: повышенных нагревов, превышающих допустимые для данного класса изоляции пределы, повышенной влажности вплоть до непосредственного воздействия воды и влаги, воздействию химически агрессивной среды (аммиака, органических удобрений и т.д.), значительных механических нагрузок (вибраций, ударных воздействий), коммутационных воздействий, значительных колебаний напряжения в сети, технологических перегрузок, нарушению охлаждения, нестабильных климатических условий, наличию пыли, копоти, абразивных частиц в воздухе.

Выход из строя АД приводит к тяжёлым авариям и большому материальному ущербу, связанному с простоем технологического оборудования, устранением последствий аварий и ремонтом вышедшего из строя электродвигателя. Следовательно, эффективный контроль параметров АД в процессе производства и после их изготовления, своевременная их диагностика в процессе эксплуатации являются актуальными задачами.

В итоге возникает необходимость исследовать АД с целью получения диагностических признаков и сигналов для определения указанных неисправностей.

На основании полученных данных диагностическая система должна определить наличие неисправностей (или возможной неисправности) и оповестить оператора, который принимает решение о дальнейших действиях. Диагностическая система более высокого уровня может предлагать оператору варианты корректирующих действий, а высшего уровня осуществляет диагностику и автоматически выполняет корректирующие функции.

Диагностика АД подразделяется на общую и по узлам.

В общую диагностику входят следующие методы: анализ вибрационных характеристик; измерение параметров внешнего магнитного поля; измерение КПД; контроль температуры [1].

Основными узлами электродвигателя, состояние которых целесообразно оценить индивидуально, являются: обмотка статора, ротор, подшипники.

Диагностика ротора производится для предупреждения его механического заклинивания и предотвращения снижения вращающей способности электродвигателя. Для диагностики ротора используются следующие методы: испытание активной стали; испытание стержней.

Оценку состояния подшипников производят с целью своевременного выявления возможности разрушения их отдельных элементов либо их заклинивания.

Анализируя последствия повреждений стали статора, подшипников, ротора, можно прийти к выводу, что отказ каждого оказывает разрушающее действие на изоляцию обмотки статора. Следовательно, помимо факторов внешней среды, воздействию которых изоляция подвергается в ходе эксплуатации, существенное влияние на неё оказывает ненормальная работа других узлов электрической машины. Данное воздействие является комплексным. Поэтому даже при наличии дефектов узлов, которые не удаётся обнаружить при использовании современных методов диагностики, в изоляции АД будут протекать процессы её разрушения. В связи с этим своевременное выявление дефектов изоляции обмоток служит основой обеспечения эксплуатационной надёжности всего асинхронного электродвигателя.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что любой метод диагностики изоляции электродвигателей должен давать максимум данных о состоянии обмотки в целом.

Для оценки состояния изоляции обмотки статора используются электрические и неэлектрические методы диагностики.

К неэлектрическим методам диагностики относятся: визуальный контроль; выявление запахов; прослушивание.

К электрическим методам диагностики относятся: измерение проводимости; использование явления абсорбции; метод волновых затухающих колебаний (ВЗК); ультразвуковая диагностика; по спектру тока [2]; контроль токов утечки.

Виды неисправностей и методы диагностики оценки состояния асинхронного двигателя представлены в [3].

Состояние асинхронного двигателя характеризуется большим количеством параметров состояния  $x_i$ , которые можно представить не только в цифровой форме, с различной размерностью, но и в нечётких терминах (высокий (в) – отказ двигателя, приводящий к перерыву электроснабжения; низкий (н) – отсутствуют признаки старения и износа, значения параметров соответствуют требованиям; средний (с) – появление дефектов, не приводящих к повреждению двигателя. Требуется выполнение корректирующих режимных мероприятий; ниже среднего (нс) – незначительные дефекты, которые не оказывают влияния на дальнейшую работу двигателя. Наличие повреждений регламентируются нормативно-технической документацией; выше среднего (вс) – разрушение частей двигателя. Требуется реконструкция или ремонт, дальнейшая эксплуатация невозможна) [4].

На рис. 1 представлена иерархическая структура древовидного типа для диагностики асинхронного двигателя.

В такой системе входной вектор ( $x$ ) диагностических признаков представлен в выражении (1):

$$x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}, \quad (1)$$

где  $n$  – число признаков (факторов) [5].

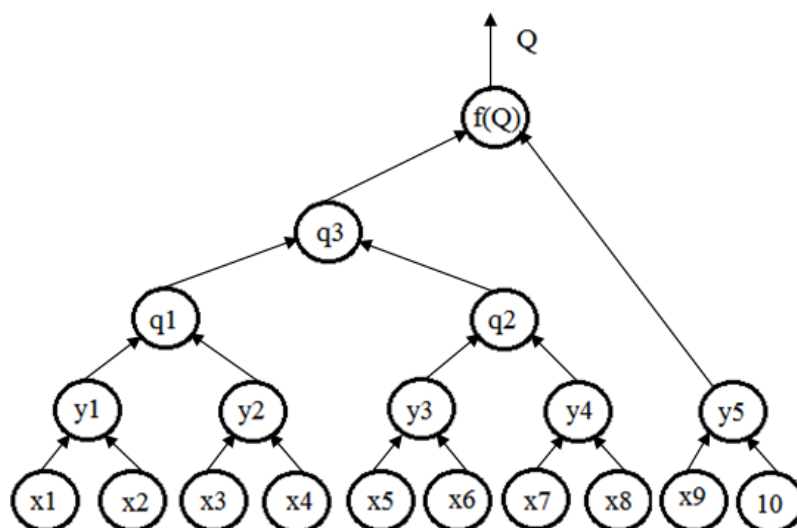


Рис. 1. Иерархическая структурная схема нечёткого логического вывода для асинхронного двигателя:  $x_1$ – $x_{10}$  – входные диагностические факторы системы;  $y, q$  – промежуточные параметры;  $Q$  – выход системы

В таблице 1 более подробно описаны диагностические параметры, приведённые на рисунке 1.

Таблица 1

Совокупность диагностических параметров 1

Обозначение	Диагностический параметр	Диапазон измерений входных величин
x1	Температура статора	От 60 °С до 150 °С
x2	Измерение КПД	От 0,8 до 1
x3	Измерение вибрационной скорости $V$ , мм/с	От 0 мм/с до 40 мм/с
x4	Измерение внешнего магнитного поля	От 0 до 0,4
x5	Измерение сопротивления изоляции обмоток статора	От 1 до 1000МОм
x6	Измерение коэффициента абсорбции изоляции обмотки статора	От 1 до 2
x7	Измерение волновых затухающих колебаний в обмотке	От 0 до 1
x8	Измерение с помощью ультразвука $G$ –модуль сдвига	От 0 до 1
x9	Сравнительный анализ спектров токов	От 0 до 0,4
x10	Оценка состояния подшипников	Плохое, хорошее, отличное
y1, y2, y3, y4, y5, q1, q2, q3	Укрупнённые влияющие факторы	
Q	Корень дерева	



Для асинхронного двигателя классификация повреждений элементов (факторов  $x$ ) имеет следующие значения:

- низкий - отсутствуют признаки старения и износа, значения параметров соответствуют требованиям;

- ниже среднего - незначительные дефекты, которые не оказывают влияния на дальнейшую работу двигателя. Наличие повреждений регламентируются нормативно-технической документацией;

- средний - появление дефектов, не приводящих к повреждению двигателя. Требуется выполнение корректирующих режимных мероприятий;

- выше среднего - разрушение частей двигателя. Требуется реконструкция или ремонт, дальнейшая эксплуатация невозможна;

- высокий – отказ двигателя, приводящий к остановке технологического процесса.

На основании таблицы 1 и классификации повреждений элементов (факторов  $x$ ) произведено обоснование необходимости учёта диагностических параметров для создания системы нечёткой логики, которое представлено ниже:

-  $x_1$  – если  $t < 80$  – уровень повреждения низкий, если  $t > 80$  – уровень повреждения ниже среднего, если  $t < 100$  – уровень повреждения средний, если  $t > 100$  – уровень повреждения выше среднего, если  $t > 120$  – уровень повреждения высокий;

-  $x_2$  – если  $\eta = 0,8$  – уровень повреждения высокий,  $\eta = 0,9$  – уровень повреждения средний,  $\eta = 1$  – уровень повреждения низкий;

-  $x_3$  – если  $V < 5$  – уровень повреждения низкий, если  $V > 5$  – уровень повреждения ниже среднего, если  $V > 10$  – уровень повреждения средний, если  $V > 20$  – уровень повреждения выше среднего, если  $V > 30$  – уровень повреждения высокий;

-  $x_4$  – если 0 – уровень повреждения низкий, если 0,1 – уровень повреждения ниже среднего, если 0,2 – уровень повреждения средний, если 0,3 – уровень повреждения выше среднего, если 0,4 – уровень повреждения высокий;

-  $x_5$  – чем выше сопротивление, тем больше остаточный ресурс изоляции;

-  $x_6$  – если  $K_{abc} < 1,25$  – уровень повреждения высокий, если  $K_{abc} < 1,6$  – уровень повреждения ниже среднего, если  $K_{abc} > 1,6$  – уровень низкий;

-  $x_7$  – если 0 – уровень повреждения высокий, 0,5 – уровень повреждения средний, 1 – уровень повреждения низкий;

-  $x_8$  – модуль сдвига – если 0 – уровень повреждения высокий, 0,5 – уровень повреждения средний, 1 – уровень повреждения низкий;

-  $x_9$  – если 0 – уровень повреждения низкий, если 0,1 – уровень повреждения ниже среднего, если 0,2 – уровень повреждения средний, если 0,3 – уровень повреждения выше среднего, если 0,4 – уровень повреждения высокий;

-  $x_{10}$  – плохое состояние – уровень повреждения высокий, хорошее – средний, отличное – низкий.

В таблице 2 представлено влияние входного параметра  $x_i$  на промежуточный результат  $y_i$ , а также влияние промежуточного результата  $y_i$  на промежуточный результат  $q_i$ .

Таблица 2

Влияние параметров на остаточный ресурс двигателя

Входной параметр $x_i$	Промежуточный результат $y_i$ от $x_i$	Промежуточный результат $q_i$ от $y_i$
низкий	высокий	высокий
ниже среднего	выше среднего	выше среднего
средний	средний	средний
выше среднего	ниже среднего	ниже среднего
высокий	низкий	низкий

Составим нечёткие правила для двух входных переменных и одной выходной, учитывая количество термов, рисунок 1, обоснование необходимости учёта диагностических параметров и таблицу 2. В таблице 3 представлены нечёткие базы знаний для переменных, которые имеют следующее количество входных термов:

- пять  $x_{(5)}$  и пять  $x_{(5)}$ ;
- пять  $x_{(5)}$  и три  $x_{(3)}$ ;
- три  $x_{(3)}$  и три  $x_{(3)}$ .

Промежуточные параметры  $y_{(5,5)}$  и  $y_{(5,3)}$  имеют пять термов, а промежуточный параметр  $y_{(3,3)}$  имеет 3 терма.

Воспользуемся программной средой MatLab Fuzzy Logic Toolbox для определения остаточного ресурса АД с помощью нечёткой логики. Воспользуемся программной средой MatLab Fuzzy Logic Toolbox для определения остаточного ресурса АД с помощью нечёткой логики.

Основным является разработка  $m$  – файла `conp.m` для управления `fis`–файлами и для работы всей системы нечёткой логики в целом (осуществляет иерархический вывод по логическому дереву). Каждая система нечёткого вывода имеет по 2 входных фактора, непосредственно влияющих на остаточный ресурс АД. Значения входных факторов изменяются в различных пределах, поэтому следует использовать дополнительный  $m$  – файл – нормализатор с диапазоном от  $-100$  до  $100$ .

Таблица 3

Нечёткая база знаний для моделирования переменных

Входной параметр $x_{(5)}$	Входной параметр $x_{(5)}$	Промежуточный результат $y_{(5,5)}$	Входной параметр $x_{(5)}$	Входной параметр $x_{(3)}$	Промежуточный результат $y_{(5,3)}$
1	2	3	4	5	6
н	н	в	н	н	в
нс	н	вс	нс	н	вс

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6
с	н	с	с	н	с
вс	н	нс	вс	н	нс
в	н	н	в	н	н
н	нс	вс	н	с	с
нс	нс	вс	нс	с	с
с	нс	с	с	с	с
вс	нс	нс	вс	с	нс
в	нс	н	в	с	н
н	с	с	н	в	н
нс	с	с	нс	в	н
с	с	с	с	в	н
вс	с	нс	вс	в	н
в	с	н	в	в	н
н	вс	нс	Входной параметр $X_{(3)}$	Входной параметр $X_{(3)}$	Промежуточный результат $Y_{(3,3)}$
нс	вс	нс	н	н	в
с	вс	нс	с	н	с
вс	вс	нс	в	н	в
в	вс	н	н	с	с
н	в	н	с	с	с
нс	в	н	в	с	н
с	в	н	н	в	н
вс	в	н	с	в	н
в	в	н	в	в	н
Логическая операция «and»					

В связи с тем, что исходная информация распределена, как правило, по случайному закону, для лингвистической оценки каждого фактора нами использованы 3 – 5 термов модификации стандартной функции распределения  $gaussmf - qgaussmf$ , которая позволяет использовать как чёткие, так и нечёткие входные величины. Для этого в каталоге создаваемой системы нечёткой логики должны присутствовать файлы  $qgaussmf$ ,  $evalfis_vv$  и  $qual_inp_gauss$ .

Система определения остаточного ресурса включает в себя фаззификацию данных, их обратное преобразование и правила.

Для получения результатов нечёткого вывода по заданным факторам используются нечёткие базы знаний типа Mamdani. Для запуска смоделированной системы нечёткой логики в командной строке Matlab вводят, например, следующие данные:  $conc(-10, 9, 57, 98, -100, 0, 12, 87, 54, -23)$ . Ввод строки завершают командой «Enter». При этом в командном окне Matlab получают значения всех укрупненных влияющих факторов и максимальный результат вычисления остаточного ресурса  $Q$  (в часах) АД с помощью системы нечёткой логики.

Рассмотрим входные параметры  $x_1-x_{10}$  в соответствии с обоснованием необходимости учёта диагностических параметров, а именно  $x_1=130$ ,  $x_2=0,95$ ,  $x_3=5$ ,  $x_4=0,1$ ,  $x_5=780$ ,  $x_6=1,85$ ,  $x_7=0,7$ ,  $x_8=0,8$ ,  $x_9=0,15$ ,  $x_{10}=0,87$ , что соответствует при переводе в диапазон от  $-100$  до  $100$  с помощью нормализатора следующим значениям  $(-55.5556, 50, -75, -50, 55.9560, 70, 40, 60, -25, 74)$ .

Для перевода остаточного ресурса  $Q$  асинхронного двигателя из диапазона  $[-100; 100]$  в диапазон от  $0$  до  $20000$  часов используем формулу (2):

$$Q' = \frac{Q - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \cdot 20000 = 5051,51, \quad (2)$$

где  $Q'$  – остаточный ресурс асинхронного двигателя;

$X_{\min}$  – минимальное число из диапазона  $[-100; 100]$ ;

$X_{\max}$  – максимальное число из диапазона  $[-100; 100]$ .

Таблица 4

Результаты работы системы нечёткой логики

Диагностический параметр	Значение параметра, взятого для примера	Значение параметра, приведённого в диапазоне от $-100$ до $100$ с помощью нормализатора	Остаточный ресурс асинхронного двигателя в диапазоне от $-100$ до $100$	Остаточный ресурс асинхронного двигателя в часах
Температура статора	70	-77,7778	-47,708	5229,2
Измерение КПД	0,89	-10		
Измерение вибрационной скорости $V$ , мм/с	35	75		
Измерение внешнего магнитного поля	0,25	25		
Измерение сопротивления изоляции обмоток статора	850	69,9700		
Измерение коэффициента абсорбции изоляции обмотки статора	1,4	-20		
Измерение волновых затухающих колебаний в обмотке	0,37	-26		
Измерение с помощью ультразвука $G$ –модуль сдвига	0,8	60		
Сравнительный анализ спектров токов	0,1	-50		
Оценка состояния подшипников	0,6	20		

Сравнивая в работе различное количество методов диагностики для выяснения остаточного ресурса асинхронного двигателя, можно сделать вывод, что нецелесообразно применять десять разных методов диагностики, т.к. эксперименты показали, что трёх методов достаточно для полного выявления остаточного ресурса.

#### Список литературы

1. Хомутов О.И., Левачёв А.В., Грибанов А.А. Оценка надёжности электродвигателей в условиях эксплуатации // Современная техника и технологии: труды седьмой международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. В 2 т. Т.1. – Томск : Изд-во Томского политехн. ун-та, 2001. – С. 43–45.

2. Хомутов О.И., Грибанов А.А., Смирнов А.А. Проблема количественной оценки степени влияния воздействующих факторов на проведение диагностики электродвигателей по спектральному составу фазных токов в условиях сельского хозяйства // Горизонты образования: 5-я Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь – 2008» (НиМ – 2008) (г. Барнаул, Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова, апрель, 2008 г.). Секция «Электроэнергетика». Подсекция «Электроснабжение промышленных предприятий». – 2008. – Выпуск 10. [ЭР]([http://edu.secna.ru/media/f/epp\\_.pdf](http://edu.secna.ru/media/f/epp_.pdf))

3. Попова М.С., Грибанов А.А. Методика определения необходимого объёма выполнения диагностики асинхронных двигателей для прогнозирования остаточного ресурса с использованием нечёткой логики // Сборник трудов 12-й Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь – 2015». – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2015. – С. 53-56.

4. Суханкин Г.В. Система нечеткой логики для определения остаточного ресурса асинхронного двигателя в условиях агропромышленного комплекса // Ползуновский вестник. – 2011. – № 2/2. – С. 187-194.

5. Алексеев А.Н. Обработка нечёткой информации в системах принятия решений. – М.: Радио и связь, 1989. – 304 с.

## **СПОСОБ ЗАРЯДКИ ЛИТИЙ-ИОННОГО АККУМУЛЯТОРА, РАЗРЯЖЕННОГО НИЖЕ ДОПУСТИМОГО УРОВНЯ**

А.Г. Семенов

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого*

**Аннотация.** Тематически статья относится к области электротехники. Суть проведенных автором экспериментальных исследований (с рекомендациями, вытекающими из полученных положительных результатов) – восстановление литий-ионных (Li-Ion) электрических аккумуляторов, разряженных ниже допустимого уровня. Согласно способу, аккумулятор подключают к зарядному устройству и включают его, обеспечив тем самым подачу на аккумулятор питания от внешнего источника. В случаях преждевременного самопроизвольного прекращения процесса зарядки (при переразряженном состоянии и в связи с ним) отключают и снова включают зарядное устройство. Эти действия совершают каждый раз, когда зарядка самопроизвольно прекращается, до выхода зарядки на штатный

режим. Последний характеризуется не обрывающимся током зарядки, до штатного автоматического отключения внешнего питания или принудительного окончания зарядки.

**Ключевые слова.** литий-ионный аккумулятор, разрядка-зарядка аккумулятора, допустимый уровень разрядки, напряжение и ток зарядки, импульсный режим зарядки аккумулятора, время зарядки.

## **CHARGING METHOD FOR LITHIUM ION BATTERY DISCHARGED BELOW PERMITTED LEVEL**

A.G. Semenov

*Peter Great St.Petersburg Polytechnic University*

**The summary.** The Thematic article pertains to area electrical engineers. The Essence called on by author of the experimental studies (with recommendation, resulting from got positive result) - a reconstruction lithium-ion (Li-Ion) electric battery, discharged below possible level. According to way, the battery connect to charger and include him(it), having provided hereunder presenting on battery of the power supply from external source. In events of the premature spontaneous cessation of the process of the charging (under excessively discharged condition and in connection with him), unplug and once again include the charger. These actions make every time, when charging spontaneous stops, before leaving the charging on staff mode. The Last is characterized not tearing off current of the charging, before staff automatic unhooking the external power supply or forced completion of the charging.

**Key words.** lithium ion battery, discharge-charging the battery, possible level of the discharge, voltage and current of the charging, pulsed mode of the charging the battery, time of the charging.

### **Область науки и техники**

Статья относится к области электротехники, носит экспериментальный характер и направлена на реализацию практических мер по повышению энергоэффективности возобновляемых источников питания (электрических литий-ионных аккумуляторов), конкретно – способам и устройствам для зарядки литий-ионных электрических аккумуляторов, разрядившихся ниже допустимого уровня, от сети переменного или постоянного тока через преобразователи.

### **Проблематика и обзор аналогов**

Зарядка и разрядка литий-ионных (Li-Ion) аккумуляторов отличаются множеством особенностей и потенциальными возможностями совершенствования.

Зарядку, на сегодняшний день, осуществляют, по общепринятой методике, как правило, в два непрерывных этапа (две фазы зарядки): сначала при постоянном токе, а при достижении на аккумуляторе номинального напряжения зарядное устройство автоматически переходит в режим питания аккумулятора постоянным напряжением. За 1-1,5 ч исправная батарея заряжается полностью. Отключение внешнего питания происходит в зарядном устройстве/в батарее также автоматически. Разрядку же осуществляют, по инструкции, не до нулевого значения напряжения, а до определенного «критического» значения, например 2,2 В, ниже которого последующая зарядка

становится проблематичной. Не исключен выход такой переразряженной («усохшей») батареи из строя.

В литературных и патентных источниках ни автором, ни экспертизой Роспатента не обнаружены какие-либо сведения о способах зарядки (теперь уже правильнее говорить – восстановления или образнее – «реанимации») переразряженных Li-Ion аккумуляторов.

Известен, правда, способ восстановления и зарядки не Li-Ion, а кислотных и щелочных свинцовых «автомобильных» аккумуляторов, а также кадмий-никелевых (с соответствующими зарядными устройствами), получивший название «импульсная зарядка» [1, 2].

Однако, во-первых, эффективность применения такого способа выявлена и рекомендована для аккумуляторов типов, не включающих в себя Li-Ion, обладающие другими, специфическими особенностями. Иными словами, применимость известного импульсного способа восстановления и зарядки аккумуляторов аккумулятора типа Li-Ion не была установлена (вопрос оставался открытым).

Во-вторых, в известном способе импульсной зарядки импульсы подаются принудительно, с постоянной скважностью, безотносительно к «поведению» (текущему состоянию) самого аккумулятора. Смысл критического характера последнего замечания станет понятен из последующего изложения материала данной заявки.

В-третьих, длительность каждого импульса составляет всего микросекунды.

Далее, для постоянного поддержания запасенной в аккумуляторе электроэнергии и во избежание глубокой его разрядки известно, например, применение способа эксплуатации аккумуляторной батареи гибридного автомобиля/электромобиля («Способ зарядки Li-Ion аккумуляторного элемента»), который тоже можно назвать «импульсной зарядкой» [3].

Способ заключается в том, что определяют, снизилась ли степень аккумулялирования Li-Ion аккумуляторного элемента до первого заданного значения. Определяют, находится ли гибридное транспортное средство в состоянии останова. Осуществляют зарядку Li-Ion аккумуляторного элемента до второго заданного значения при остановке движения гибридного транспортного средства. На этапе зарядки период разделяется на два или более отдельных периодов зарядки и периодов без зарядки. Зарядка осуществляется в отдельный период зарядки. Приостановку зарядки или разрядку осуществляют в период без зарядки. Длительность каждого из отдельных периодов зарядки составляет не менее чем 40 секунд. На этот раз скважность переменна, но по-прежнему никак не привязана к каким-либо самопроизвольным отказам аккумулятора заряжаться, определяется алгоритмом цикла движения автомобиля на местности (переменная скважность «разрядка-зарядка» аккумуляторной батареи соответствует переменной скважности «движение-стоянка автомобиля»).

Описанная «импульсная зарядка» осуществляется посредством устройства управления зарядкой, на второй фазе – зарядки батареи при постоянном напряжении, причем с неоднократным автоматическим принудительным прерыванием зарядного тока для перехода в режим рабочей разрядки и автоматическим принудительным возобновлением зарядки на кратковременных стоянках автомобиля, когда в рабочей разрядке аккумулятора нет необходимости. Технический результат заключается в предотвращении снижения емкости аккумулятора. Вот почему скважность зарядки в общем эксплуатационном периоде определяется «скважностью» стоянок автомобиля, например на перекрестках и в пробках. Такой процесс не затрагивает область начальной зарядки полностью разряженного аккумулятора.

Нас же в данном случае интересует поведение аккумулятора в области «критической» и «закритической» его разрядки. И не всякого типа аккумулятора, а Li-Ion. Ибо универсальных «рецептов» здесь нет и быть не может. «Потому как не может быть никогда».

В многочисленных инструкциях и рекомендациях по эксплуатации Li-Ion аккумуляторов пользователей предупреждают:

«Глубокий разряд станет для аккумулятора стрессом и может лишь сократить срок службы. Если же защитное отключение произошло, ни в коем случае не оставляйте батарею разряженной надолго – стоит поскорее зарядить ее хотя бы до 30-40% емкости. Литий-ионные и литий-полимерные батареи бывают различных размеров и формы, но правила хорошего тона в обращении с ними одинаковы для всех разновидностей. Не оставляйте батарею разряженной надолго. Через несколько недель вследствие саморазряда напряжение севшей батареи упадет ниже критического, до 2,2-2,9В. При этом схема защиты переведет батарею в «спящий» режим и отключится. После чего штатное зарядное устройство, скорее всего, не сможет ее вывести из этого состояния» [4].

Наиболее близким к авторскому предложению, как главному содержанию данной статьи, по назначению и совокупности конструктивных признаков (прототипом) является способ зарядки полностью разряженного Li-Ion аккумулятора («Система и способ индуктивной зарядки аккумулятора»), при котором аккумулятор подключают к зарядному устройству и включают последнее, подав тем самым на аккумулятор преобразованное в постоянный ток питание от внешнего источника электроэнергии [5, абз. 5, 6, фиг. 1, то есть в части описания обычной, неиндуктивной зарядки].

В нем, точнее – в обзорной его части, включая график на фиг. 1 (см. [5]), разряженный (до предельно допустимого остаточного значения примерно 2,2 В) аккумулятор сначала заряжают при постоянном уровне тока в диапазоне от 0,1С до 1С А, где С – емкость аккумулятора в ампер-часах. До тех пор, пока на аккумуляторе не установится требуемое напряжение, равное примерно 4,2 В. В этот момент зарядное устройство для аккумулятора переключается в режим постоянного напряжения, обеспечивая достаточную мощность для поддержания аккумулятора при данном окончательном напряжении и при этом



обеспечивая дополнительную зарядку аккумулятора. График зарядки на фиг. 1 в прототипе [5] отражает штатный двухступенчатый процесс зарядки.

Однако в нештатной ситуации – при начальном переразряженном состоянии аккумулятора, характеризуемом его остаточным напряжением ниже предельно допустимого уровня (упомянутых 2,2 В), и именно по этой причине, уже на первой минуте зарядки (мигание зеленого светодиодного индикатора на зарядном устройстве) происходит, как правило, преждевременное самопроизвольное прекращение процесса зарядки (переход зеленого индикатора из импульсного режима свечения в режим постоянного свечения) при сохранении напряжения питания зарядного устройства (постоянное свечение красного светодиодного индикатора).

Ожидать столь же самопроизвольного возобновления зарядного тока (возобновления импульсного свечения зеленого индикатора) бесперспективно, наивно и, в общем-то, небезопасно.

Чем в большей степени аккумулятор был изначально переразряжен, тем ниже вероятность «запуска» зарядного тока в штатном режиме функционирования зарядного устройства, что обычно побуждает пользователей, особенно на «кухонно-бытовом» уровне, смириться с очередным материально-финансовым убытком и выбросить аккумулятор в помойку (простите, «утилизировать в установленном порядке»!) как «усохший» (возможно, «обросший» дендритами лития).

При этом не используется технологический потенциал, находящийся пока за границей человеческих знаний и/или информационного доступа.

В частности, автор испытывал дискомфорт в связи с «отказами» зарядного устройства заряжать аккумуляторы типа ЕЕМВ LIR123А (3,7 V, 700 mAh) после скрытого их чрезмерного разряда в составе оружия самообороны «ПБ-4-1МЛ» («Оса») по причине самопроизвольного включения питания лазерного целеуказателя. После примерно 30-секундного протекания через аккумулятор зарядный ток самопроизвольно исчезал.

Таким образом, известный способ-прототип еще недостаточно совершенен, что выражается в его ограниченных возможностях зарядки Li-Ion аккумуляторов в состоянии запредельного значения остаточного (априорного, начального при зарядке) напряжения.

Это, в свою очередь, обуславливает не только техническое и экономическое несовершенство технологии зарядки (способа зарядки и зарядного устройства), но и недостаточно высокую надежность тех устройств и систем, функционирование которых зависит от аккумулятора как автономного источника их питания.

Эффективность же применения, как «восстановительной процедуры», импульсного, да еще к тому же высокочастотного (микросекундного) способа восстановления и зарядки с постоянной скважностью (с успехом применяемого для других типов аккумуляторов), не установлена.

Хотя это – тоже довольно близкий аналог заявляемого способа.

### **Задача исследования**

Задачей, поставленной в связи с указанной проблемой перед автором, явилось повышение технико-эксплуатационных (технологических) и экономических характеристик способа зарядки Li-Ion аккумуляторов за счет обеспечения возможности восстановления переразряженных аккумуляторов, достижения полной их зарядки при отказе заряжаться в штатном режиме работы известных специализированных зарядных устройств.

### **Суть авторского предложения по решению поставленной задачи**

Технический результат в соответствии с поставленной задачей был достигнут эмпирическим путем.

В «успешном» и рекомендуемом автором способе зарядки полностью разряженного Li-Ion аккумулятора таковой, как и в способе-прототипе, подключают к зарядному устройству и включают последнее, подав тем самым на аккумулятор преобразованное в постоянный ток питание от внешнего источника электроэнергии.

Однако далее, при преждевременном самопроизвольном прекращении процесса зарядки, по показанию индикатора тока зарядки, в случае и по причине начального переразряженного состояния аккумулятора, характеризуемого его остаточным напряжением ниже предельно допустимого уровня, отключают и снова включают внешнее его питание, повторяя эти действия до выхода процесса зарядки на штатный режим, характеризующийся отсутствием указанного преждевременного самопроизвольного прерывания тока зарядки до момента штатного автоматического отключения внешнего питания при зарядке до заданного значения или принудительного окончания зарядки.

### **Описание авторского технического решения**

Более подробно сущность способа раскрывается в приведенных ниже двух примерах реализации и иллюстрируется рис. 1-3.

Для осуществления авторского способа в первом, простейшем варианте вообще не требуется никакого нового устройства, кроме штатного (пригодного для зарядки аккумулятора известным способом) зарядного устройства.

Автор в своих эмпирических исследованиях (по сути, при реальном практическом использовании как пользователь), приведших к заявляемому техническому решению, применял уже упомянутые выше аккумуляторы массовой серии *LIR123A* с серийным зарядным устройством *The power supply specialist ROBITON Apm.Smart Charger Universa/* (выходное напряжение 7,4 В).

Опишем предлагаемый способ зарядки в «канонической» форме.

Аккумулятор **1** вставляют (см. рис. 2) в специально предусмотренное для него ложе (враспор между пружинными электрическими контактами «+» и «-») зарядного устройства **2** и включают последнее, вставив его вилку **3** в сетевую розетку **4** (220-230 В, 50/60 Гц).

Убеждаются в наличии внешнего питания по загоранию красного светодиода 5.

Убеждаются также в появлении и протекании в аккумуляторе зарядного тока  $I$  (см. рис. 1, 2) по загоранию и свечению в мигающем режиме зеленого светодиода 6 (на аккумулятор 1 подается преобразованное в устройстве 2 в постоянный ток  $I$  питание от внешнего, сетевого источника электроэнергии).

Продолжают постоянно или периодически наблюдать за поведением светодиода 6 как индикатора зарядного тока.

При преждевременном (в зависимости от степени переразрядки (насколько остаточное напряжение аккумулятора меньше паспортного «критического» значения  $U_{кр.}$ , обычно в пределах первых 0,5 мин) самопроизвольном прекращении процесса зарядки, о чем будет свидетельствовать явно преждевременный переход светодиода 6 из мигающего режима в немигающий, в случае и по причине начального переразряженного состояния аккумулятора 1 (характеризуемого его остаточным напряжением ниже предельно допустимого уровня:  $U_0 < U_{кр.}$ ) извлекают вилку 3 из розетки 4 (или отсоединяют местный разъем сетевого кабеля зарядного устройства 2) и тут же снова восстанавливают их соединение.

Тем самым отключают и тут же снова включают внешнее питание (временно прерывают его). При этом, естественно, оба светодиода – 5 и 6 – сперва тухнут, а затем снова загораются, причем зеленый 6 начинает снова работать в мигающем режиме, что свидетельствует о продолжении самопроизвольно прервавшегося процесса зарядки, по сути текущего отказа в процессе зарядки (нештатный режим).

Убедившись в наличии такого «шага» восстановления свойства аккумулятора заряжаться («пациент скорее жив, чем мертв»), продолжают наблюдение за поведением светодиода 6.

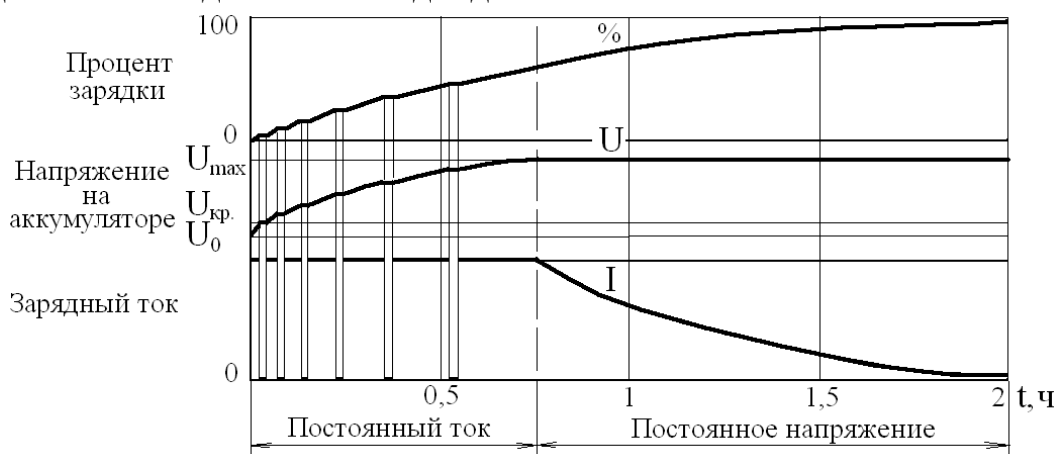


Рис. 1. Совмещенные графики зарядки в штатном режиме:

А – как в способе-прототипе; Б – при авторском способе;

$t$  – время;  $U$  – напряжение на аккумуляторе;  $U_{кр.}$  – «критическое» остаточное напряжение при разрядке;  $U_0$  – фактическое остаточное напряжение в начале зарядки;  $U_{max}$  – максимальное (номинальное) напряжение;  $I$  – зарядный ток

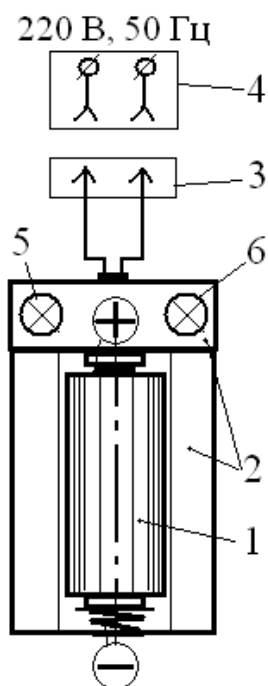


Рис. 2. Простейшая схема реализации предлагаемого способа

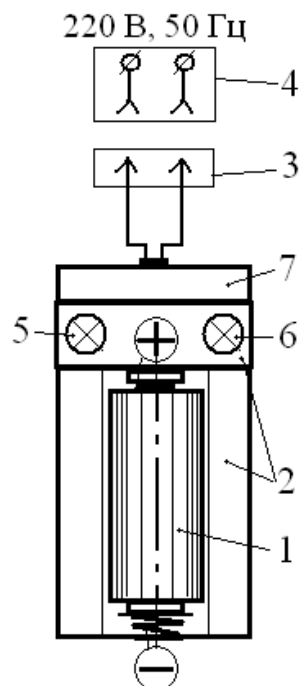


Рис. 3. Пример блок-схемы модернизированного зарядного устройства

При втором (из авторских экспериментальных исследований, порядка еще 1 минуты зарядки), третьем и, возможно, последующих (пока в непредсказуемом количестве), самопроизвольных отключениях производят действия, идентичные описанным, до выхода процесса зарядки на «стационарный» режим, когда зеленый светодиод будет мигать вплоть до полной зарядки аккумулятора (точнее – до заданного ее значения или до принудительного окончания зарядки по каким-либо организационным причинам).

Завершается зарядка автоматически (срабатывает автоматика в зарядном устройстве 2 и/или аккумуляторе 1), что проявляется в штатном переходе свечения светодиода 6 в немигающий режим, теперь уже не имитируя полную заряженность изначально, а свидетельствуя о ней.

На графике зарядки (см. рис. 1) формируется, таким образом, прерывистая, с переменной (непредсказуемо возрастающей вплоть до единицы) скважностью, кривая (функция  $f$ ) зарядки  $U = f(t)$ .

Указанная скважность зависит от степени переразряда аккумулятора  $U_0/U_{кр}$ , моментов времени самопроизвольного обнуления зарядного тока  $I$ , моментов обнаружения обнуления и производства выключения-включения (ручной коммутации). Именно поэтому она и названа здесь «непредсказуемой», т.е. априорно неизвестной. Равно как непредсказуемо и число импульсов до выхода на штатный режим зарядки (а значит – восстановления работоспособности).

Для того, чтобы отличить указанную имитацию зарядки при переразряженном аккумуляторе от попытки заряжать таким способом

полностью или почти полностью заряженный аккумулятор (по ошибочной априорной его оценке как переразрядившегося), следует, разумеется, делать более корректную оценку. Либо измерив электрические параметры прибором, либо проверкой функционирования устройства от этого аккумулятора (автор делал это по яркости свечения лазерного целеуказателя, точнее – отсутствия свечения вообще или быстротекущего его угасания до нуля).

Для зарядки аккумулятора 1 заявляемым способом во втором варианте его реализации (с автоматизацией) требуется весьма несложная доработка электрической схемы зарядного устройства 2. Пример такого усовершенствования (модернизации) приведен на рис. 3.

Зарядное устройство 2 дополнительно содержит автоматическое коммутирующее устройство 7 (показано вынесенным за исходный объем базового зарядного устройства условно), например на основе электрических реле или их электронных аналогов.

При появлении зарядного тока  $I$  в аккумуляторе 1, устройство 7 подготавливает цепь выключения-включения (прерывания) питания аккумулятора 1, а при самопроизвольном обнулении зарядного тока осуществляет указанное выключение-включение («коммутация», «отпирание-запирание»), при этом само устройство 7 возвращается в исходное состояние до следующего вероятного цикла.

Конкретное исполнение такого устройства (на уровне электрической/электронной схемы) доступно любому инженеру-электрику и здесь не приводится.

Описанные примеры осуществления авторского способа не исключают других возможных его вариантов в рамках совокупности существенных признаков (см. формулу изобретения в патенте [6], полученном на имя автора, причем без изменений первичных материалов заявки в Роспатент).

По данной теме см. также более раннюю авторскую апробацию [7].

### **Выводы**

Итак, использование изобретения позволяет восстанавливать переразряженные (разряженные ниже допустимого уровня) литий-ионные аккумуляторы (а значит продлевать фактический срок их службы), достигать полной их зарядки, причем сразу, в процессе зарядки, непосредственно в зарядном устройстве.

Это имеет выраженную энергетическую и экономическую эффективность, повышение надежности функционирования всего комплекса, в состав которого входит данный аккумулятор.

### **Список литературы**

1. Импульсная система зарядки батарей [ЭР]// [https://docs.google.com/document/pub?id=1kYF96xDpz7tMH17HA1w8zxZwh2\\_L5yAkMtkAllzF4o](https://docs.google.com/document/pub?id=1kYF96xDpz7tMH17HA1w8zxZwh2_L5yAkMtkAllzF4o).
2. Зарядка автомобильного аккумулятора (как заряжать аккумулятор автомобиля) [ЭР]// <http://www.avto3.com/Battery/battery.html>. Раздел 2.5 «Зарядка аккумулятора импульсным током», рис.1.1.

3. Патент № 2471276 (РФ). – МПК H02J 7/04, H01M 10/44. – Оpubл. 27.12.2012.

4. Как продлить жизнь литий-ионных аккумуляторов [ЭР]// <http://aver.ru/repair/kak-prodlit-zhizn-litij-ionnyh-akkumulyatorov/>.

5. Патент № 2469452 (РФ). – МПК H02J 7/02. – Оpubл. 10.12.2012.

6. Патент № 2534029 (РФ). – МПК H02J 7/00. Способ зарядки литий-ионного аккумулятора, разряженного ниже допустимого уровня / А.Г. Семенов. – Оpubл. 27.11.2014. – Бюл. № 33.

7. Семенов, А.Г. Интеллектуальный экстрим: Сборник изобретений. В 2 томах. – Т.2 / А.Г. Семенов. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. – 2015. – С. 93-103.

## СТРУКТУРИРОВАННАЯ ВОДА В ТЕХНОЛОГИЯХ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

<sup>1</sup>Р.А. Серебряков, <sup>2</sup>А.А. Стехин, <sup>3</sup>Г.В. Яковлева

*1-Федеральное агентство научных организаций. Федеральное государственное научное учреждение «Всероссийский институт электрификации сельского хозяйства», г. Москва,*

*2,3-Научно-исследовательский институт экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.И. Сысина, г. Москва*

В статье представлена информация о свойствах структурированной воды, технологиях её получения и результатах применения структурированной воды в технологиях сельского хозяйства.

**Ключевые слова:** Структурированная вода, структура воды, физико-химические свойства воды, предпосевная обработка семян, продуктивность

## STRUCTURED WATER IN AGRICULTURE TECHNOLOGIES

R.A.Serebryakov<sup>1</sup>, A.A.Stekchin<sup>2</sup>, G.V.Yakovleva<sup>3</sup>

*1- FANO FGBNU VIESH, 2, 3-SIIEP and HES*

The article provides information about structured water properties, its obtaining and results of structured water application in agriculture technologies.

**Key-words:** structured water, water structure, physical and chemical properties, presowing seed treatment, productivity

Ученым давно были известны 66 необъяснимых свойств воды, отличающих её от большинства других химических веществ, встречающихся в жидком состоянии. Так, в отличие от всех известных жидкостей, плотность которых монотонно увеличивается с понижением температуры, плотность воды максимальна при 4 градусах Цельсия, а при дальнейшем понижении температуры вновь начинает убывать.

Это уникальное свойство воды делает возможной жизнь в реках и озерах – в противном случае эти относительно мелкие водоёмы неизбежно промерзли бы до дна в зимний период и были бы лишены всех живых организмов.

Аномально высокое поверхностное натяжение жидкой воды не только позволяет некоторым насекомым спокойно ходить по её поверхности, но и благодаря капиллярным силам обеспечивает поступление питательных веществ к кронам гигантских деревьев, достигающих нескольких десятков метров в высоту.

Объяснить эти свойства на основании лишь строения и химических параметров молекул воды ученые до последнего времени не могли. Секрет крылся в структуре, в которую самоорганизуются молекулы жидкой воды – он долгое время оставался неразгаданным. Многолетние работы ученых [1, 2, 3, 4] прояснили, что существовавшие до сих пор представления о молекулярной структуре воды были неверными – оказалось, что её молекулы формируют не одну структуру, а одновременно два типа структур, существующих в жидкости вне зависимости от температуры. Один тип структуры формируется в виде сгустков примерно по 100 молекул, структура которых напоминает структуру льда – это и есть **структурированная вода**. Второй тип структуры, окружающей сгустки, гораздо менее упорядочен.

Структурированная вода:

- Это вода, имеющая структуру, схожую со структурой воды в плазме крови, лимфы и внутриклеточной жидкости. На употребление именно такой воды генетически настроен наш организм.

Эта вода, наиболее близкая к воде человеческого организма, обладает свойством антиокисления и потому имеет способность выводить свободные радикалы; улучшает действие антител; улучшает способность клеток к самозаживлению; обогащает клетки организма кислородом; нейтрализует рН-среду человеческого тела; повышает проницаемость биологических мембран тканевых клеток, что снижает количество холестерина в крови и печени, регулирует артериальное давление, повышает обмен веществ.

Физико-химические свойства структурированной воды:

- Вода должна быть абсолютно чистой. Она не должна содержать хлора и его соединений, солей тяжелых металлов, нитратов, пестицидов, бактерий, грибков, органических веществ и т.д.

- Вода должна быть «жидкой», легкоусвояемой, т.е. степень поверхностного натяжения между молекулами воды должна быть около 43 дин/см (Водопроводная вода имеет степень поверхностного натяжения около 73 дин/см);

- Вода должна быть слабощелочная с  $pH > 7$ . Это позволяет лучше сохранять кислотно-щелочное равновесие жидкостей организма;

- ОВП (окислительно-восстановительный потенциал) воды должен соответствовать ОВП межклеточной жидкости, т.е. быть в пределах от -100 до -200 милливольт (мВ), тогда организму не надо тратить дополнительную энергию на выравнивание ОВП (ОВП водопроводной воды от +300 до +400 мВ).

Получение структурированной воды:

•Во-первых, в природе известны места, где вода обладает уникальными свойствами, близкими к внутриклеточной воде. Это – родниковая вода, особенно в горных местностях, где она образуется в результате таяния ледников;

•Во-вторых, потрясающими свойствами обладает питьевая вода коралловых аттолов, состоящих из белых кораллов типа Санго (острова Окинава и Токуносима). Порошок коралла при смешивании с водой изменяет её физико-химические свойства и обеспечивает воде параметры рН и ОВП, близкие к параметрам внутриклеточной воды;

•В-третьих, в последние годы появились технические методы и устройства для получения структурированной воды: электронные, электромагнитные, механические, технологии вихревой кавитационной энергетики и т.д., которые из указанных технологий (например, вихревая гидрокавитационная установка) позволяют получать структурированную воду сразу из неочищенной воды (например, из водопроводной воды), попутно очищая её от твердых частиц, химических соединений и биологических составляющих. На этих установках (рис.1, 2) можно получать структурированную воду с требуемыми (заданными) параметрами воды (рН, ОВП, степень поверхностного натяжения и т.д.).



Рис. 1. Вихревая гидрокавитационная установка



Рис. 2. Переносная роторно-пульсационная установка

#### Применение структурированной воды в сельском хозяйстве.

Одним из перспективных направлений повышения урожайности и качества сельскохозяйственных культур является предпосевная обработка семенного материала зерновых и овощных. В течение нескольких лет целым рядом сельскохозяйственных организаций были проведены эксперименты по использованию технологии предпосевной активации семенного материала структурированной водой. Результаты свидетельствуют о более высокой продуктивности культур (таблица 1) и их качественными показателями, повышении устойчивости к неблагоприятным температурно-климатическим и агрохимическим условиям (засухе, пониженным температурам, ветровой нагрузке, обеднённым почвам и т.д.), устойчивости к заболеваниям, а также микробиологическому и грибковому поражению.



Таблица 1

Сельскохозяйственная культура	Регион, тип почвы	Продуктивность (относительно контроля)	Вид предпосевной обработки семян
Ячмень	Подмосковье, подзолистые почвы	117...125%	Структурированная вода
Рапс	Подмосковье, подзолистые почвы	111...115%	Структурированная вода
Пшеница (сорт «Элита»), кукуруза, сахарная свёкла	Армения, степные почвы высокогорья	115...130%	Структурированная вода

В ряде хозяйств на опытных делянках продуктивность по некоторым культурам увеличивалась в несколько раз.

Например, на рис. 3 и 4 представлено состояние делянок с сахарной свеклой осенью перед уборкой урожая, где на одной из делянок семена перед посадкой замачивались обычной водой (рис. 3), а на другой (рис. 4) - структурированной водой. Сахарная свёкла, семена которой замачивались структурированной водой, в сложных условиях высокогорья Армении (Ширакская область), набирала вес до 20 кг, а корнеплоды весом 10 кг составляли большую часть урожая (рис. 5, 6, 7), высота стеблей кукурузы достигала 3 м, початки большие, оперение пышное. Подсолнухи достигали 30 см в диаметре, а их листья, также как и листья кукурузы, были пышными и сочными (рис. 8). На рис. 9 и 11 показан пример роста образцов семян озимой пшеницы, обработанных обычной водой, а на рис. 10 и 12 – структурированной водой (Татарстан, 2004 г.).

Опытный высев овощных культур, прошедших ту же предпосевную обработку, в условиях личного хозяйства (огурцы, морковь, свекла) на Урале (г. Екатеринбург) дает в 2...4 раза более высокую продуктивность (таблица 2). При этом семена всходят значительно быстрее, чем в контроле (замачивание в необработанной воде), на 2 недели раньше созревают и обладают более высокой пищевой ценностью, содержат меньше химических примесей.

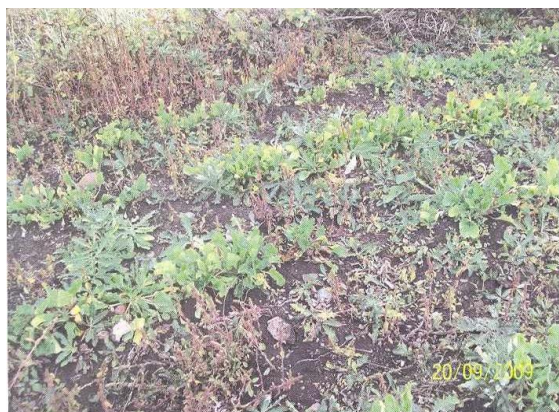


Рис. 3



Рис. 4



Рис. 5



Рис. 6



Рис. 7. Сахарная свекла, выращенная после обработки семян структурированной водой (рядом мелкие клубни с делянки, где семена обрабатывались обычной водой)



Рис. 8. Подсолнух, кукуруза





Рис. 9



Рис. 10



Рис. 11



Рис. 12

Таблица 2

Растение	Опытный участок	Контрольный участок
Огурцы	Через неделю полива приобрёл тёмно-зелёный цвет, активизировался рост. За период с 25.07.98 по 5.09.98 собрано 48 шт. прекрасных огурцов длиной 12-15 см	Выросло 3 огурца примерно тех же размеров, что и на опытном участке
Морковь	Собрано 8,6 кг	Собрано 7,8 кг
Свёкла	С участка схемы № 1 собрано 10,2 кг С участка схемы № 2 собрано 12,8 кг	С участка схемы № 1 собрано 9 кг С участка схемы № 2 собрано 5,6 кг
Гладиолусы	Соцветия стали более крупными, окрас более сочный	
Клубника	Через неделю полива листья приобрели тёмнозелёный цвет, появились новые листочки	
Яблоня, под которой росли огурцы опытного участка	С северной стороны (со стороны высаженных огурцов) яблоки налились, полностью покраснели. Их величина была почти на 10 мм больше в диаметре яблок с южной стороны дерева. Яблоки с южной стороны имели красный цвет только с одной стороны	

Таким образом, структурированная вода, в процессе её получения, не только очищается, но и сохраняет естественные свойства воды, которые обуславливают её каталитическую и биокаталитическую активность. Это приводит к усилению коагуляционных свойств воды по отношению к углеводородным загрязнителям, активируются естественные процессы самоокисления вредных химических соединений и их осаждение в виде гидрозолей, подавляется активность патогенной микрофлоры. Как результат, при обработке структурированной водой различных видов растений происходит:

- значительное ускорение роста растения,
- улучшение химического состава плодов (содержание нитратов уменьшается ~ в 2 раза),
- увеличение содержание подвижных питательных веществ в грунте,
- повышение продуктивности растений на 20-33%.

Исследования с поением структурированной водой птиц (куры), проведенные в ОГУП «Птицефабрика Среднеуральская», также подтверждают высокую биологическую активность структурированной воды и её существенное влияние на становление и развитие функциональных систем организма птицы (таблица 3). Отмечается тенденция уменьшения падежа птиц на опытной батарее по сравнению с контрольной и увеличение продуктивности птицы. Использование структурированной воды без применения различных витаминов, антибиотиков, стимуляторов роста и т.п. дает возможность выращивания бройлерных птиц без применения дополнительных добавок или со значительным сокращением их количества. Во время проведения испытаний было отмечено лучшее состояние печени, кишечника и поджелудочной железы птиц опытной батареи по сравнению с контрольной.

Таблица 3

Показатель	Средний вес одной птицы, г	Падеж птицы, %
Опыт (О)	1767	6,42
Контроль (К)	1743	8,82
Итог	О>К на 24 г	О<К на 2,4 %

#### Список литературы

1. Шаубергер В. Энергия воды, - М.: Яуза, Эксмо, 2007. - 320 с.
2. Стехин А.А., Яковлева Г.В. Использование вихревых электромагнитных полей в технологиях водоподготовки. Труды VII Международного конгресса «Вода: Экология и технология». М., 2006. С. 1034-1035.
3. Стехин А.А., Яковлева Г.В. Управление квантовыми состояниями когерентных нанокластеров ассоциированной воды // Гигиена санитарии. 2008. №5. С.23-26.
4. Стехин А.А., Яковлева Г.В. Структурированная вода: Нелинейные эффекты, 2008. 320 с., ISBN 978-5-382-00879-0.

5. Серебряков Р.А., Стехин А.А., Яковлева Г.В. Структурированная вода в сельскохозяйственном производстве. Труды 7-й Междунар. н/т конференции // «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве». М.: ВИЭСХ, 2010. Часть 1. С. 213-217.

6. Серебряков Р.А., Степанов А.А. Получение структурированной воды и её использование в технологиях сельского хозяйства // Альтернативная энергетика и экология. 2013. №7. С. 111-116.

## ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ТЕПЛОГЕНЕРАТОР

Р.А. Серебряков

*Федеральное агентство научных организаций. Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства», г. Москва*

В статье представлена разработка автономной, малогабаритной и мобильной системы отопления для использования в объектах сельского хозяйства и промышленности

**Ключевые слова.** Энергосберегающие технологии, возобновляемая энергетика, вихревой гидравлический теплогенератор, кавитационная труба.

UDC 662. 995

## HYDRAULIC GENERATOR

R.A. Serebryakov

*FANO FGBNU VIESH*

**Abstract:** The article presents the development of autonomous, compact, economical and mobile heating system for use in the interest of agriculture and industry

**Key words:** Energy-saving technologies, renewable energy, vortex hydraulic heat, cavitation

В настоящее время в сельском хозяйстве существует задача широкого внедрения энергосберегающих технологий, которые позволят снизить материальные средства при создании новой продукции и уменьшить энергетические затраты в данном процессе. Перспективным направлением для этого являются альтернативные источники энергии.

Одним из альтернативных видов возобновляемой энергетика является вихревая энергетика [1, 2, 3, 4, 5], которая представляет собой технологии использования закрученных потоков сплошной среды (например, жидкости и газа) - для преобразования их в тепловую энергию, работу, в градиент температуры и давления.

Традиционными теплогенераторами, нашедшими широкое применение в технике и быту, являются преобразователи энергии, использующие теплоту сгорания различного рода топлив (жидкого, твердого и газообразного). Недостатками их являются загрязнение окружающей среды продуктами сгорания, значительные финансовые затраты при транспортировке и хранении энергоносителей.

В ГНУ ВИЭСХ, совместно со СГАКУ, была создана автономная, малогабаритная, экономичная, гибкая в эксплуатации и технически безопасная

теплоэнергетическая установка – «Вихревой гидравлический тепло генератор» (ВГТ). ВГТ - это одно из направлений в решении задачи обеспечения потребностей населения, промышленности и сельского хозяйства тепловой энергией, особенно в регионах, удаленных от централизованных энергосетей. Это устройство, вырабатывающее тепло посредством изменения физико-механических параметров жидкостной среды при её течении под комплексным воздействием ускоренного и заторможенного движения. Ускорение потока достигается путем создания вихря в системах закрутки потока вихревого теплогенератора с одновременным сужением потока в конфузите, а торможение - последующим его расширением в гравитационной трубе тепло генератора и разувением потока на выходе из гравитационной трубы [6, 7, 8, 9, 10].

Система теплоснабжения на базе ВГТ (рисунок 1) содержит систему закрутки потока 1, кавитационную трубу 2, развихритель 3, теплопередающие устройства (теплообменник, батареи, калориферы и т.п.) 4, гидронасос 5, с электродвигателем 6 и пульт управления работой тепло генератора 7.

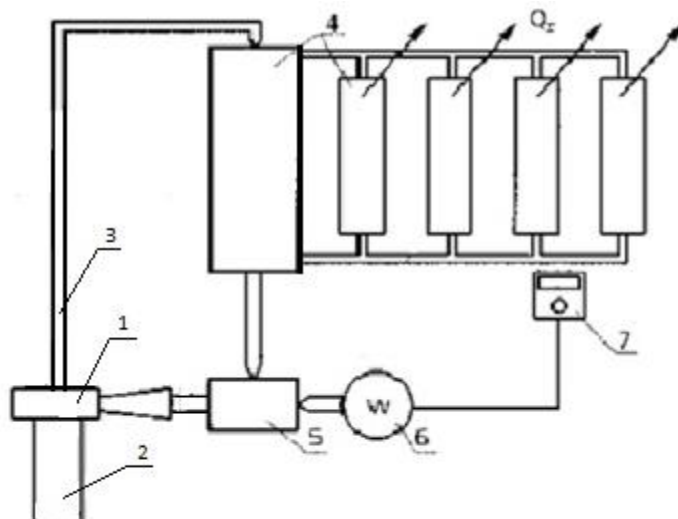


Рис. 1. Схема децентрализованной системы теплоснабжения на базе ВГТ

В качестве источника тепла используется миниатюрный вихревой теплогенератор (ВГТ), работающий от гидронасоса. Электроэнергия используется только для запитки привода гидронасоса системы отопления, причем гидронасос запитывается электроэнергией только для подогрева воды, при остывании системы отопления до заданной температуры – гидронасос отключается (работает автомат контроля заданной температуры воздуха в помещении). Поэтому гидронасос, например, мощностью 1 кВт, на самом деле потребляет только – 0,5 кВт в течение часа работы, а гидронасос мощностью 0,6 кВт - только 0,3 кВт.

Результаты испытаний показывают, что с гидронасосом мощностью 1,0 кВт вода в системе отопления нагревается до температуры выше +60°C с расходом электроэнергии до 17-19 кВт·час, а с гидронасосом мощностью 0,6 кВт - около +50°C с расходом электроэнергии до 12-14 кВт·час.



Особенностями вихревого гидравлического теплогенератора являются (рисунок 2):

- тепловая мощность опытной установки (0,5...5) кВт для обеспечения теплом помещений;
- устройство экологически чистое, отсутствует необходимость сжигания углеводородных топлив (уголь, нефть, газ);
- отсутствуют нагревательные элементы;
- электроэнергия используется только для питания привода гидронасоса,
- отсутствует необходимость в водоподготовке;
- может нагревать жидкость любого происхождения (вода, нефть, газовый конденсат);
- обеспечивает автоматическое поддержание температуры теплоносителя в заданном диапазоне температур;
- экономичен в эксплуатации и в обслуживании.

Диапазон использования ВГТ достаточно широк и гибок, например, представленная здесь конструкция может работать с гидронасосами мощностью до 5 кВт. Кроме того, ВГТ может настраиваться на поддержание в помещении любой температуры - так, например, ВГТ мощностью 1,0 кВт обеспечит +12°C в коровнике площадью до 160 м<sup>2</sup>, а тот же ВГТ с гидронасосом мощностью 2,5 кВт обеспечит +12°C в коровнике площадью до 550 м<sup>2</sup>.

**Выводы:**

- предлагаемый теплогенератор на базе ВГТ целесообразно использовать для создания компактных и экономичных систем отопления сельскохозяйственных помещений содержания с/х животных в зимнее время года, складов, гаражей.

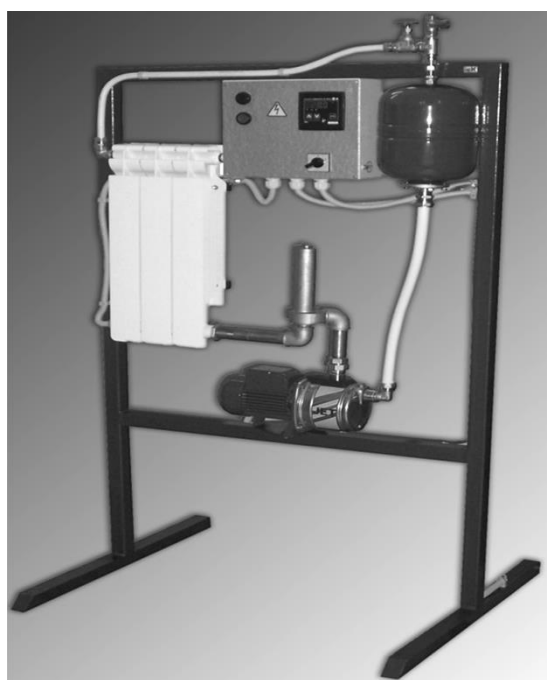


Рис. 2. Вихревой гидравлический тепло генератор

## Список литературы

1. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике, М.Машиностроение,1969.182 с.
2. Серебряков Р.А., Бирюк В.В. Практическое применение вихревого эффекта // Конверсия. 1994. №10. С. 19÷20.
3. Серебряков Р.А., Бирюк В.В. Вихревой эффект энергетического разделения газов системах охлаждения и кондиционирования // Вестник МАИ. 1994. № 10. С. 33-34.
4. Серебряков Р.А. Некоторые вопросы теории вихревой энергетики. Н/труды ВИЭСХ, т. 85, 1999. С. 34-54.
5. Серебряков Р.А., Бирюк В.В. Автономные, экономичные и экологически чистые системы локального теплоснабжения. Н/труды ВИЭСХ, т. 86, 2000. С. 173-181.
6. Серебряков Р.А., Суюнчалиев Р.С., Усаковский В.М. Гидромеханический способ нагрева воды на овцеводческих фермах // Достижения науки и техники АПК. 2002. № 4. С. 18-21.
7. Серебряков Р.А., Родионов Б.Н., Савченко А.М., Шарков В.Ф. Исследование процессов преобразования энергии в ВГТ // Наука и технологии в промышленности. 4/2003 – 1/2004. С. 52-54.
8. Серебряков Р.А., Мартынов А.В., Бирюк В.В. Оценка эффективности систем децентрализованного теплоснабжения на базе вихревых гидравлических теплогенераторов // Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века. 2004. № 7. С. 53-55.
9. Серебряков Р.А., Возможность использования вихревого гидравлического теплогенератора для нужд сельского хозяйства. Труды 8-й Международной н/т конференции «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве». М.: ВИЭСХ, 2012. Часть 3. С. 162-163.
10. Серебряков Р.А., Бирюк В.В. Вихревой гидравлический теплогенератор – альтернативный источник энергии. Труды 9-й Международной конференции «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве». М.: ВИЭСХ. 2014. Часть 3. С. 64-69.

## **ЭНЕРГОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ, ИСПОЛЬЗУЮЩИЙ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ВОЗДУШНЫЕ, ТЕПЛОВЫЕ И ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПОТОКИ**

**Р.А. Серебряков,**

кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник,

*Федеральное агентство научных организаций. Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский институт электрификации сельского хозяйства», г. Москва*

В проблемах преобразования солнечной и ветровой энергии, а также энергии гидроресурсов применение закрученных ламинизированных потоков способно сыграть важную роль в связи с термогидравлической особенностью этих течений, концентрирующих в вихревой струе потоки кинетической энергии, рассеянные в окружающем пространстве. Это позволяет использовать низкопотенциальные термовосходящие течения,



индуцированные солнечным нагревом, слабые ветра и кинетическую энергию потоков в руслах рек и гидроканалов.

**Ключевые слова:** ветер, ветроэнергетика, вихревой эффект, вихревой ветропреобразователь

## **ENERGY CONVERTERS, USING LOW POTENTIAL AIR FLOW, THERMAL AND HYDRAULIC FLOWS**

R.A. Serebryakov,

*The Federal Agency of scientific organizations Fedetal state scientitute institution  
All-Russian research Institute for electrification of agriculture*

In problems of the conversion of solar and wind energy resources, the use of twisted laminarizing flows can play important role in connection with the thermal-hydraulic characteristic of these movements, concentration in the vortex jet streams of the kinetic energy that is scattered in the surrounding space. This allows the use of low-pressure thermochimie currents induced by solar heating, a weak wind and kinetic energy flows in rivers and canals.

**Keyword:** wind, wind energy, a vortex effect, vortex micro propagation.

Вихревая ветроэнергетическая установка (ВВЭУ) способна использовать низкопотенциальные воздушные потоки, движущиеся в атмосфере и акваториях со скоростью от 3-4 м/с, утилизированные тепловые потоки, сбрасываемые во внешнюю среду промышленными предприятиями, и возможности преобразования гелио- и геотермальной энергии в виде термоиндуцированных восходящих струй воздуха. Это устройство преобразует равномерный поток ветра в вихреобразные струи, является концентратором ветровой мощности, организует и аккумулирует энергию ветра и низкопотенциальные тепловые потоки, аналогично тому, как в природных условиях кинетическая энергия ветра, распределенная в значительном объеме, концентрируется до огромных величин в компактном ядре природного смерча или торнадо.

Вихревая ветроустановка способна автоматически подстраиваться под реальную скорость набегающего воздушного потока при расчетных значениях числа оборотов ротора электрогенератора, что обеспечивает преобразование энергии с высокой эффективностью при более широком диапазоне скоростей ветра.

Для существующих в настоящее время ветроустановок рабочий диапазон скоростей ветра составляет от 6-15 до 20-25 м/с. ВВЭУ, за счет, в первую очередь, модульного построения ветропреобразователей, позволяет расширить рабочий диапазон скоростей ветра от 3 до 60 м/с и более.

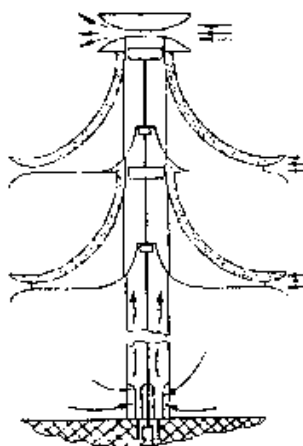
### **Преимущества ВВЭУ относительно традиционных ветряков:**

- в 1.5 – 2 раза меньше рабочая скорость ветра и массогабаритные параметры;
- «ротор-генератор» исключает вал, нет системы «установка на ветер»;
- конструкция установки предполагает её модульное исполнение из идентичных функциональных модулей;

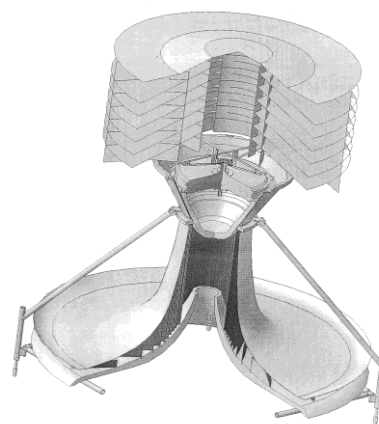
- стабилизация числа оборотов ротора обеспечивается изменением площади воздухозаборника установки;
- коэффициент использования энергии ветра  $\xi \sim 0,3$ ;
- быстроходность  $Z=1.5 - 2,0$ .



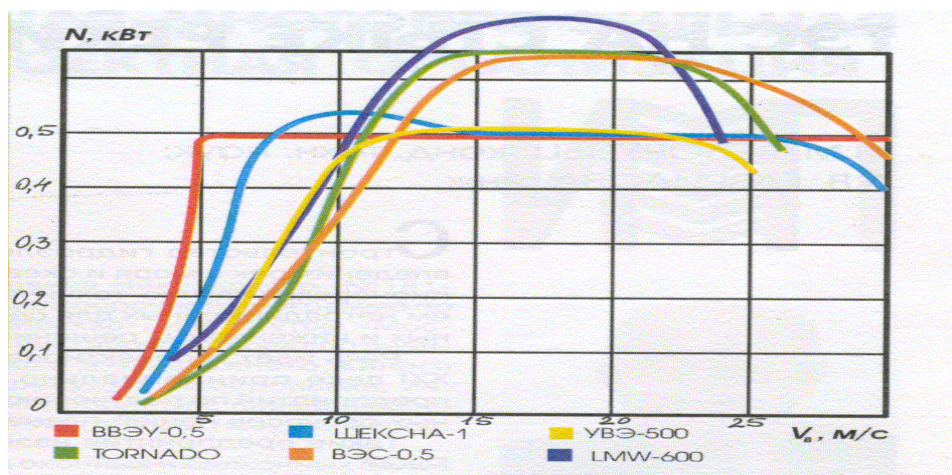
Макет ВВЭУ



Модульная конструкция ВВЭУ



Экспериментальный образец



Сравнительная характеристика  $N=f(V_{в})$  лопастных и ВЭУ и ВВЭУ





Детали и узлы экспериментального образца ВВЭУ

### **Экологическая оценка вихревой ветроэнергетической установки**

Ветроэнергетика во всём мире стремительно набирает обороты. Однако в своем развитии ей приходится преодолевать многочисленные трудности, как объективные (высокая стоимость чистой энергии; низкая плотность энергии, приходящейся на единицу площади ветрового колеса; непредсказуемые изменения скорости ветра в течение суток и сезона, требующие резервирования ветровой станции или аккумуляирования произведенной энергии; отрицательное влияние на среду обитания человека и животных, на телевизионную связь и пути миграции птиц, так и специфические – необходимость получения многочисленных разрешений, в том числе от связистов, ведомств гражданской авиации и от военных.

Крупные стационарные *лопасти* ВЭУ (мощностью более 20 кВт) негативно влияют на телесигнал. На расстоянии до 0,5 км они вызывают помехи в телесигнале. Это связано с тем, что лопасти ветрового колеса ВЭУ отражают сигнал, вызывая помехи при передаче телевизионного сигнала. Во время работы таких ВЭУ возникает достаточное количество инфразвука, влияющего на состояние человека и животных. Кроме того, при работе крупных ВЭУ возникает естественный шум от работы ветрового колеса. Поэтому размещение ВЭУ мощностью больше 10 кВт в пределах города (посёлка) нежелательно. Их необходимо размещать на безопасном расстоянии от населенных пунктов (0,5 – 1,0 км).

Авиадиспетчеры вот уже несколько лет жалуются, что стационарные лопастные ветряные установки появляются на их радарх и мешают не только самим фактом своего присутствия, но и за счет создания так называемых «теней», которые на экране отображаются как длинные черточки. В этих «тенях», которые достигают несколько сотен метров, радиолокационная станция не может больше обнаружить никаких объектов. Сигнал от ветряка может иметь разную силу в зависимости от погодных факторов, угла поворота и частоты вращения ротора ветроустановки.

Вихревая ветроэнергетическая установка конструктивно выполнена так, что ротор находится внутри корпуса установки, так что не составляет никакого труда экранировать низкочастотные акустические шумы ротора.

Технологии использования звукошумопоглощающих покрытий разнообразны и широко используются в авиационной и РЛС технике.

Технология защищена пятью патентами РФ: №№ 1779283, 2002981, 2073111, 2093702, 2101550.

#### Список литературы

1. Бирюк В.В., Серебряков Р.А. Вихревая ветроэнергетическая установка. Труды 7-й Международной н/т конференции «Энергосбережение и энергообеспечение в сельском хозяйстве», часть 4, 2010, М.: ГНУ ВИЭСХ. С. 248-252.

2. Бирюк В.В., Серебряков Р.А., Цыбизов Ю.И., Шелудько Л.П. Газо-ветроэнергетическая установка// Альтернативный киловатт. 2011. №5. С.48-51.

3. Бирюк В.В., Серебряков Р.А., Зазимко В.Н. Вихревая ветросолнечная энергетическая установка//Альтернативная энергетика и экология. 2013. №7. С. 23-26.

4. Серебряков Р.А., Бирюк В.В. Vortex effect – vortex energy technologies, Research in Agricultural Electric Engineering, volume 4, 2013, №4, page 74-78.

5. Серебряков Р.А., Волов В.Т. Исследование СВТ с вращающимся диффузором, депонировано в ВИНТИ (УДК. 621. 43. 46), №5713, 1984, 9 с.

6. Серебряков Р.А., Волов В.Т. Анализ возможности использования СВТ с вращающимся диффузором. Межвузовский сборник КуАИ «Аэродинамика ЛА и их систем». 1987. С. 134-138.

7. Серебряков Р.А., Бирюк В.В. Практическое применение вихревого эффекта//Конверсия. 1994. №10. С. 19-20.

8. Серебряков Р.А. Некоторые вопросы теории вихревой энергетики. Научные труды ВИЭСХ, т. 85, 1999. С. 34-54.

9. Серебряков Р.А. Вихревая энергетика. Научные труды ВИЭСХ, т. 86, 2000. С. 80-92.

10. Серебряков Р.А., Бирюк В.В. Вихревая ветроэнергетическая установка. Сб. Ракетно-космическая техника, сер. XII, Самара, 2000. С. 43-73.

11. Серебряков Р.А., Калиниченко А.Б. Вихревая ветроэнергетика// Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века. 2001, №11. С. 28-29.

12. Серебряков Р.А., Калениченко А.Б., Савченко А.М., Родионов Б.Н. Энергия вихря и энергия вакуума – от теории к практике//Энергетика и промышленность России. 2003. №6. С. 10-12.

13. Серебряков Р.А. Автономная ветроэнергетика//Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века. 2004. № 7. С. 53-55.

14. Серебряков Р.А., Бирюк В.В., Пиралишвили Ш.А. Вихревая энергетика в энергосберегающих технологиях. Сб. докл. XIX школы-семинара «Проблемы газодинамики и теплообмена в энергетических технологиях. Орехово-Зуево. М.: Издат. дом МЭИ, 2013. С. 15-16.

## ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ НАДДУВА ДВС ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАСКАДНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ЭНЕРГИИ

Ю.В. Сторчеус, А.С. Ковтун, Д.М. Доценко

*Луганский государственный университет имени Владимира Даля*

**Аннотация.** Изложены результаты расчетно-экспериментальных исследований влияния режимных и конструктивных параметров системы наддува на базе каскадного трансформатора энергии на характеристики работы транспортных дизелей. Проанализированы факторы, влияющие на эффективность работы системы наддува комбинированного двигателя. Предложены пути повышения уровня энергосбережения в системах наддува и возможности расширения области эффективной работы рассмотренных агрегатов.

**Ключевые слова:** энергосбережение, дизельный двигатель, система наддува, каскадный трансформатор энергии, обменник давления, ротор, эффективность.

## INCREASE OF LEVEL OF ENERGY SAVING IN SUPERCHARGING SYSTEMS OF ICE DUE TO USE OF CASCADE TRANSFORMERS OF ENERGY

Yu.V. Starcheous, A.S. Kovtun, D.M. Dotsenko

*Lugansk State University named by Vladimir Dahl*

**Summary.** Results of settlement pilot studies of influence of regime and design data of system of pressurization on the basis of the cascade transformer of energy on characteristics of operation of transport diesels are stated. The factors influencing overall performance of system of pressurization of the combined engine are analyzed. Ways of increase of level of energy saving in systems of pressurization and possibility of expansion of area of effective operation of the considered units are offered.

**Keywords:** energy saving, diesel engine, supercharging system, cascade transformer of energy, pressure exchanger, rotor, efficiency.

**Актуальность проблемы.** Реализация комплексного подхода по экономии топливно-энергетических ресурсов, при необходимости обеспечения высокой удельной мощности комбинированных ДВС предопределила широкое применение в транспортных дизелях свободного газотурбинного наддува (ГТН), который характеризуется достаточно высоким значением КПД, достигаемым, однако, в относительно узком диапазоне режимов работы. Другое ограничение расширения области эффективной работы турбокомпрессора с неизменяемой геометрией связано с возникновением помпажа, сопровождающегося вибрационными нагрузками, при нарушении условий безотрывного обтекания лопаток рабочего колеса. Граница помпажа приближается к области наиболее эффективной работы компрессора со стороны пониженных расходов воздуха, поэтому на практике настройка компрессора производится с учетом возможного снижения пропускной способности поршневой части ДВС, например, вследствие нагароотложений в газораспределительных органах цилиндров [1].



Из-за этого, несмотря на все свои положительные свойства, системы ГТН обладают рядом недостатков, особенно проявляющихся при эксплуатации транспортных установок в условиях частой смены режимов эксплуатации.

С другой стороны – в последнее время проявляется всё больший интерес к форсированию двигателей наддувом посредством приводных объемных нагнетателей. Преимущества механического наддува (МН) относительно ГТН заключаются в практически неизменном давлении наддува во всем диапазоне режимов работы ДВС, в том числе и в области минимальных частот вращения коленчатого вала, а также отсутствии пульсации давления наддува на переходных режимах работы двигателя. Двигатели с приводным объемным компрессором невосприимчивы к увеличению противодействия выпуску, характерному для КДВС с ГТН, но более энергозатратны.

Таким образом, для обоих способов форсирования ДВС пока не удастся избежать проблемных моментов: неблагоприятная характеристика переходного процесса, обусловленная высокой инерцией ротора турбокомпрессора, и возможность возникновения помпажа на режимах малых нагрузок существенно снижают эффективность ГТН, а необходимость привлечения дополнительной мощности для приводных компрессоров ведёт к перерасходу топлива в дизелях с механическим наддувом.

**Анализ исследований.** Свойственная лопаточным машинам чувствительность степени повышения давления к расходу рабочей среды и частоте вращения ротора обуславливает интенсивное падение давления наддува при понижении частоты вращения коленчатого вала двигателя и, следовательно, неблагоприятное протекание кривой крутящего момента по скоростной характеристике. Особенно заметно отмеченный недостаток проявляется на неустановившихся режимах работы двигателя [2, 3]. Высокая инерция вращения ротора турбокомпрессора заметно ухудшает качество переходных процессов комбинированного двигателя. Вследствие этого приемистость и приспособляемость двигателей с турбонаддувом заметно уступает показателям безнаддувного двигателя аналогичной номинальной мощности.

Сравнение реальных термодинамических циклов современных двигателей с циклом Карно показывает, что уже существующие конструкции достигли весьма высокой степени совершенства. Дальнейшее совершенствование экономичности дизелей связано с большим объемом научно-исследовательских работ и значительным увеличением капиталовложений.

**Цель работы.** Целью настоящей работы является оценка перспектив использования каскадных трансформаторов энергии в системах наддува комбинированных двигателей для повышения уровня энергосбережения на транспорте.

**Результаты исследований.** Одно из направлений улучшения характеристик надувных двигателей связано с использованием волновых явлений в газоздушных трактах с целью улучшения наполнения цилиндров

на наиболее ответственных режимах работы транспортной установки [2, 4] в различного рода преобразователях (трансформаторах) энергии.

Классификация разновидностей трансформаторов энергии и устройств на их основе представлена на рис.1.

Для организации в потоках газозвушных сред волновых процессов с заданными свойствами применяются различные акустические устройства впускных и выпускных трактов двигателей. Успехи в развитии таких устройств привели к появлению обширного класса газодинамических систем наддува, наиболее эффективными из которых оказались волновые обменники давления (ВОД).

Одной из особенностей ВОД (рис.2) является обеспечение повышенного давления наддува по сравнению с системами турбонадува в области низких частот вращения коленчатого вала. Особенно заметно это отличие проявляется при работе двигателя на неустановившемся режиме (разгоне). Для ВОД характерен быстрый, в течение нескольких мс, рост давления наддува до максимального значения, что обуславливает высокие динамические характеристики транспортной установки.

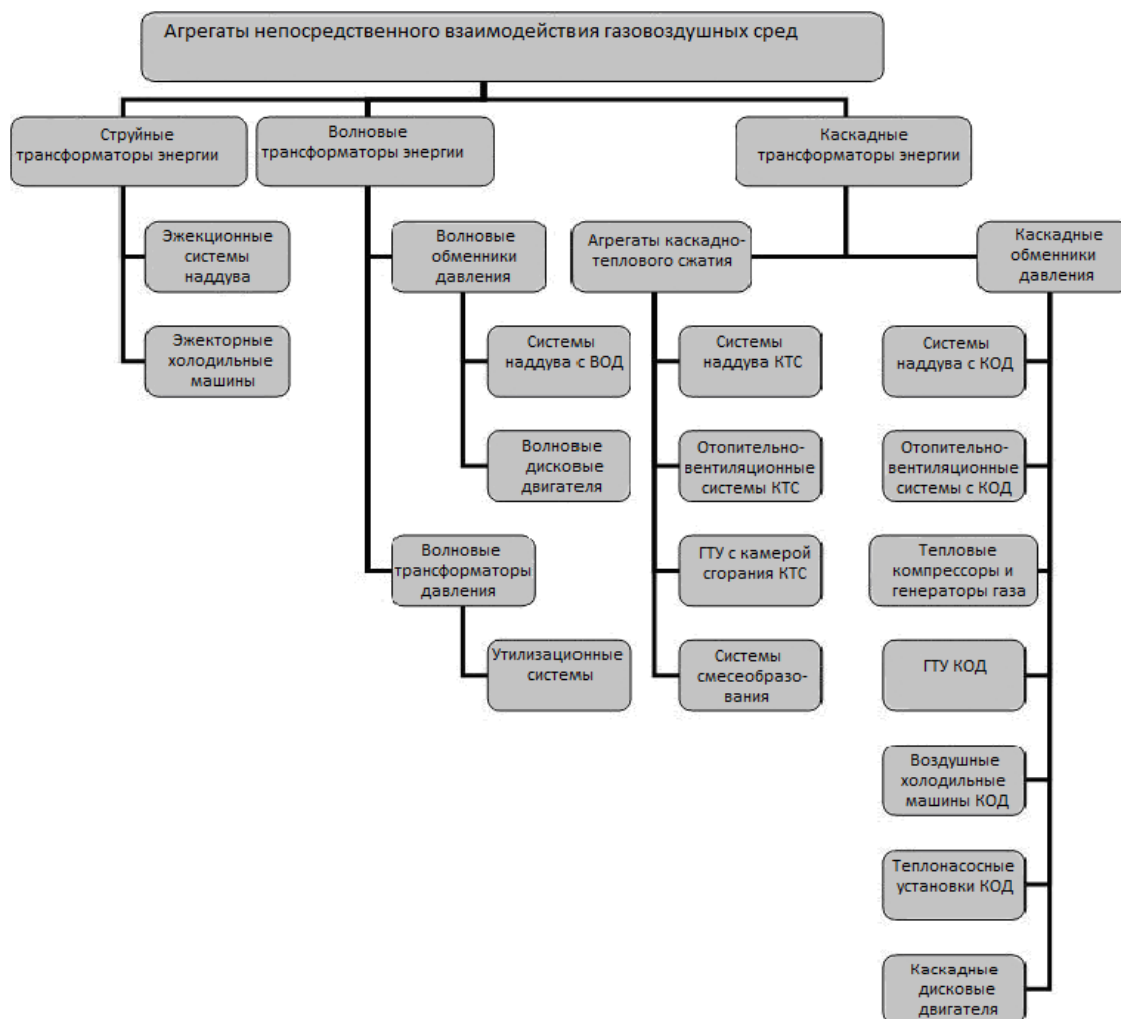


Рис.1. Классификация агрегатов непосредственного взаимодействия газозвушных сред

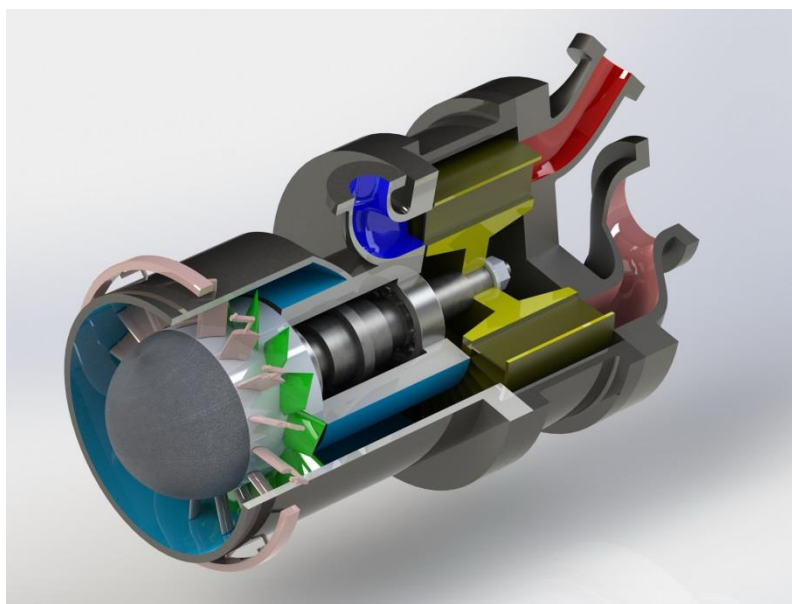


Рис. 2. Волновой обменник давления

Получившие ограниченное применение в системах наддува двигателей внутреннего сгорания, ВОД (система «Comprex») наряду с очевидными достоинствами, связанными с высокой скоростью обменных процессов и способностью обеспечивать высокое давление наддува, имеют ряд недостатков, обусловленных волновым характером обменных процессов.

Отклонение режима работы ВОД от расчетных условий по частоте вращения ротора, расходу и температуре активной среды сопровождается ухудшением показателей воздухообеспечения ДВС как вследствие рассогласования моментов подключения ячейки ротора к окнам высокого давления с фазами движения первичных волн, так и вследствие увеличения доли сжатого воздуха, оставшегося в ячейке в момент разобщения её с окнами высокого давления. Кроме того, неизбежные диссипативные явления в процессах формирования и взаимодействия сильных ударных волн ограничивают КПД лучших образцов волновых обменников давления на расчетных режимах значениями 0,55..0,56 [1, 2, 5, 6].

Другое направление развития устройств агрегатов непосредственного взаимодействия газоздушных сред каскадного сжатия связано с созданием каскадных трансформаторов энергии, например, используемых для наддува ДВС каскадных обменников давления (КОД).

Принцип действия КОД подробно описан в работах [3, 4, 7]. В каскадном обменнике давления, в отличие от волнового, сжатие воздуха осуществляется в энергетически более рациональных квазистационарных процессах с незначительной амплитудой формируемых волн. В этом случае не только нивелируются диссипативные явления волнового взаимодействия газовых сред, но и в значительной мере снижается чувствительность рабочего процесса КОД к картине взаимодействия первичных волн с передними кромками



газораспределительных окон, легко разрушаемой при отклонении частоты вращения ротора или параметров сжимающего газа от расчетных значений.

Типичная конструкция обменника (рис. 3) представляет собой ротор с продольными напоробменными каналами, вращающийся в статоре, в одной из торцевых крышек которого размещены массообменные каналы, а также окна подвода и отвода сжимающего газа, в другой – окна подвода и отвода сжимаемого воздуха. Ротор приводится во вращение с частотой 2000...3500 мин<sup>-1</sup> при помощи электродвигателя или другого привода незначительной мощности.

В ВОД значительная часть обмена энергий осуществляется передачей количества движения фронтом распространяющейся вдоль ячейки волны. Количество движения, передаваемое волной возмущения сжимаемому воздуху, зависит от соотношения плотностей взаимодействующих сред. Поэтому снижение плотности сжимающего газа при повышении его температуры при прочих равных условиях сопровождается уменьшением производительности ВОД. Ввиду отмеченного, волновой обменник давления уступает каскадному в отношении эффективности использования тепловой составляющей располагаемого теплоперепада.

Таким образом, с точки зрения утилизации «сбросной» теплоты теплосиловых установок и способности преобразования тепловой энергии в механическую, рабочий цикл КОД является более совершенным.

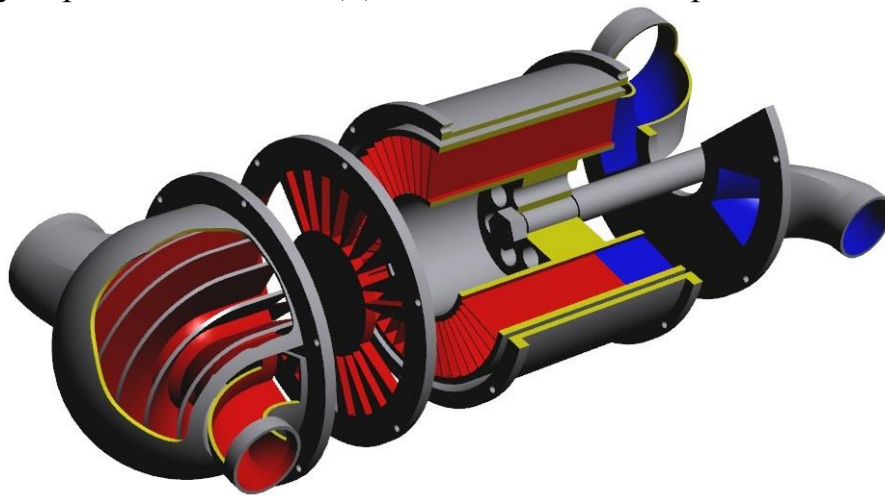


Рис. 3. Каскадный трансформатор энергии (каскадный обменник давления)

Наиболее полно энергетическое совершенство каскадных обменников раскрывается в комбинированных системах наддува и охлаждения наддувочного воздуха.

Глубокое охлаждение воздуха, подаваемого в цилиндры двигателя (ниже температуры окружающей среды), является действенным средством снижения термической напряженности цилиндропоршневой группы и повышения плотности свежего заряда.

Не менее важным положительным аспектом глубокого охлаждения наддувочного воздуха является повышение топливной экономичности благодаря повышению термического КПД дизельного цикла ввиду расширения

его температурных пределов и возможностью повышения действительной степени сжатия.

Несмотря на перспективность данного направления, известны немногочисленные попытки организации рабочего процесса КДВС с глубоким охлаждением заряда, вероятно, из-за отсутствия высокоэффективных воздушных холодильных машин. Оснащение традиционных систем наддува сложными устройствами низкотемпературного охлаждения не всегда является оправданным, поскольку эксплуатационные преимущества такого комбинированного двигателя с охлаждением заряда на впуске в значительной мере нивелируется энергозатратами на осуществление холодильного цикла [4].

В системах наддува с КОД энергетическим источником и хладагентом может служить избыточный относительно потребляемого поршневой частью двигателя воздух, нагнетаемый обменником. В этом случае агрегат воздухообеспечения одновременно является составной частью холодильной установки. В разработанном на кафедре ДВС ЛГУ им. В. Даля устройстве, согласно схеме, показанной на рис.4, в качестве детандер-компрессора используется каскадный обменник давления КОД 2, контур низкого давления которого подключен к холодильнику глубокого охлаждения.

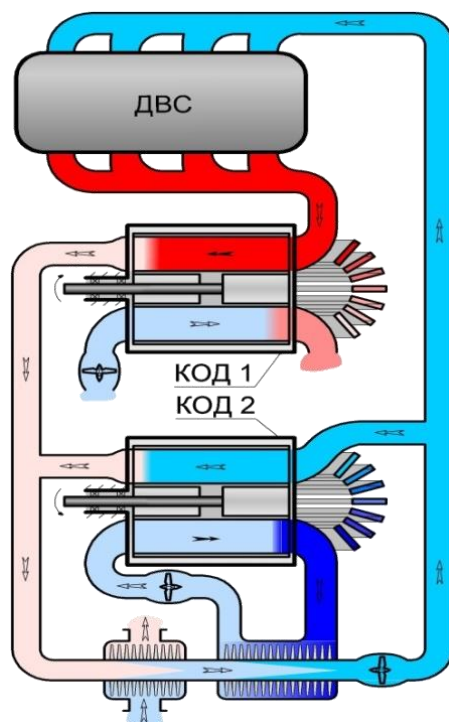


Рис. 4. Система наддува с каскадным обменником давления

Система наддува КОД обеспечивает практически любую требуемую внешнюю характеристику наддува (рис. 5) и осуществляет глубокое охлаждение наддувочного воздуха путем детандерного расширения избытка нагнетаемого в КОД 1 воздуха до температуры ниже окружающей среды с последующим его использованием в качестве хладагента второй ступени охладителя.

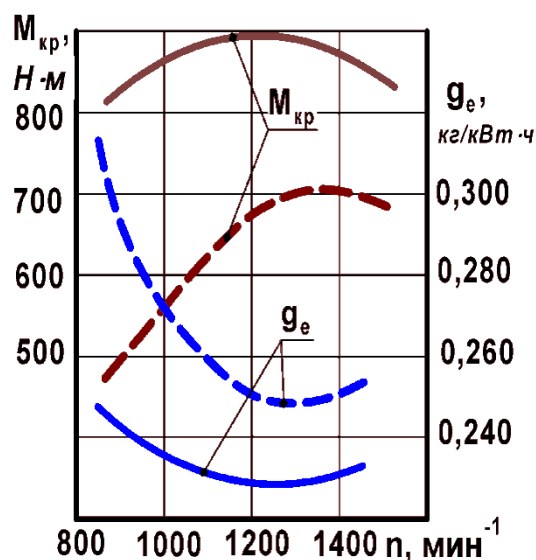


Рис. 5. Основные показатели работы КДВС:  
 - - - с турбонаддувом, — с КОД

**Выводы:** 1. Высокая энергетическая эффективность каскадных обменников давления, проявляющаяся в значительном превышении расхода нагнетаемого воздуха относительно расхода сжимающих газов, раскрывает перспективу создания систем наддува с качественно новыми показателями воздухообеспечения комбинированных двигателей в широком диапазоне эксплуатационных режимов.

2. Применение разработанной системы наддува обеспечивает увеличение коэффициента приспособляемости по крутящему моменту в среднем на 10% при одновременном росте эффективного КПД дизеля по скоростной характеристики на 3–5% и снижении удельного эффективного расхода топлива на 3,4%.

#### Список литературы

1. Крайнюк А.И. Системы газодинамического наддува: монография / А.И. Крайнюк, Ю.В. Сторчеус. – Луганск: ВУГУ, 2000. – 224 с. – ISBN 966-590-102-8.
2. Волновые обменники давления в системах наддува двигателей внутреннего сгорания: монография / [А.И. Крайнюк, Ю.В. Сторчеус, В.П. Левчук и др.]; под ред. Ю.В. Сторчеуса. – Луганск: Ноулидж, 2013.– 155 с. – ISBN 978-617-579-639-9.
3. Крайнюк А.И. Исследования физической сущности процессов трансформации энергии на принципах каскадно-теплового сжатия: монография А.И. Крайнюк, Ю.В. Сторчеус; [отв. ред. Ю.В. Сторчеус]. – Луганск: Ноулидж, 2012.– 118 с. – ISBN 978-617-570-597-2.
4. Сторчеус Ю.В. Каскадные трансформаторы энергии: монография / Ю.В. Сторчеус. – Луганск: Ноулидж, 2013.– 200 с. – ISBN978-617-579-708-2.
5. Крайнюк А.И. Пусковые свойства дизеля с волновым обменником давления / А.И. Крайнюк, В.П. Левчук, Ю.В. Сторчеус; Транспортное

машиностроение: Респ. межведомственный научно-техн. сб. - Киев: ВУГУ. - 1995. - С. 231-237.

6. Крайнюк А.И. Пути совершенствования систем воздухообеспечения дизельных двигателей / А.И. Крайнюк, Ю.В. Сторчеус, В.П. Левчук; Вісник Східноукраїнського державного університету. – Луганськ: Вид. СУДУ. - 1996. - № 1. - С. 143-147.

7. Сторчеус Ю.В. Научная деятельность кафедры ДВС ВНУ им. В. Даля / Ю.В. Сторчеус // Двигатели внутреннего сгорания: сб. науч. тр. / НТУ «ХПИ». – Х., 2011.- №1. – С. 68-72.

### **ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИЗЕЛЯ 6Ч12/14 С СИСТЕМОЙ НАДДУВА КАСКАДНО-ТЕПЛОВОГО СЖАТИЯ**

Ю.В. Сторчеус, А.А. Данилейченко, Д.М. Доценко, А.С. Шаповалов  
*Луганский университет имени Владимира Даля*

Рассматриваются эксплуатационные показатели двигателя 6Ч12/14 с системой наддува каскадно-теплового сжатия.

**Ключевые слова:** двигатель, наддув, компрессор, каскадное сжатие, напоробменные каналы.

### **DESCRIPTIONS OF DIESEL 6FS12/14 WITH SYSTEM OF SUPERCHARGE OF FACTORABLE-THERMAL COMPRESSION**

Y.V. Starcheous, A.A. Danileychenko, D.M.Dotsenko, A.S.Shapovalov  
*Luhansk University named after Vladimir Dahl*

The operating indexes of engine are examined 6FS12/14 with the system of supercharge of factorable-thermal compression.

**Keywords:** engine, supercharge, compressor, factorable compression, pressure is exchange channels.

Приоритетным направлением развития двигателей транспортных установок на современном этапе по-прежнему является улучшение их топливной экономичности. Совершенствование рабочего процесса теплосиловых установок в рамках традиционных схем и устройств близко к своим предельным показателям. Вместе с тем, значительный резерв повышения общего КПД установки связан с утилизацией вторичной (сбросной) теплоты отработавших газов. Для транспортных двигателей наибольший интерес представляют системы внутренней утилизации, преобразующие вторичную теплоту в дополнительную механическую работу или наддувочный воздух. Однако широкому внедрению апробированных схем внутренней утилизации, в известной мере, препятствует высокая стоимость и большие габариты устройства, а также недостаточная эффективность их работы, особенно в контурах с относительно невысокой температурой теплоносителя. Отмеченное обуславливает актуальность поиска схем теплосиловых установок и систем утилизации, реализующих новые принципы организации рабочего процесса и удовлетворяющих условию эффективной работы при использовании различных

источников тепловой энергии, в том числе с относительно невысоким температурным потенциалом.

Одно из перспективных направлений развития теплопреобразующих устройств, разработанное на кафедре ДВС Луганского университета имени В.Даля под руководством проф.А.И.Крайнюка, базируется на использовании принципа каскадно-теплого сжатия (КТС) рабочего тела в роторных агрегатах непрерывного действия. Принцип действия и основные особенности рабочего цикла таких агрегатов изложены в работах [1-4]. Однако отсутствуют сведения по экспериментальной проверке работы агрегата КТС в составе двигателя в схеме для наддува ДВС, в которой необходимое согласование расхода с характеристикой потребления воздуха поршневой частью двигателя осуществляется путем эжектирования воздуха из атмосферы посредством струйного насоса, активным потоком в котором служит воздух, нагнетаемый компрессором КТС (рис. 1). В этой связи целью статьи является представление результатов экспериментального исследования, подтверждающих возможность улучшения эффективных показателей ДВС за счет применения эжекционной системы наддува каскадно-теплого сжатия (ЭСН КТС).

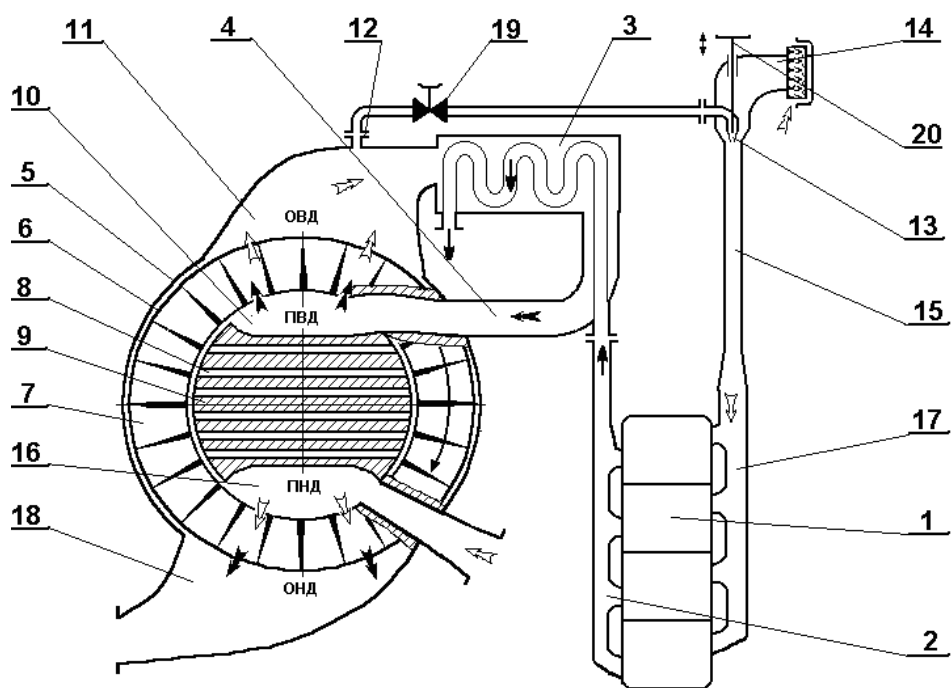


Рис. 1. Эжекционная система наддува каскадно-теплого сжатия:

- 1 - двигатель; 2, 17 - выпускной и впускной коллекторы;
- 3 - утилизационный теплообменник; 4 - магистраль высокого давления;
- 5 - компрессор КТС; 6 - ротор; 7 - ячейка ротора; 8 - напорообменные каналы; 9- статор; 10,11- окна подвода (ПВД) и отвода (ОВД) воздуха высокого давления; 12 – патрубок отбора воздуха; 13 - активное сопло эжектора;
- 14 - приемная камера эжектора; 15 - камера смешения; 16, 18 - окна подвода (ПНД) и отвода (ОНД) воздуха низкого давления; 19 – вентиль;
- 20 – регулировочный винт

ЭСН КТС включает следующие основные элементы: двигатель внутреннего сгорания 1, впускной коллектор 17 и выпускной коллектор 2, пропущенный через теплообменник 3, подключенный к компрессору КТС 5. Патрубок отбора 12 сжатого воздуха соединен с активным соплом 13 эжектора, приемная камера 14 которого сообщена с атмосферой, а камера смешения 15 связана с впускным коллектором 2.

ЭСН КТС работает следующим образом. ОГ из цилиндров двигателя 1 по выпускному коллектору 2 поступают в теплообменник 3, где передают свою теплоту воздуху, используемому в качестве рабочего тела в компрессоре КТС 5, и далее отводятся в атмосферу.

В компрессоре КТС 5 осуществляется преобразование тепловой энергии отработавших газов двигателя 1 в энергию сжатого воздуха, который в дальнейшем направляется к активному соплу 13 эжектора. Выходящий с большой скоростью из активного сопла 13 воздух увлекает поступающий в приемную камеру 14 эжектора атмосферный воздух, передавая ему часть своей кинетической энергии. При протекании по камере смешения 15 и диффузору эжектора происходит выравнивание скоростей смешиваемых потоков и обратное преобразование кинетической энергии смешанного потока в потенциальную энергию давления. Далее сжатый воздух подводится к впускному коллектору 2 двигателя 1.

Таким образом, применение компрессора КТС в качестве агрегата воздухообеспечения двигателя теплосиловой установки позволяет утилизировать часть теплоты отработавших газов для получения рафинированной энергии наддувочного воздуха. Избыточное давление на впуске ДВС реализуется при минимальном противодействии выпуску газов, в отличие от турбонаддува, где сжатие наддувочного воздуха, в конечном счете, осуществляется за счет работы поршневой группы. Отмеченная особенность системы наддува с КТС способствует заметному повышению КПД и мощности двигателя в целом, как вследствие существенного улучшения продувки цилиндров, так и благодаря снижению работы насосных ходов при осуществлении газообмена.

Ниже рассматриваются эксплуатационные показатели дизеля с двумя модификациями системы наддува – ЭКН-10 и ЭКН-11 соответственно с длиной ротора компрессора КТС 0,1 м и 0,11 м. Исследования проводились на моторном стенде ЛУ им. В. Даля. Частота вращения ротора составляла  $1500 \text{ мин}^{-1}$ , а привод ротора компрессора осуществлялся с помощью автономного электродвигателя.

Нагрузочные и скоростные характеристики двигателя получены при оптимизированных для каждого режима работы значениях относительного расхода воздуха  $\bar{G}_{отб}$  в патрубке отвода воздуха компрессора КТС. Изменение  $\bar{G}_{отб}$  осуществлялось вручную путем управления вентилем 19 (см. рис.1) одновременно с регулированием проходного сечения активного сопла эжектора  $\alpha$ , по критерию достижения максимального давления наддува на исследуемом режиме.

Показатели работы дизеля и соответствующие им регулировочные параметры систем наддува ( $\bar{G}_{отб}$ ,  $\alpha_э$ ) приведены на рис.2.

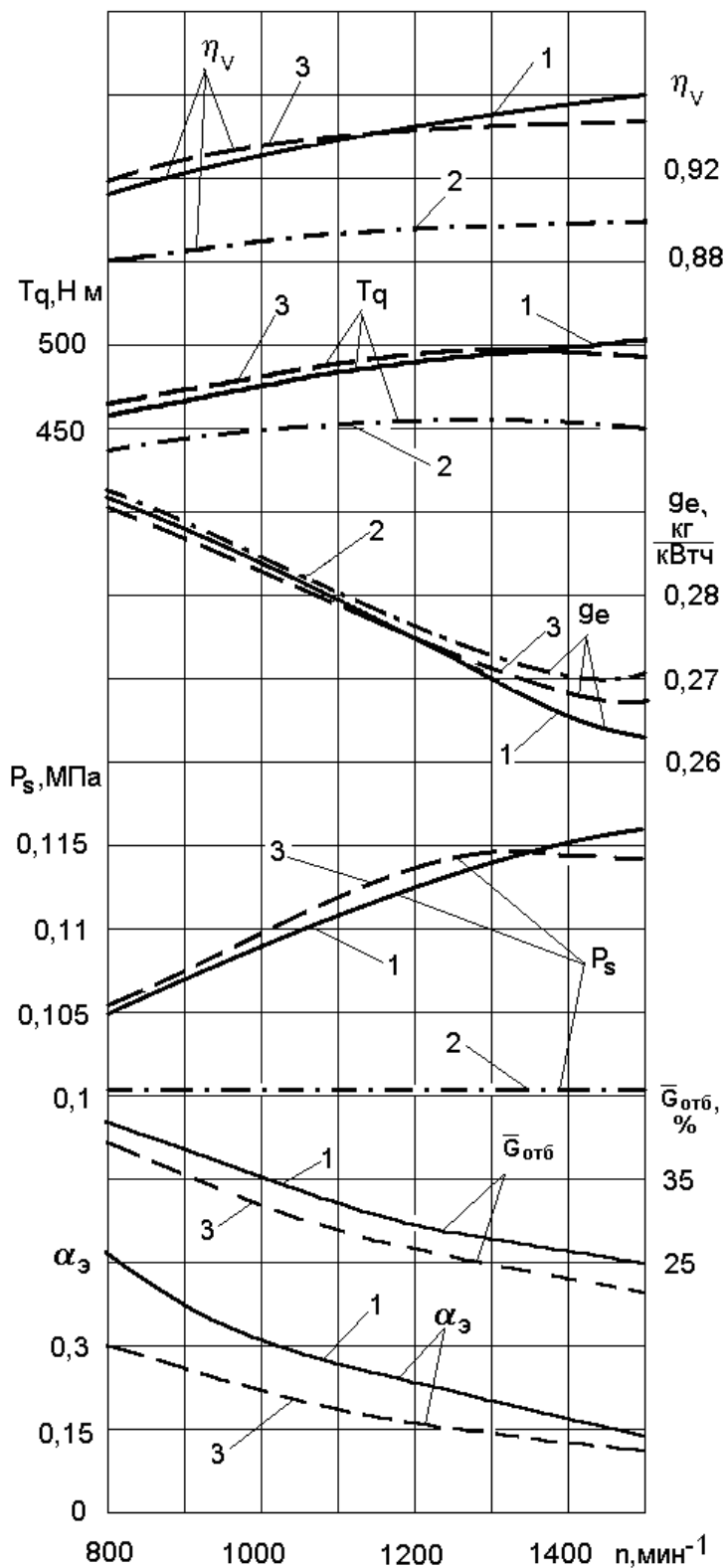


Рис.2. Ограничительная по температуре отработавших газов  $T_g=750\text{K}$  скоростная характеристика дизеля 6Ч12/14: 1 – с ЭКН-11; 2 - без наддува; 3 – с ЭКН-10

Сопоставление внешних скоростных характеристик показывает, что применение обеих модификаций системы наддува обеспечивает повышение крутящего момента во всем диапазоне изменения частот вращения коленчатого вала. Наибольший прирост крутящего момента дизеля 55Нм (12,2%) достигается на номинальном режиме его работы при использовании системы ЭКН-11. Дизель с системой наддува ЭКН-10 имеет несколько меньший запас крутящего момента на вышеотмеченном режиме - 42Нм (9,3%).

Однако в области пониженных скоростных режимов, начиная с  $n=1300\text{мин}^{-1}$ , наблюдается превышение крутящего момента дизеля с ЭКН-10 относительно дизеля с ЭКН-11. Например, на режиме  $n=1100\text{мин}^{-1}$  крутящий момент с исследуемыми модификациями составляет 487Нм и 480Нм против 450Нм безнаддувного дизеля.

Таким образом, целесообразность использования системы наддува, рассчитанной на режим номинальной мощности (ЭКН-11), ограничивается дизелем стационарного назначения. Для транспортных дизелей, работающих в широком диапазоне изменения скоростных режимов, наиболее предпочтительным является использование модификации системы наддува, рассчитанной на пониженный скоростной режим (ЭКН-10).

Обращает внимание определенное несоответствие между уровнем повышения крутящего момента и увеличением плотности заряда в цилиндрах двигателя в конце процесса наполнения. Так, на режиме  $n=1300\text{мин}^{-1}$  повышение крутящего момента двигателя с ЭКН-10 составляет 8,4%, по сравнению с безнаддувным вариантом, в то время как плотность заряда увеличивается на 4,5%. Отмеченное расхождение объясняется увеличением количества кислорода участвующего в процессе сгорания, вследствие улучшения продувки цилиндров, сопровождающегося снижением на 16% количества остаточных газов. Кроме того, дополнительный рост крутящего момента связан с увеличением механического КПД (на 0,8%) вследствие снижения работы на осуществление газообмена.

Улучшение экономичности дизеля с ЭСН КТС, заметное во всем диапазоне изменения нагрузки (рис. 3), прежде всего, связано с повышением индикаторного КПД цикла, вследствие увеличения коэффициента избытка воздуха. На режиме  $n=1500\text{мин}^{-1}$  дизеля с ЭКН-11 при нагрузке  $P_e=0,59\text{МПа}$ , соответствующей номинальной безнаддувного двигателя, увеличение  $\alpha$  с 1,65 до 1,75 в результате повышения давления наддува до 0,113МПа позволило снизить удельный эффективный расход топлива на 6 г/кВтч и повысить эффективный КПД дизеля на 2,9%. При этом большая доля в увеличение эффективного КПД приходится на рост индикаторного КПД (до 2,2%).

Качество переходных процессов дизеля с ЭСН КТС оценивалось по величинам заброса частоты вращения и времени установления скоростного режима работы дизеля при ступенчатом набросе нагрузки. Ввиду незначительной задержки реакции компрессора КТС на изменение режима работы двигателя, связанной со скоростью протекания теплообменных процессов в утилизационном теплообменнике и проточной части компрессора,



продолжительность переходного процесса в основном зависит от объемов трактов наддувочного воздуха, которые являются практически единственными аккумуляторами энергии системы наддува. Установлено, что увеличение в 1,6 раз объема наддувочного тракта на дизеле 6Ч12/14 с ЭСН КТС позволяет приблизить его время установления скоростного режима к аналогичному показателю безнаддувного двигателя. Так, например, для дизеля с ЭКН-11 и ЭКН-10 установление частоты вращения коленчатого вала  $n=1500\text{мин}^{-1}$  при набросе 50% нагрузки происходит соответственно в течение 3,5 и 3,6 сек., в то время как для безнаддувного - за 3,4 сек.

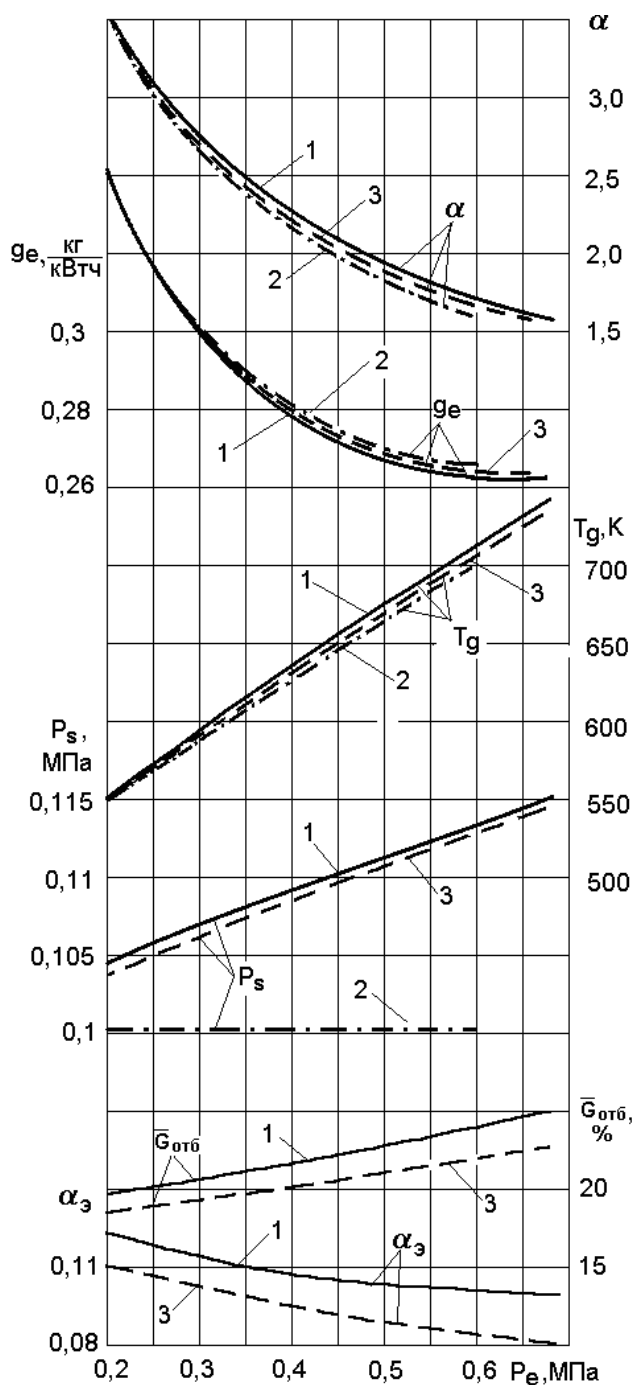


Рис. 3. Нагрузочная характеристика дизеля 6Ч12/14 на режиме  $n=1500\text{ мин}^{-1}$ :  
1 – с ЭКН-11; 2 - без наддува; 3 – с ЭКН-10

Рассмотрим показатели токсичности дизеля с ЭКН КТС.

Одним из основных токсичных компонентов отработавших газов дизелей являются оксиды азота. Согласно классической теории Я.Б. Зельдовича, процесс связывания атмосферного азота происходит после сгорания рабочей смеси по цепным реакциям, а факторами, определяющими выход оксидов азота из реакций, являются максимальная температура рабочего цикла ДВС и концентрация несвязанного кислорода в продуктах сгорания.

В этой связи для области нагрузочных режимов двигателей  $(0,8-0,95)P_e^{ном}$  характерны наибольшие выбросы  $NO_x$  (рис. 4.).

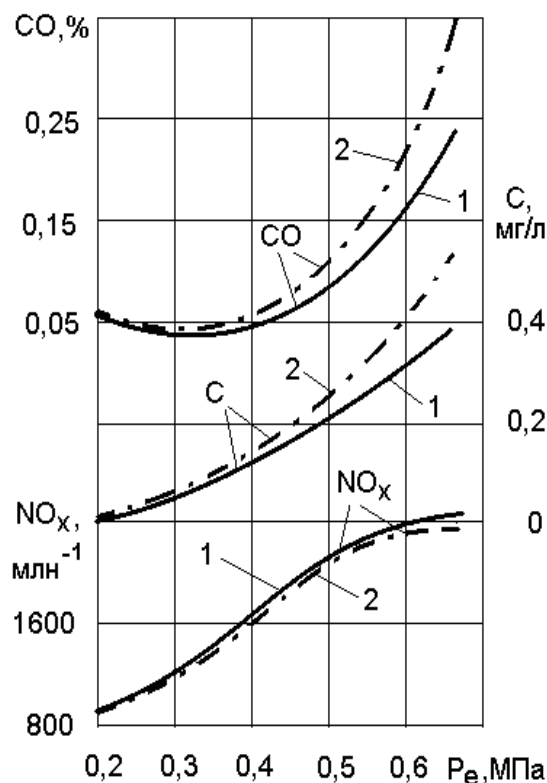


Рис. 4. Изменение токсичности ОГ дизеля 6Ч12/14 при  $n=1500\text{мин}^{-1}$ :  
1 – с ЭКН-11; 2- без наддува

Следует иметь в виду, что фиксированная нагрузка  $0,59\text{МПа}$  достигается базовым двигателем и дизелем с ЭКН-11 при различных коэффициентах избытка воздуха -  $1,65$  и  $1,75$  соответственно. Поэтому некорректно оценивать условия образования  $NO_x$  при одной нагрузке для рассматриваемых двигателей, поскольку номинальная нагрузка базового двигателя  $P_e=0,59\text{МПа}$  является частичной нагрузкой дизеля с ЭКН-11.

Таким образом, при анализе эмиссии  $NO_x$  необходимо сопоставлять режимы работы дизелей с идентичным значением коэффициентов избытка воздуха. В этом случае повышение выбросов оксидов азота в дизеле с ЭКН-11, по сравнению с базовым двигателем, связано лишь с увеличением температуры сгорания вследствие роста давления наддува. Для дизеля с ЭКН-11 на номинальном режиме (с  $\alpha=1,65$ ) повышение температуры сгорания на  $40-45\text{K}$

сопровождается увеличением выбросов оксидов азота до  $2440 \text{млн}^{-1}$ , что составляет 104,6% номинального значения выбросов  $\text{NO}_x$  базового двигателя.

Повышенная температура горения и избыток кислорода в продуктах сгорания создают условия для выгорания углерода. Кроме того, более полному выгоранию сажи способствует улучшение продувки цилиндров двигателя с ЭКН-11. Особенно заметно проблема дымности выхлопа проявляется при перегрузке двигателя транспортной установки. Следует отметить, что именно ограничение по дымности, как правило, рассматривается в качестве критериального параметра возможности форсирования мощности при работе двигателя по внешней скоростной характеристике. Так, при повышении нагрузки базового двигателя до уровня  $N_e = 1,3 N_{e_{ном}}$  ( $P_e = 0,67 \text{МПа}$ ) концентрация сажи в ОГ возрастает до 0,55 мг/л, в то время как у двигателя, оснащенного системой наддува ЭКН-11, при реализации этой же нагрузки концентрация сажи не превышает 0,37 мг/л.

Уменьшение количества сажи в ОГ сопровождается снижением образования оксидов углерода во всем диапазоне нагрузочных режимов дизеля с ЭКН-11. Относительное снижение выбросов оксидов углерода на номинальной и 50%-й нагрузке составляет соответственно 31% и 16%. Некоторое увеличение выбросов  $\text{CO}$  двигателя при нагрузках приближающихся к 0,2 МПа объясняется уменьшением полноты сгорания при пониженной средней температуре цикла.

Испытания ЭСН КТС в течение 200 часов показали достаточную надежность конструкции (рис. 5) и отсутствие серьезных проблем с ее техническим обслуживанием, что обусловлено отсутствием механических вытеснителей и газораспределительных органов дискретного управления.

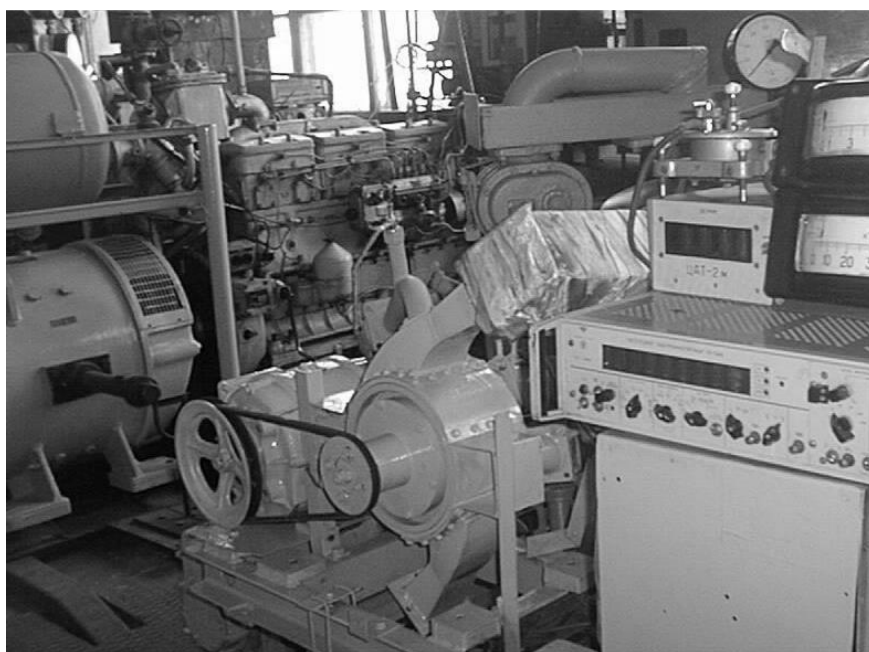


Рис. 5. Общий вид экспериментальной установки

Тем не менее, на показатели работы компрессора КТС заметное влияние оказывали зазоры в сопряжении цилиндрических поверхностей ротора и статора. В испытываемых конструкциях компрессоров КТС зазор находился в пределах 0,08-0,1мм. Снижение зазора ограничивалось возможным заклиниванием ротора вследствие термических деформаций элементов, в то время как даже незначительное увеличение зазора (до 0,15мм) сопровождалось повышением (на 3%) утечек рабочего тела и ухудшением эффективных показателей работы всей системы наддува.

Мероприятия по дальнейшему совершенствованию ЭСН КТС предусматривают применение более совершенных уплотнений указанного сопряжения. В настоящее время рассматривается возможность использования ротора из керамики, имеющей меньший коэффициент термического расширения.

Результаты испытаний ЭСН КТС подтвердили ее работоспособность в составе двигателя и возможность повышения эффективных показателей ДВС, что позволяет предположить перспективность данного направления развития утилизационных систем наддува для улучшения рационального использования сбросной тепловой энергии в силовых установках.

#### Список литературы

1. Крайнюк, А.И., Сторчеус, Ю.В., Данилейченко, А.А. Применение эффекта теплового сжатия для улучшения энергоиспользования в теплосиловых установках/ Крайнюк А.И., Сторчеус Ю.В., Данилейченко А.А. Луганск: Вестник Восточноукр. нац. ун-та имени Владимира Даля. 2000. № 9. С. 182-189.

2. Крайнюк, А.И., Данилейченко, А.А., Крайнюк, А.А., Ключ, О.В. Метод согласования размерных параметров элементов эжекционной системы наддува дизеля с компрессором каскадно-теплового сжатия / А.И. Крайнюк, А.А. Данилейченко, А.А. Крайнюк, О.В. Ключ. Международный сборник научных трудов «Повышение эффективности работы энергетических установок». Калининград: Изд-во КГТУ, 2002. С. 183-191.

3. Крайнюк, А.И., Данилейченко, А.А., Гогоуля, А.М. Математическая модель рабочего процесса силовой установки каскадного теплового сжатия/ А.И. Крайнюк, А.А. Данилейченко, А.М. Гогоуля. Луганск: Вестник Восточноукр. нац. ун-та имени Владимира Даля. 2001. №6. С. 162-168.

4. Крайнюк, А.И., Сторчеус, Ю.В., Данилейченко, А.А. Влияние качества продувки ячеек ротора на эффективность компрессора теплового сжатия/ Авиационно-космическая техника и технология: Сб.научн. трудов. Вып.34. Двигатели и энергоустановки. Харьков: Гос. аэрокосмический ун-т «ХАИ», 2002. С. 18-20.

## КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 10 кВ

А.Н. Татарникова

*Рубцовский индустриальный институт*

В период дефицита вырабатываемых мощностей и большого спроса на электроэнергию, остро стоит вопрос энергосбережения. Одной из технологий, которая может помочь решить эту проблему, является установка устройств компенсации реактивной мощности. Быстрый срок окупаемости позволяет получить прибыли для АО, при небольших затратах на модернизацию и реконструкцию.

**Ключевые слова:** реактивная мощность, потери, распределительные сети компенсационная установка, годовой экономический эффект.

## REACTIVE POWER COMPENSATION DISTRIBUTION NETWORKS OF 10 KV

A.N. Tatarnikova

*Rubtsovsk industrial institute*

In a time of scarce capacity and generated a large demand for electricity, energy conservation is an issue. One of the technologies that can help to solve this problem is the installation of reactive power compensation. Quick payback period provides a profit for the JSC, at low cost for modernization and reconstruction.

**Keywords:** reactive power losses, compensation distribution networks installation, annual economic benefit.

В электрической сети в целом должно обеспечиваться равенство генерации и потребления активной и реактивной мощности. Основным нормативным показателем поддержания баланса активной мощности в каждый момент времени является частота переменного тока (общесистемный критерий), а реактивной - уровень напряжения (местный критерий, существенно отличающийся для каждого узла нагрузки и каждой ступени номинального напряжения) [1].

Наличие реактивной мощности приводит к увеличению платы за электроэнергию, дополнительным потерям и перегреву проводов, перегрузке подстанций, необходимости завышения мощности трансформаторов и сечения кабелей. В настоящее время прирост потребления реактивной мощности превышает рост потребления активной мощности вследствие бурного внедрения современных электротехнических и радиотехнических устройств (системы освещения и рекламы, кондиционирования, частотные преобразователи электроприводов, импульсные блоки питания и т.д.). Также увеличивается рост потребляемой реактивной мощности преимущественно в сетях низкого напряжения, что влияет на работу других электроприемников, в свою очередь сокращает срок их службы, создает дополнительные потери электроэнергии. Появление новых типов электроприемников (микроволновых печей, кондиционеров, морозильников, люминесцентных светильников, стиральных и посудомоечных машин, персональных компьютеров и др.) влечет за собой изменение характера коммунально-бытовой нагрузки, которые потребляют из питающей сети наряду с активной значительную реактивную

мощность, что приводит к росту потребления реактивной мощности. Можно сделать вывод, что из-за изменения структуры потребления общее потребление реактивной мощности приближенно оценивается в 1 квар на 1 кВт суммарного потребления (нагрузки) активной мощности.

Наиболее значимыми потерями в распределительных сетях являются потери, связанные с небалансом реактивной мощности. По оценкам, потери реактивной мощности в трансформаторах и автотрансформаторах составляют приблизительно 10 % от передаваемой через трансформатор полной мощности, при каждой трансформации напряжения. Кроме того, повышенное потребление РМ из сети при низких значениях  $\cos \varphi$  требует увеличения сечений проводов и кабелей в электрических сетях с целью уменьшения потерь, что приведет к увеличению расхода цветных металлов (меди и алюминия) более чем на 50%.

В большинстве европейских стран коэффициент реактивной мощности  $\text{tg}\varphi$  в режиме максимальных нагрузок поддерживается на уровне 0,2–0,4, что соответствует  $\cos\varphi = 0,98\text{--}0,92$ . В последние годы во многих энергосистемах США распределительные электрические сети в режиме максимальных нагрузок работают без перетоков реактивной мощности  $\text{tg}\varphi = 0$ .

Одной из причин аварии в 2005 году подстанции «Чагино» заявлен фактор недостатка реактивной мощности в электрических сетях г. Москвы, хотя вовремя сделанная компенсация и оптимизация могла бы предотвратить такие большие материальные потери. Существует острая необходимость внимательного отношения к проблеме компенсации реактивной мощности не только предприятий, но сетевых компаний.

Следует отметить, что в настоящее время требования по компенсации реактивной мощности по сравнению с предыдущими нормативными документами несколько ужесточились. Однако на сегодняшний день в России требования по компенсации реактивной мощности гораздо ниже, чем в промышленно развитых странах. Тем не менее, они не выполняются, особенно это касается распределительных электрических сетей напряжением 10 кВ и ниже.

На основе данных контрольного замера, произведенного 21 декабря 2010 года по показаниям активного и реактивного счетчиков, установленных на отходящих линиях 10 кВ, были рассчитаны мощности и определен коэффициент реактивной мощности каждой из линий. На рис. 1 представлена упорядоченная диаграмма  $\text{tg} \varphi$  исследованных линий 10 кВ, для наглядности расположенных в порядке возрастания коэффициента.

Анализ диаграммы распределения  $\text{tg} \varphi$  в линиях 10 кВ показывает, что лишь 20 % линий имеют  $\text{tg} \varphi$  не более 0,4 ( $\text{tg} \varphi \leq 0,4$ ), а 80 % линий имеют значение тангенса выше предписанных и среднее значение тангенса составляет 0,67. Наиболее оптимальной является компенсация реактивной мощности у потребителя с помощью конденсаторных батарей.

Преимущества конденсаторных установок:

- малые потери (до 0,5 Вт на 1 квар мощности);
- простой монтаж и эксплуатация;

- возможность подключения в любой точке электросети;
- небольшие эксплуатационные затраты;
- возможность компенсации практически любой реактивной мощности;
- быстрая окупаемость.

Конденсаторные установки решают следующие проблемы:

- снизить оплату за потребленную реактивную мощность;
- обеспечить подачу электроэнергии по кабелю с меньшим сечением;
- избежать глубокой просадки напряжения на линиях электропитания удаленных потребителей;
- облегчить пуск электродвигателей.

По месту подключения различают следующие схемы компенсации реактивной мощности (рис. 1):

- общая - на вводе предприятия;
- групповая - на линии электроснабжения группы однотипных потребителей;
- индивидуальная - конденсаторная установка устанавливается в непосредственной близости к потребителю с низким косинусом  $\phi$ ;
- смешанная - производная между общей и индивидуальной.

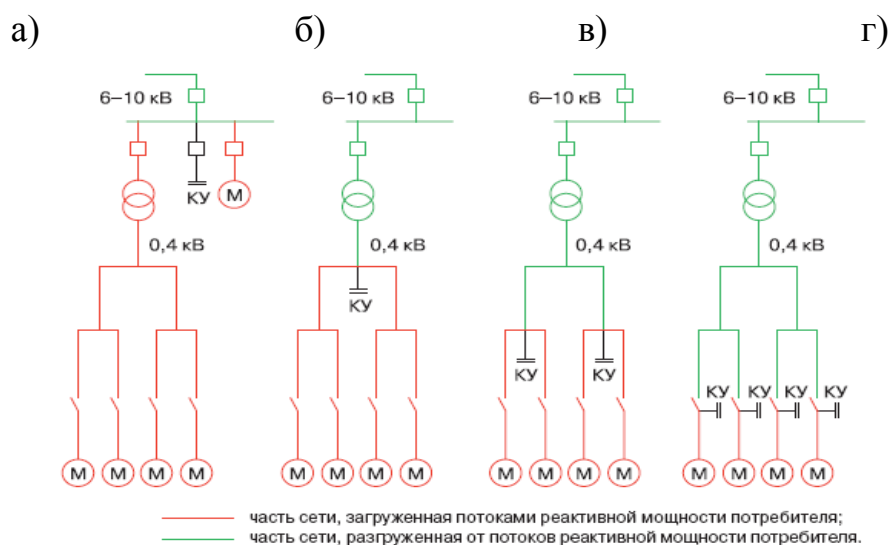


Рис.1. Схемы подключения компенсирующих устройств:

- а – централизованная на высшей стороне; б - централизованная на низшей стороне; в - групповая; г - индивидуальная

Протяженность линий электропередач 10 кВ в России составляет около 2 млн км, даже небольшой экономический эффект на одной линии даст огромную экономию по стране.

В результате анализа режимов работы в распределительных сельских сетях ВЛ-10кВ реактивная мощность составляет около 0,67 вместо нормируемого 0,4 (рис. 3). Известно, что применение конденсаторных установок позволяет компенсировать реактивную мощность, тем самым добиться снижения потерь напряжения и электроэнергии в сетях, повысить коэффициент мощности.





$$Q_c = P_a \cdot (\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2),$$

$P$  – активная мощность нагрузки, кВт;

Значение  $(\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2)$  определяется, исходя из значений  $\cos\varphi_1$  и  $\cos\varphi_2$ :

$\cos(\varphi_1)$  – коэффициент мощности потребителя до установки компенсирующих устройств (действующий коэффициент мощности);

$\cos(\varphi_2)$  – коэффициент мощности после установки компенсирующих устройств (желаемый коэффициент мощности).

Отсюда формулу можно привести к виду:

$$Q_c = P_a \cdot K,$$

где  $k$  – коэффициент, получаемый из таблицы 1 в соответствии со значениями коэффициентов мощности  $\cos(\varphi_1)$  и  $\cos(\varphi_2)$ .

Для расчета возьмем линию Л-49-2 (рис. 2):

Активная мощность нагрузки линии Л-49-2:  $P_a = 1368,2$  кВт.

Реактивная мощность линии Л-49-2:  $Q = 3653,10$  кВар.

Действующий  $\operatorname{tg}\varphi_1 = 2,67 \approx 2,77$ ;  $\cos \varphi_1 \approx 0,34$ .

Желаемый коэффициент мощности, для улучшения качества, а главное для снижения потерь электроэнергии, передаваемой по линии,  $\cos \varphi_2 = 0,96$ .

Определяем из таблицы 1 значение коэффициента  $k = 2,48$ .

Таблица 1

Определение реактивной мощности установки, необходимой для достижения заданного (желаемого)  $\cos(\varphi)$

Текущий (действующий)		Требуемый (достижимый) $\cos(\varphi)$							
$\tan(\varphi)$	$\cos(\varphi)$	0.80	0.82	0.85	0.88	0.90	0.92	0.94	0.96
		Коэффициент К							
3.18	0.30	2.43	2.48	2.56	2.64	2.70	2.75	2.82	2.89
2.96	0.32	2.21	2.26	2.34	2.42	2.48	2.53	2.60	2.67
2.77	0.34	2.02	2.07	2.15	2.23	2.28	2.34	2.41	2.48
2.59	0.36	1.84	1.89	1.97	2.05	2.10	2.17	2.23	2.30
2.43	0.38	1.68	1.73	1.81	1.89	1.95	2.01	2.07	2.14
2.29	0.40	1.54	1.59	1.67	1.75	1.81	1.87	1.93	2.00
2.16	0.42	1.41	1.46	1.54	1.62	1.68	1.73	1.80	1.87
2.04	0.44	1.29	1.34	1.42	1.50	1.56	1.61	1.68	1.75
1.93	0.46	1.18	1.23	1.31	1.39	1.45	1.50	1.57	1.64
1.83	0.48	1.08	1.13	1.21	1.29	1.34	1.40	1.47	1.54
1.73	0.50	0.98	1.03	1.11	1.19	1.25	1.31	1.37	1.45
1.64	0.52	0.89	0.94	1.02	1.10	1.16	1.22	1.28	1.35
1.56	0.54	0.81	0.86	0.94	1.02	1.07	1.13	1.20	1.27
1.48	0.56	0.73	0.78	0.86	0.94	1.00	1.06	1.12	1.19
1.40	0.58	0.65	0.70	0.78	0.86	0.92	0.98	1.04	1.11
1.33	0.60	0.58	0.63	0.71	0.79	0.85	0.91	0.97	1.04
1.30	0.61	0.55	0.60	0.68	0.76	0.81	0.87	0.94	1.01
1.27	0.62	0.52	0.57	0.65	0.73	0.78	0.84	0.91	0.99
1.23	0.63	0.48	0.53	0.61	0.69	0.75	0.81	0.87	0.94
1.20	0.64	0.45	0.50	0.58	0.66	0.72	0.77	0.84	0.91
1.17	0.65	0.42	0.47	0.55	0.63	0.68	0.74	0.81	0.88
1.14	0.66	0.39	0.44	0.52	0.60	0.65	0.71	0.78	0.85
1.11	0.67	0.36	0.41	0.49	0.57	0.63	0.68	0.75	0.82
1.08	0.68	0.33	0.38	0.46	0.54	0.59	0.65	0.72	0.79
1.05	0.69	0.30	0.35	0.43	0.51	0.56	0.62	0.69	0.76

Необходимая реактивная мощность установки  
 $Q_{ку} = 1368,2 \cdot 2,48 = 3393,14$  кВАр.

Проведя сравнительный анализ заводов изготовителей компенсирующих устройств, наиболее приемлемыми по стоимости и достойными по надежности выбрали оборудование завода НПП «Электропривод», производящего высоковольтное и энергосберегающее оборудование, г. Чебоксары.

По результатам расчета для повышения  $\cos(\varphi)$  на линии Л-49-2 следует установить две установки УКРМ-1800 кВАр,

$$Q_{уст} = 3600 \geq 3393,14 \text{ кВАр.}$$

Тем самым снижается реактивная нагрузка на 60%, которая повлечет за собой экономию энергопотребления за счет протекания меньшего тока.

Формула для вычисления общего тока нагрузки:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi},$$

где P – активная мощность; U – номинальное напряжение;  $\cos \varphi$  – коэффициент мощности.

Ток в линии до внедрения конденсаторной установки составлял

$$I = \frac{1368,2}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,34} = 232,61 \text{ А.}$$

Ток в линии после внедрения составил

$$I = \frac{1368,2}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,96} = 82,4 \text{ А.}$$

Таблица 2

Прайс-лист на конденсаторные установки (действует с 1 марта 2015 г.)

Нерегулируемые (УККРМ-7)-6,3/10,5 кВ		Цена
1	УКРМ-150 кВАр напольное исп.	191 600
2	УКРМ-300 кВАр напольное исп.	190 800
3	УКРМ-400 кВАр напольное исп. с отечественн. комплект.	199 700
4	УКРМ-400 кВАр напольное исп. с импортной компл.	211 400
5	УКРМ-450 кВАр напольное исп.	224 100
6	УКРМ600 кВАр напольное исп.	247 000
7	УКРМ-750 кВАр напольное исп.	294 300
8	УКРМ 900 кВАр напольное исп. с отеч. компл.	300 200
9	УКРМ-900 кВАр напольное исп. с импортн. компл.	287 400
10	УКРМ 1050 кВАр напольное исп.	409 900
11	УКРМ-1200 кВАр напольное исп.	428 400
12	УКРМ-1350 кВАр напольное исп.	435 900
13	УКРМ-1500 кВАр напольное исп.	495 100
14	УКРМ -1800 кВАр напольное исп. с отеч. компл.	505 500

При установки компенсирующего устройства ток в линии снизился на 64,5%, что позволяет передать большее количество активной мощности по сети и влияет на снижение потерь электроэнергии в линии.

Определяем потери в линии по формуле:

$$W = I^2 \cdot R \cdot T,$$

где I - средний ток; R – сопротивление линии; R=0,42 Ом, для провода марки АС-70/11; T – время работы линии, линия работает 8700 часов в год, не считая выводов в ремонт и аварийных отключений (60 часов).

Расчет потерь линии до внедрения КУ в год:

$$\Delta W_1 = 231,61^2 \cdot 0,42 \cdot 8700 = 197708,5 \text{ кВт.}$$

Произведем расчет потерь линии с установкой КУ в год:

$$\Delta W_2 = 82,4^2 \cdot 0,42 \cdot 8700 = 24809,8 \text{ кВт.}$$

Разница потерь составит:

$$\Delta W = 197708,58 - 24809,8 = 172898,78 \text{ кВт.}$$

Исходя из разницы потерь годовая экономия в оплате энергии составит:

$$\mathcal{E}_{год} = \Delta W \cdot C.$$

C=3,945 руб/кВт- тариф на активную энергию.

$$\mathcal{E}_{год} = 172898,78 \cdot 3,945 = 682085,7 \text{ руб.}$$

В общем случае примем стоимость всех дополнительных затрат в размере 10% от стоимости поставляемой конденсаторной установки, капиталовложения составят:

$$\mathcal{E}_к = (C_{y1} + ..C_{yi} + ... + C_{yn}) \cdot K_d + C_d,$$

где C<sub>yi</sub> – стоимость i-й конденсаторной установки; n – количество конденсаторных установок; K<sub>д</sub> – коэффициент дополнительных затрат, =1,1; C<sub>д</sub> – стоимость оборудования дистанционной связи.

$$\mathcal{E}_к = (505500 \cdot 2) \cdot 1,1 + 21330 = 1043330 \text{ руб.}$$

Период окупаемости составит:

$$T_{окуп} = \frac{\mathcal{E}_к}{\mathcal{E}_{год}},$$

$$T_{окуп} = \frac{1043330}{682085,7} = 1,5 \quad T_{окуп} = 482600/601482,6 = \text{года.}$$

Годовой экономический эффект

$$\mathcal{E}_ф = \mathcal{E}_e - \frac{\mathcal{E}_к}{T_c} = 682085,7 - \frac{1043330}{10} = 577752,7 \text{ руб.}$$

Гарантия на установку УКРМ-1800 - 3года, срок службы 10 лет.

Одним из приоритетных направлений в современной энергетике является энергосбережение. Одна из технологий, которая может обеспечить большую экономию, - это компенсация реактивной мощности. Из расчетов можно сделать вывод, что внедрение компенсирующих устройств требует небольших затрат, которые быстро себя окупают и улучшат технические характеристики распределительных сетей 10кВ, такие как качество электроснабжения,

снижение падение напряжения в часы максимальных нагрузок, увеличение пропускной способности.

#### Список литературы

1. Кочкин В. Реактивная мощность в электрических сетях. Технологии управляемой компенсации [ЭР] ([http://www.tatenergo.ru/download^\\_stata\\_rm\\_es.pdf](http://www.tatenergo.ru/download^_stata_rm_es.pdf)).
2. Губаев Д.Ф. Управление реактивной мощностью - эффективное средство повышения надежности и экономичности работы энергосистемы и потребителей электрической энергии Республики Татарстан [ЭР] ([http://www.tatenergo.ru/download/rp\\_up\\_rp\\_presentation.pdf](http://www.tatenergo.ru/download/rp_up_rp_presentation.pdf))
3. Черкасова Н.И. Повышение энергоэффективности системы сельского электроснабжения компенсирующими устройствами // Механизация и электрофикации сельского хозяйства – М., 2013. - №6. – С. 17-19.
4. <http://www.elprivod.ru/pricekrm/index.html>
5. <http://slavenergo.ru/table2>
6. <http://www.chelzeo.ru/catalog/jelektrooborudovanie-do-1000/ukrm04/>

### **ПОЛУЧЕНИЕ ОБОГАЩЕННЫХ КОНЦЕНТРАТОВ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩИХ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ**

Торопова Н.В., студентка гр. ХТб-131,

Научные руководители: Игнатова А.Ю., к.б.н., доцент,

Папин А.В., к.т.н, доцент

*Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева*

*Kuzbass State Technical University*

*TF Gorbachev*

**Аннотация.** Приведен обзор существующих методов и способов переработки мелкодисперсных отходов угольной и коксохимической отраслей – угольных шламов, коксовой и угольной пыли. Описаны преимущества создания обогащенных концентратов на основе коксовой и угольной пыли методом масляной агломерации. Так, данный метод является эффективным и комплексным процессом, при котором выход углекоксового концентрата составляет до 85%. Представлены характеристики разрабатываемого углекоксового концентрата.

**Ключевые слова:** угольные шламы, методы переработки, угольная и коксовая пыль, масляная агломерация

### **OBTAIN ENRICHED CONCENTRATE BASED CARBON TECHNOGENIC WASTE**

Toropova Nadezhda, student gr. KHTb -131

Supervisor: Alla Ignatova, to BN, Associate Professor,

Andrey Papin,

PhD, Associate Professor

*Kuzbass State Technical University*

*TF Gorbachev*

**Annotation.** A review of existing methods and ways of processing the waste of fine coal and coke-chemical industries - coal sludge, coke and coal dust. The advantages of creating enriched

concentrates based coke and coal dust by oil agglomeration. Thus, this method is effective and complex process in which the output uglekoksovogo concentrate amounts to 85 %. The characteristics of the developed uglekoksovogo concentrate.

**Keywords:** coal sludge, methods of processing, coal and coke dust, oil agglomeration.

В современных условиях развития промышленности, экономики повышается энергопотребление, поэтому актуально создание энергосберегающих технологий, обеспечивающих применение сырья и материалов с наибольшим снижением вредного воздействия на окружающую природную среду.

В настоящее время остро стоит проблема утилизации мелкодисперсных отходов угольной и коксохимической промышленности. Основными углеродосодержащими отходами с размером частиц до 1 мм являются угольные шламы, коксовая и угольная пыль.

Угольные шламы - отходы, образование которых происходит в технологических процессах, связанных с транспортировкой, добычей и обогащением угля и примерно составляющих около 15% от общего количества перерабатываемого угля.

Высокая зольность (до 80%) и мелкодисперсность (менее 1 мм) - главные недостатки при переработке угольных шламов [1].

Объемы образования коксовой пыли достаточно велики. Примерно на одном коксохимическом предприятии в год образуется около 18-20 тыс. т коксовой пыли, если учитывать, что в России насчитывается 12 коксохимических производств, то эти объемы весьма значительны [2].

Из-за мелкодисперсного состояния и высокой зольности, сложности с разгрузкой и транспортировкой коксовая пыль почти что не находит применения.

Настоящий вид отходов коксового производства образуется почти на всех стадиях производственного процесса, но большее количество пыли выделяется на УСТК при тушении и во время перегрузки на конвейерах. Коксовая пыль требует специальной подготовки для вторичного использования в металлургии. Одним из методов подготовки выступает окускование. С его помощью пыль можно будет добавлять в шихту для коксования или применять как материал для вспенивания сталеплавильного шлака. Известны три способа окускования пыли:

Грануляция – процесс переработки материала в куски геометрически единообразной формы и одинаковой массы, называемые гранулы.

Брикетирование – процесс получения кусков (брикетов) с добавкой или без добавки связующих веществ с дальнейшим прессованием смеси в брикеты требуемого размера и формы [3].

Агломерация – это образование спеканием относительно крупных пористых кусков из мелкой руды или пылевидных материалов. При агломерации легкоплавкая часть материала, затвердевая, сцепляет между собой твердые частицы.

Угольная пыль состоит из частиц размером до 300 мкм с преобладанием мелких фракций. Больше всего в угольной пыли частиц размером от 20 до 50 мкм; она сыпуча и легко растекается под влиянием легких толчков, образование её происходит при добыче и транспортировке угля.

Данные отходы содержат в себе от 30 до 80% (и более) горючих веществ и поэтому могут быть переработаны в качестве вторичного сырья. Высокая зольность указанных отходов - от 14 до 80% мас. - не позволяет утилизировать их в виде какого-либо топлива без предварительной подготовки, например, обогащения, так как концентрация полезного углеродного составляющего будет небольшой [4].

Существуют различные способы переработки и утилизации мелкодисперсных отходов угольной и коксохимической промышленности.

Известен способ получения брикетов мелкодисперсных частиц кокса и угля, которые могут быть использованы в товарном виде как горючее вещество. Топливный брикет состоит из мелких углеродосодержащих частиц с полимерным связующим. В качестве связующего используется водный раствор поливинилового спирта, и вспомогательно брикет содержит минеральное масло [5].

Существует способ приготовления суспензионного угольного топлива большей частью из угольных шламов, который в последнее время применяется для результативной переработки мелкодисперсных отходов углеобогащения путем их сжигания в топках котлов. Технологический комплекс по получению суспензионного угольного топлива включает смеситель с дозированной подачей в него угольного шлама и технической воды с пластифицирующей добавкой, разгрузочный патрубок которого снабжен контрольным ситом с вибратором и приемный зумпф с насосом [6].

Целью наших исследований является получение обогащенного концентрата на основе коксовой и угольной пыли, что позволит получить высококалорийное топливо, которое можно широко использовать в технологии коксования, энергетической отрасли, а также для приготовления композиционных видов топлива.

Обогащение проводим методом масляной агломерации, так как другие методы обогащения невозможно использовать ввиду их низкой селективности мелкодисперсных частиц. Данный метод позволит существенно приумножить сырьевую базу предприятий энергетики и коксохимических производств, решить проблему утилизации отходов предприятий угольной отрасли, улучшить состояние окружающей природной среды

Обогащение мелкодисперсных углеродосодержащих отходов методом масляной агломерации (грануляции) является эффективным и комплексным процессом, выход углемасляного концентрата при котором составляет до 85%.

Применение процесса масляной агломерации позволяет получать концентраты из коксовой и угольной пыли с низким содержанием зольности, оптимальные для технологии коксования и прямого сжигания.

Разрабатываемый углемасляный концентрат, полученный обогащением коксовой и угольной пыли, будет иметь следующие характеристики:

Наименование показателя	Содержание компонента, мас. %
Выход летучих веществ (Vdaf)	28, 0
Зольность (Ad)	5, 4
Сера общая (Собщ.)	0, 25
Влага в рабочем состоянии (Wtr )	10, 5
Содержание классов 0-3 мм (помол)	98, 0

Внедрение разрабатываемой технологии позволит улучшить экологическую ситуацию в угледобывающих и углеперерабатывающих регионах.

#### Список литературы

1. Химическая технология горючих ископаемых / Г.Н. Макаров, Г.Д. Харлампович, Ю.Г. Королев и др.; Под ред. Г.Н. Макарова и Г.Д. Харламповича – М.: Химия, 1986. – 496 с.
2. Елишевич А.Т. Брикетирование угля со связующим. - М.: Недра, 1972. - 216 с.
3. Злобина Е.С. Экологические и технологические аспекты утилизации твердых углеводородных отходов / Е.С. Злобина, А.В. Папин, А.Ю. Игнатова // Вестник КузГТУ. - 2015. - №3. - С. 92-101.
4. Пат. № 2467058 Топливный брикет и способ его формирования / Л. К. Алтунина, В. Н. Манжай, М. С. Фуфаева, Л. А. Егорова // Институт химии нефти Сибирского отделения РАН (ИХН СО РАН) (RU), ГОУ ВПО "Томский государственный университет". Заявл. 07.04.2011, опубл. 20.11.2012.
5. Пантелят Г.С., Эпштейн С.И., Музыкаина З.С., Гончарова Р.Б. Современные технические решения по очистке сточных вод от механических примесей и масел на заводах черной металлургии // Сталь. 1979. №6. С. 468-470.
6. Разработка комплексной схемы утилизации железосодержащих отходов/Л.А. Смирнов, В.А. Кобелев, В. Н. Потанин, Я.Ш. Школьник // Сталь. – 2001. №1. – С. 89-90.
7. Пантелят Г.С., Эпштейн С.И., Музыкаина З.С., Гончарова Р.Б. Современные технические решения по очистке сточных вод от механических примесей и масел на заводах черной металлургии // Сталь.1979. №6. С. 468-470.
8. Разработка комплексной схемы утилизации железосодержащих отходов/Л.А. Смирнов, В.А. Кобелев, В.Н. Потанин, Я.Ш. Школьник // Сталь. – 2001. №1. – С. 89-90.
9. Технология утилизации масложелезосодержащих отходов прокатного производства./ Ибраев И.К., Таргинова Г.Б., Кулишкин С.Н., Ибраева О.Т.// Сборник трудов Международной научно-практической конференции: «Энергосберегающие технологии Прииртышья».- Павлодар, 2001.- С. 289-293.
10. Проблемы ресурсов и пути их решения в металлургической и горнодобывающей отраслях промышленности / О.Т. Ибраева, И.К. Ибраев, В.И.

Чернецов, В.И. Лехтмец // Научно-технический прогресс в металлургии (сборник научных трудов) – Алматы: РИК по учебной и методической литературе, 2007. - С.11-19.

11. Разработка и внедрение технологии производства агломерата из шихт, содержащих атасуйские руды, соколовско-сарбайский концентрат, лисаковские руды и концентрат гравитационно - магнитного обогащения (отчет). Шифр 253.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ АВТОМОБИЛЬНОГО ДИЗЕЛЯ С ЭЛЕКТРОННЫМ РЕГУЛЯТОРОМ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ**

С.И. Тырловой

*Луганский государственный университет имени Владимира Даля*

Предложена методика моделирования переходных процессов высокооборотного автомобильного дизеля с электронным регулятором, дающая возможность учитывать влияние на расход топлива различных эксплуатационных факторов, например: степени износа плунжерных пар, количества передач КПП (коробки переключения передач) и темпа их переключения, физических свойств топлива, маршрута движения (подъемы, уклоны, роза ветров) и прочих.

**Ключевые слова:** цикловая подача, переходные процессы дизелей, путевой расход топлива, топливный насос, активный ход плунжера, автоматический регулятор.

## **TRANSIENT SIMULATION OF AUTOMOBILE DIESEL ENGINE WITH ELECTRONIC SPEED CONTROLLER**

S.I. Tyrlovoy

*Lugansk State University named after Volodymyr Dahl.*

The technique of modeling transient high-speed automotive diesel engine with electronic controller, making it possible to take into account the impact on fuel consumption of various operational factors, such as wear plunger, the number of Gearing (gearbox) and the pace of their shift, the physical properties of the fuel, the route ( lifts, slopes, wind rose), and others.

**Keywords:** cyclic flow, transients diesel engines, track fuel consumption, fuel pump, the active stroke of the plunger, automatic slack.

**Постановка проблемы.** При определении рациональных маршрутов автомобилей одним из важнейших исходных параметров является эксплуатационный расход топлива силовыми агрегатами транспортных установок, который в процессе эксплуатации существенно изменяется в зависимости от различных факторов. Переходные процессы занимают значительную часть времени работы автомобильного двигателя. Поэтому определение расхода топлива на этих режимах является важной составляющей эксплуатационного расхода топлива. В настоящее время продолжается широкое использование в автохозяйствах стран СНГ экономичных высокооборотных автомобильных дизелей зарубежного производства с распределительными топливными насосами высокого давления (ТНВД) типа BOSCH, оснащенными во многих случаях электронными регуляторами. Регуляторы, встроенные в корпус ТНВД, определяют положение дозатора топлива насосной секции и



формируют характеристики топливоподачи, от которых зависят эксплуатационный расход топлива, динамические и экологические характеристики двигателя. В эксплуатационных условиях работа транспортных двигателей внутреннего сгорания характеризуется частыми сменами режимов, наличием износа плунжерных пар, использованием различных топлив, в том числе синтетических. В доступной литературе отсутствуют сведения как о влиянии названных факторов на путевой расход топлива, так и методике его определения для рассматриваемых двигателей зарубежного производства. Отсутствие названных зависимостей не позволяет решить задачу по определению путевого расхода топлива двигателями этого класса и, соответственно, рационально планировать маршруты данных транспортных установок в различных условиях эксплуатации.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Вопросам работы регуляторов посвящены многие работы, например [1-4], процессы топливоподачи распределительных ТНВД описаны в работах [5-8], наиболее современное и универсальное моделирование выполнено в [9]. Однако процесс топливоподачи при неустановившихся режимах отличается от такового при стационарном режиме по крайней мере следующим: активный ход плунжера, определяемый координатой дозатора, не определяет полностью цикловую подачу топлива, которая зависит также от частоты вращения вала насоса (скорости плунжера), давления топлива в корпусе насоса, вязкости и других физических свойств топлива [10], конструкции нагнетательных клапанов и связанного как с этим, так и с текущей угловой скоростью, остаточного давления в трубопроводе высокого давления. Переходные процессы могут идти по-разному в зависимости от износа плунжерных пар, параметров силовой установки, в том числе системы автоматического регулирования частоты вращения коленчатого вала, конструкции автомобиля и профиля дороги.

**Цель статьи** – создать методику моделирования переходных процессов дизеля с электронным регулятором, дающую возможность учитывать влияние на расход топлива различных эксплуатационных факторов, например: степень износа плунжерных пар, количество передач КПП (коробки переключения передач) и темп их переключения, физические свойства топлива, маршрут движения (подъемы, уклоны, роза ветров) и прочие.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие взаимосвязанные задачи.

1. Моделирование процесса топливоподачи распределительным ТНВД типа BOSCH VED при использовании различных топлив и износах плунжерных пар.

2. Моделирование рабочего процесса дизеля с использованием метода объемного баланса проф. Глаголева Н.М. и методики Гриневецкого-Мазинга (как наиболее универсальной) для определения выходных показателей двигателя.

3. Моделирование работы электронного регулятора.

Эти задачи по отдельности достаточно подробно рассмотрены в предыдущих работах автора [4, 6, 8 и др.]. В настоящей работе показаны некоторые результаты решения названных взаимосвязанных задач, что позволило создать методику моделирования переходных процессов исследуемого класса дизелей и использовать ее в качестве инструмента для определения эксплуатационного расхода топлива.

**Моделирование процесса топливоподачи.** Величины цикловой подачи топлива ( $V_{ц}$ ) при различных режимах ДВС и физических свойствах топлива далеко неоднозначно зависят от положения дозатора топлива. Для установления этих зависимостей выполнено моделирование процесса топливоподачи применительно к распределительному ТНВД фирмы BOSCH.

Для моделирования процесса топливоподачи использовалась методика [7], базирующаяся на одномерном представлении неустановившегося движения жидкости в нагнетательном трубопроводе. Модель уточнена понятием «следа прошедших волн», разработанного профессором Крайнюком А.И., что позволяет более точно моделировать процесс впрыска вязких топлив. Кроме того, использовались экспериментальные данные, полученные на кафедре ДВС по величинам износа плунжерных пар в эксплуатации и коэффициентам расхода вязких топлив.

Для описания изменения физических свойств топлива от текущей величины давления впрыска использовались зависимости и данные, приведенные в работах [6, 10]. На основе этих данных определены аппроксимирующие формулы для вязкости, сжимаемости, плотности и коэффициентов расхода при истечении топлива через дросселирующие сечения.

Полученные данные использованы при расчете процесса впрыска для трех значений положения дозатора  $H_{от}$  (0,9 мм, 1,2 мм и 1,5 мм), трех значений износа плунжерной пары (новая, средний износ и максимальный износ в эксплуатации), пяти значений вязкости топлива  $\nu$  (кинематической в сСт – 4, 8, 12, 16, 20), шести значений частот вращения вала ТНВД (100, 300, 600, 1200, 1500, 2000  $\text{мин}^{-1}$ ). Частично результаты исследования приведены на рис. 1 и 2.

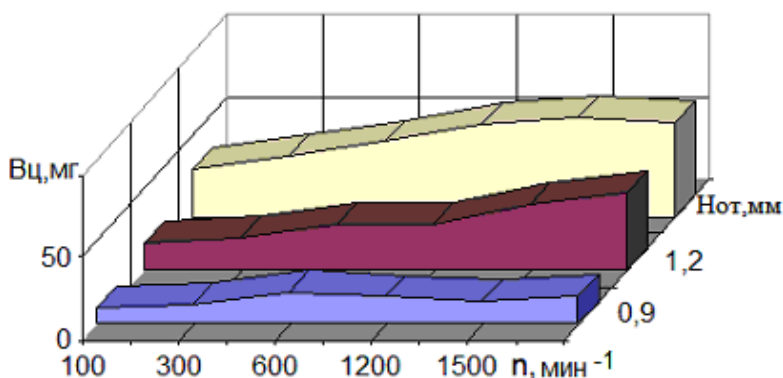


Рис. 1. Цикловая подача дизельного топлива (вязкость 4 сСт) в зависимости от частоты вращения вала ТНВД ( $n$ ) и положения дозатора ( $H_{от}$ ) для новой плунжерной пары

Влияние износа плунжерной пары и вязкости топлива на величину цикловой подачи при постоянном положении дозатора можно видеть на рис.2 для пусковой частоты вращения вала ТНВД.

Как видно из приведенного рисунка, пусковая подача ТНВД на дизельном топливе - в случае предельного износа плунжерной пары - в 4 раза меньше, чем у новой пары, и в 2 раза меньше минимального значения для уверенного запуска дизеля с объемом цилиндра 0,5 литра. При увеличении вязкости топлива пусковая подача возрастает до минимально необходимого значения.

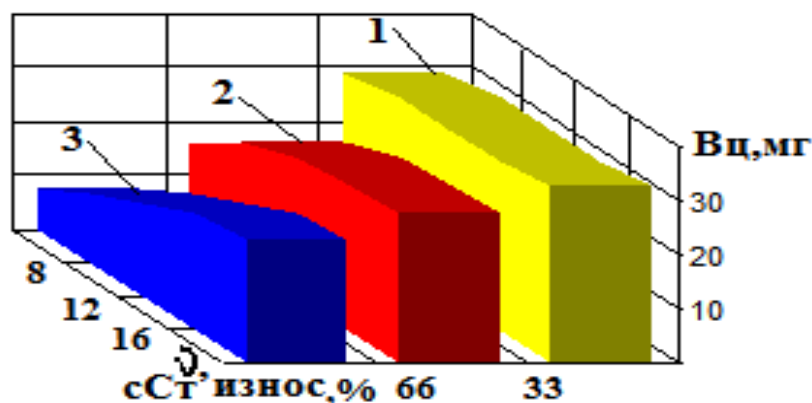


Рис. 2. Цикловая подача при стартерных частотах вращения в зависимости от износа пары и вязкости топлива для максимального значения координаты дозатора  $H_{от} = 1,5\text{мм}$ :

- 1 – новая плунжерная пара; 2 – средний износ плунжерной пары;  
3 – максимальный износ плунжерной пары

При дальнейшем повышении вязкости топлива для питания данного предельно изношенного ТНВД (например, до 16 сСт, что соответствует смеси 50% подсолнечного масла и 50% дизельного топлива) величина пусковой подачи превышает минимально необходимую в 1,5 раза и перестает быть фактором, ограничивающим дальнейшую эксплуатацию исследуемого предельно изношенного (по гидравлической плотности) ТНВД.

В результате выполнения данной работы получены регрессионные зависимости для  $V_{ц}$ , некоторые из которых приведены ниже в следующем виде.

$$V_{ц} = a1*x + a2*x^2 + a3*y + a4*y^2 + a5*x*y + a0,$$

где  $x = n/100$ ;  $y = H_{от} * 10$ ; размерности величин везде  $[V_{ц}] = \text{кг} * 10^6$ ;  $[n] = \text{мин}^{-1}$ ;  $[H_{от}] = \text{м} * 10^3$ .

Значения коэффициентов уравнений регрессии для некоторых исследуемых вариантов приведены ниже.

Для зависимости  $V_{ц}(H_{от}, n)$  при вязкости топлива 4 сСт и новой плунжерной паре:  $a0 = -1.012$ ;  $a1 = 0.605$ ;  $a2 = -0.113$ ;  $a3 = -0.833$ ;  $a4 = 0.177$ ;  $a5 = 0.218$ .

При вязкости топлива 4 сСт и максимальных утечках в плунжерной паре:  $a0 = 28.543$ ;  $a1 = 1.259$ ;  $a2 = -0.142$ ;  $a3 = -7.13$ ;  $a4 = 0.418$ ;  $a5 = 0.242$ .

При вязкости топлива 16 сСт и максимальных утечках в плунжерной паре:  $a_0 = -16.436$ ;  $a_1 = 3.048$ ;  $a_2 = -0.097$ ;  $a_3 = 1.502$ ;  $a_4 = 0.094$ ;  $a_5 = -0.093$ .

Полученные данные позволяют определить влияние режимных параметров и вязкости топлива на величину цикловой подачи топлива в переходном процессе.

**Моделирование рабочего процесса дизеля.** Применение известных методик, например, универсального программного комплекса [11], вызывает затруднения при счете множества рабочих циклов, составляющих даже один переходной процесс, а при расчете путевого расхода топлива для заданного маршрута, аппроксимируемого целым рядом ездовых циклов, в свою очередь состоящих из множества переходных процессов. Поэтому моделирование рабочего процесса дизеля осуществлено с использованием методики Глаголева Н.М. (метод объемного баланса) для расчета газообмена и Гриневецкого-Мазинга для расчета рабочего цикла с уточненными коэффициентами для применения ее в широком диапазоне изменений нагрузки и частоты вращения. Последняя методика принята в расчете не только как наиболее простая, но и как весьма универсальная с ограниченным набором выбираемых коэффициентов. Это дает на выходе модели мощностные и экономические показатели двигателя, в том числе крутящий момент ( $M$ ), расход воздуха ( $G_e$ ).

Для сокращения времени счета переходных процессов получены аппроксимирующие выражения для  $M$ ,  $G_e$  с учетом текущих значений частоты вращения ДВС,  $V_c$  и других показателей.  $V_c$  определяется по приведенным выше выражениям с использованием координаты  $H_{от}$  дозатора топлива, определяемой с помощью разработанной модели электронного регулятора.

**Моделирование работы электронного регулятора.** В результате названного моделирования вычисляется выходной сигнал регулятора в виде числового значения  $h_{om}$  – положения дозатора топлива ТНВД при текущих (мгновенных) значениях скорости вала ДВС, положения акселератора, имеющих ограничения по расходу воздуха (дымлению) и температуре двигателя. Модель составлена применительно к схеме электронного регулятора, показанной на рис. 3. Заданное значение частоты вращения при отсутствии заградительных ограничений задается «электронной педалью». Координата дозатора, устанавливаемая электродвигателем или соленоидом, должна изменяться по закону, исключающему возможности неустойчивой работы САР. При этом желательно минимизировать колебательные составляющие переходного процесса и, в идеале, обеспечить апериодический закон изменения выходной координаты (частоты вращения ДВС).

Регулирование с использованием одного канала, чувствительного к производной сигнала (принцип «по возмущению» или принцип Понселе), не имеет самостоятельного значения, т.к. сигнал управления в установившемся режиме будет равен нулю. Поэтому обязательно наличие параллельного канала, реализующего принцип «по отклонению», или принцип Ползунова.

В таком варианте регулятора повышается быстродействие системы и снижаются ошибки в динамике. Введение второго импульса по нагрузке

повышает качество процесса регулирования: уменьшает время регулирования и заброс числа оборотов при смене нагрузки.

Относительная инерционность исполнительных механизмов электронного регулятора мала, и, с учетом высокого быстродействия микропроцессора, представляется возможным применить имитационную модель, в которой не учитываются реальные массы подвижных элементов, и пренебречь запаздыванием выходного сигнала от входных. Поэтому скорость перемещения дозатора ( $U_h$  - выходной сигнал по скорости) в имитационной модели определяется с пренебрежением постоянной времени как:

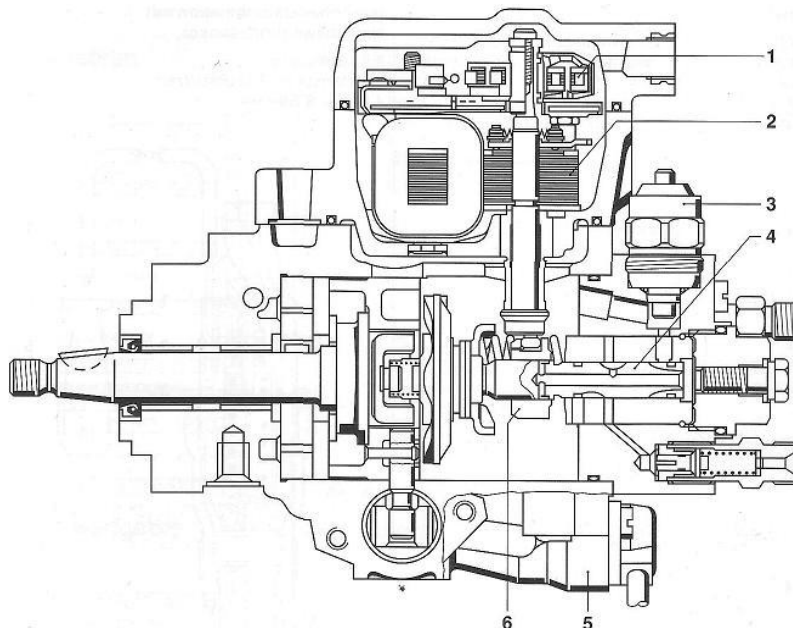


Рис. 3. Схема исполнительной части электронного регулятора частоты вращения:

1 – датчик положения дозатора; 2 – исполнительное устройство перемещения дозатора; 3 – электромагнитный клапан; 4 – плунжер; 5 - устройство перемещения автомата опережения впрыска; 6 – дозатор (отсечной золотник)

$U_h = K_1 \cdot (n - n_0) / n_0 + K_2 \cdot \frac{d\omega}{dt}$ , где  $K_1 = 0,4 \dots 1 \text{ м/с}$  – скорость перемещения дозатора, зависящая от типа сервоусилителя;  $n$  – текущее значение частоты вращения ДВС;  $n_0$  – заданное «электронной педалью» значение частоты вращения ( $n_0 = n_{xx} + n_{max} \cdot X_a$ );  $n_{xx}$  – частота вращения вала ДВС на режиме холостого хода;  $n_{max}$  – максимальная частота вращения вала ДВС;  $X_a$  – относительное положение педали акселератора;  $K_2$  – коэффициент усиления по 2-му каналу (принято  $K_2 = 0,001 \text{ м} \cdot \text{с}$ );  $\frac{d\omega}{dt}$  - угловое ускорение коленчатого вала двигателя.

Операционными данными для функционирования модели являлись экспериментальные и расчетные результаты [6]:

$$B_{\omega} = B_{\omega}(n, h_{от}) \text{ и } \alpha_{min} = \alpha_{min}(n),$$

где  $B_{ц}$  – цикловая подача топлива,  $h_{om}$  – координата дозатора топлива (см. рис. 1),  $\alpha_{min}$  – значение коэффициента избытка воздуха на пределе дымления.

Для обеспечения бездымной работы дизеля координата дозатора  $h_{от}$  не должна превышать предельного значения  $h_{max}$ , аппроксимирующие выражения для которого имеют вид (для дизеля 4С91/95 без турбонаддува):

$$h_{max} = (a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + a_3 \cdot y + a_4 \cdot y^2 + a_5 \cdot x \cdot y + a_0) \cdot 10^{-4},$$

где  $a_0 = 9.082, a_1 = -0.608, a_2 = 0.023, a_3 = 0.256,$

$$a_4 = -0.00116, a_5 = -0.00172 \quad x = n/200, y = B_{max} 10^6.$$

Вычисление предельной для данного режима и топлива цикловой подачи  $B_{max}$  производится следующим образом.

$$B_{max} = Gt_{max} / (Z_c \cdot n \cdot 30),$$

где  $Gt_{max}$  – максимально допустимый по пределу дымления на данном режиме часовой расход топлива;  $Z_c$  – число цилиндров.

Величина  $Gt_{max}$  вычисляется как

$$Gt_{max} = G_B / \alpha_{min} / L_o.$$

Здесь  $G_B$  – расход воздуха;  $\alpha_{min}$  –  $G_b$  – расход воздуха применительно к дизелю 4D56 (4С91/95):

$$G_b = -0.000005746477 * n^2 + 0.09481819 * n - 6.709383.$$

Полученные данные используются далее для счета переходных процессов. Текущая угловая скорость коленчатого вала:

$$\omega = \omega + dt \cdot (M - M_c) / J_D,$$

где  $J_D$  – приведенный к оси коленчатого вала момент инерции ДВС и установки;  $M_c$  – момент сопротивления вращению коленчатого вала. Для автомобиля  $J_D$  включает массу автомобиля  $Ma$ , кинетическую энергию вращающихся масс  $T$  и общее передаточное отношение  $i_s = i_{ГП} * i_{КПП}$  (главной передачи и коробки переключения передач) между валом двигателя и колесами радиусом  $R_k$ :

$$J_D = (1 + \beta) \cdot M_a \cdot \left(\frac{R_k}{i_s}\right)^2,$$

где  $\beta = 2 \cdot T / (M_a \cdot V^2)$  ( $V$  – скорость автомобиля) коэффициент, учитывающий отношение кинетической энергии вращающихся масс к кинетической энергии поступательного движения автомобиля – для автомобильных ДВС обычно принимают  $\beta = 0,15 \dots 0,25$ .

Момент сопротивления вращению коленчатого вала:

$$M_c = (M_{mp} + K_f * V^2 + Ma * 9.81 * R_k * \sin \psi) / i_s,$$

здесь  $M_{mp}$  – момент сопротивления качению автомобиля;  $K_f$  – коэффициент лобового сопротивления;  $\psi$  – угол подъема дорожного полотна.

Для иллюстрации функционирования математической модели приведены расчетные переходные процессы разгона автомобиля Mitsubishi Pajero с дизелем 4D56 (4С91/95) и с электронным регулятором при различных условиях эксплуатации (рис. 4...9). Продолжительность счета принята 10 секунд для всех рисунков, кроме рис. 9.

На рис. 4 показан разгон автомобиля по горизонтали с 5-и 6-ступенчатой КПП. Как видно из рисунка, применение 6-ступенчатой КПП вместо 5-ступенчатой дает существенные преимущества автомобилю как по динамике, так и по расходу топлива (если сопоставление расходов топлива производить при равных скоростях автомобиля).

Настройка автоматической КПП, или характер езды водителя при механической КПП, заметно влияют на показатели разгона автомобиля (рис. 5), так же как и изменение диаметра ведущих колес (рис. 6).

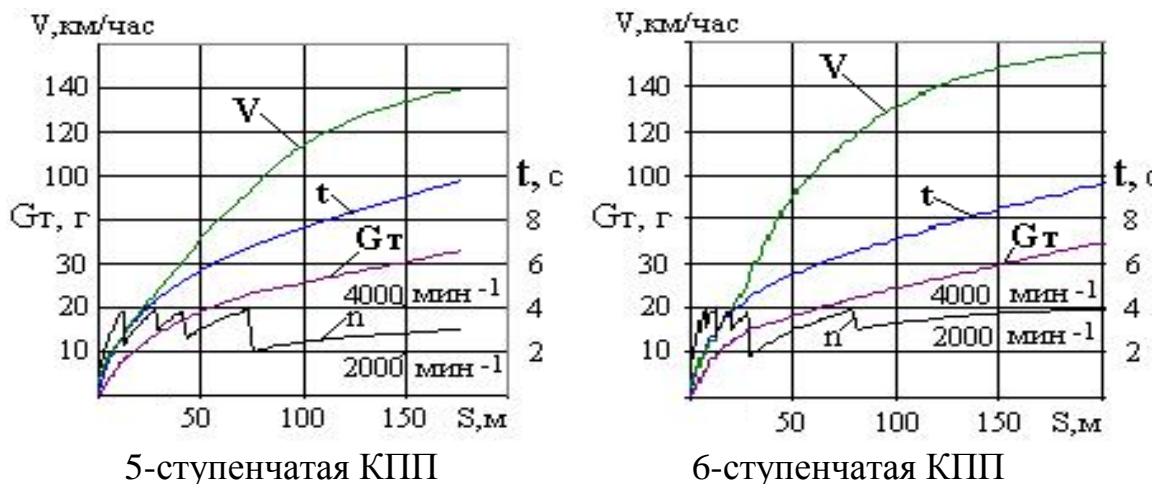


Рис. 4. Разгон автомобиля по горизонтали с 5-и 6-ступенчатыми КПП

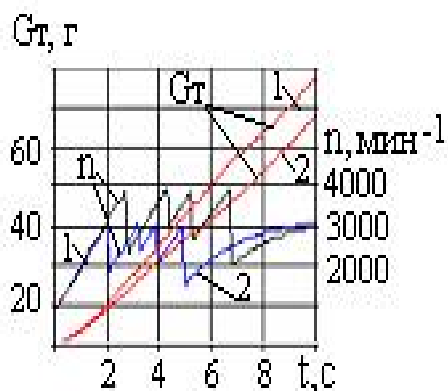


Рис. 5. Влияние темпа переключения КПП на расход топлива при разгоне по горизонтальной дороге

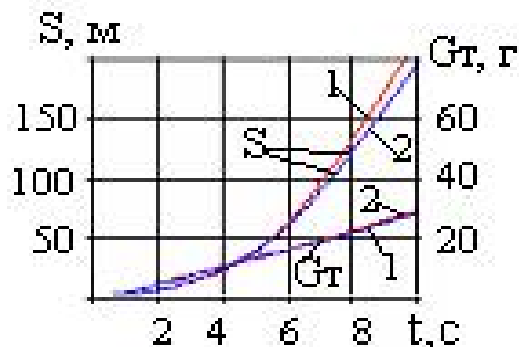


Рис. 6. Зависимость пройденного пути и расхода топлива от диаметра ведущих колес при разгоне по горизонтальной дороге

Данные, представленные на рис. 5, показывают, что расходы топлива для прохождения одного и того же пути снижаются при более раннем (до определенной степени) переключении передач при разгоне по горизонтальному участку дороги. Однако этот эффект снижается при движении на подъем и переходит в свою противоположность при подъемах свыше 7%. Это же касается и влияния диаметра ведущих колес на разгон автомобиля (рис. 6).

При разгоне на подъемах мгновенный расход топлива меняется не существенно от величины подъема, а расход топлива на единицу пути – резко возрастает при соответствующем падении скорости автомобиля.

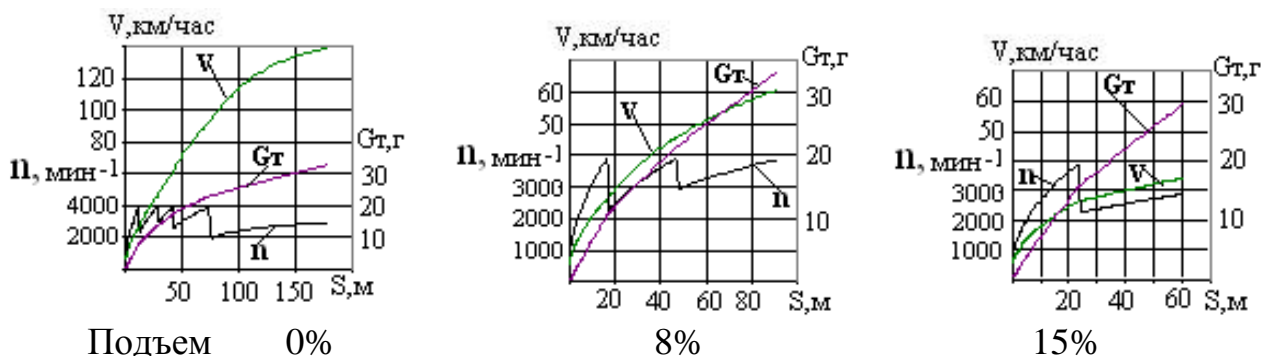


Рис. 7. Разгон автомобиля при различных углах подъема дорожного полотна

Взаимосвязь расхода топлива и скорости автомобиля при различных подъемах дорожного полотна наглядно иллюстрируется рисунком 8.

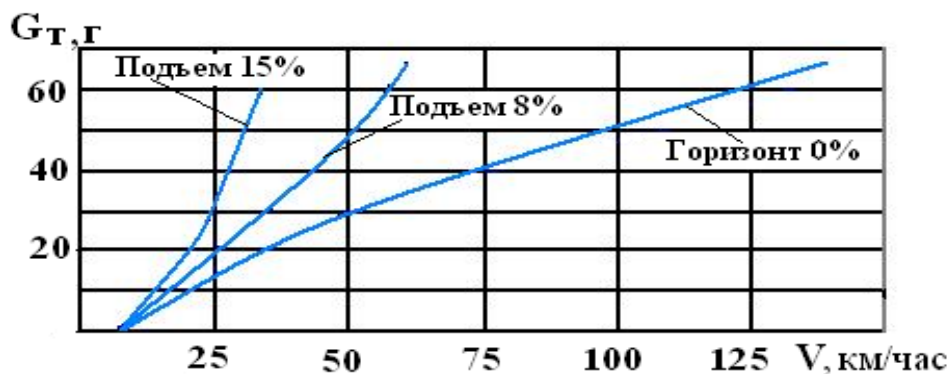


Рис. 8. Взаимосвязь расхода топлива и скорости автомобиля при различных подъемах дорожного полотна

На рис. 9 показано влияние износа плунжерной пары (50%) на ускорение коленчатого вала и расход топлива при начале разгона автомобиля (4 с). Здесь можно сделать вывод, что при допустимом износе плунжерной пары (и при отсутствии других нарушений в работе топливной аппаратуры) несколько снижается расход топлива при соответствующем ухудшении динамических показателей автомобиля. Отмеченный эффект невелик (3% по расходу топлива за 10 с разгона исследуемого автомобиля) и наиболее заметен при низких частотах вращения коленчатого вала. Другой эксплуатационный недостаток изношенной плунжерной пары – ухудшение пусковых качеств дизеля (особенно в жаркую погоду) вплоть до отказов стартерного запуска – в рамках данной статьи не рассматривался.



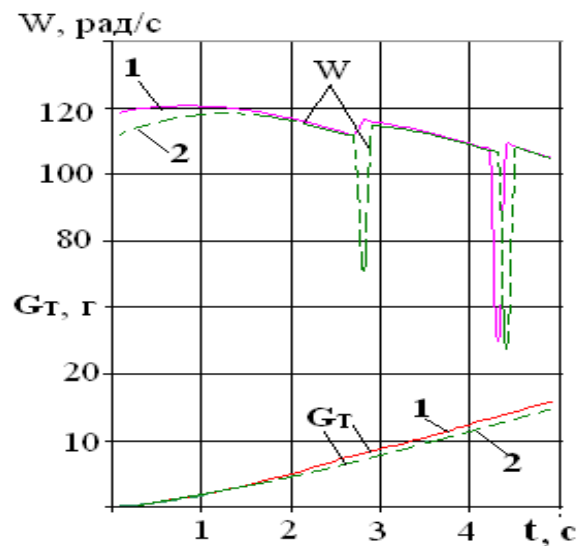


Рис. 9. Влияние износа плунжерной пары (50%) на ускорение  $W$  коленчатого вала и расход топлива при разгоне автомобиля

**Выводы.** Математическая модель позволяет моделировать любые эксплуатационные режимы двигателя, оснащенного электронным регулятором. Учет конструкции автомобиля, данных по загрузке транспортного средства и профиля дороги позволит прогнозировать эксплуатационные расходы топлива автомобилями зарубежного производства с учетом технического состояния топливной аппаратуры, применяемого топлива и особенностей вождения автомобиля.

#### Список литературы

1. Марченко А.П., Рязанцев М.К., Шеховцов А.Ф. Двигуни внутрішнього згорання: Серія підручників у 6 томах. Т.3. Комп'ютерні системи керування ДВЗ / За ред. проф. А.П. Марченка та Засл. діяча науки України проф. А.Ф. Шеховцова.— Харків: Прапор, 2004. - 344 с.

2. Die Deutsche Bibliothek-CIP-Einheitsaufnahme. Dieselmotor-Management /Bosch. Hrsg.: Robert Bosch GmbH, Unternehmensbereich Kraftfahrzeug-Ausrüstung, Abteilung Technische Information (KH/VDT). Chef-Red.: Horst Bauer, Autoren: K.-O. Riesenber...]. - 2., aktualisierte und erw. Aufl.-Braunschweig; Wiesbaden: Vieweg, 1998.- 304s. 1. Марченко А.П., Рязанцев М.К., Шеховцов А.Ф. Двигуни внутрішнього згорання: Серія підручників у 6 томах. Т.3. Комп'ютерні системи керування ДВЗ / За ред. проф. А.П. Марченка та Засл. діяча науки України проф. А.Ф. Шеховцова. - Харків: Прапор, 2004. - 344 с.

3. Крутов В.И. Автоматическое регулирование и управление ДВС. - М. : Машиностроение, 1989. - 416 с.

4. Тырловой С.И. Моделирование работы многорежимных регуляторов распределительных ТНВД / С.И.Тырловой // Вестник СНУ, 2007, №8(114), часть 1. – С. 171-176.

5. Грехов Л. В. Топливная аппаратура с электронным управлением дизелей и двигателей с непосредственным впрыском бензина. Учебно-методическое пособие. - М.: Изд-во "Легион-Автодата", 2001. - 176 с.

6. Тырловой С.И. К определению цикловой подачи топлива ТНВД при неустановившихся режимах высокооборотного автомобильного дизеля // Двигатели внутреннего сгорания. Всеукраинский научно-технический журнал. 2010. № 1. – С. 57-61.

7. Крайнюк А.И. Моделирование движения жидкости в топливных трубопроводах высокого давления дизелей с учетом следа прошедших волн / А.И. Крайнюк, С.И. Тырловой, В.В. Гладков // Вістник СУДУ.–2000, №5(27). С. 133-136.

8. Крайнюк О.І. Паливна апаратура автотракторних дизелів. Навчальний посібник. / О.І.Крайнюк, С.І.Тирловий. - Луганськ: Видавництво СНУ ім. В. Даля, 2007. –134 с.

9. Программный комплекс «впрыск» для исследований топливоподачи. МГТУ им. Баумана [ЭР] <http://energy.power.bmstu.ru/e02/inject/i00rus.htm>

10. Марков В.А.. Зависимость физических свойств автотракторных топлив от температуры и давления. Вестник МГТУ. Сер. Машиностроение. 1999. №1. С. 57–73.

11. Программный комплекс «ДИЗЕЛЬ-РК» для расчета и оптимизации двигателей. МГТУ им. Баумана [ЭР] <http://www.diesel-rk.bmstu.ru>

## **РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГАЗОВОГО ПОДОГРЕВАТЕЛЯ КОНДЕНСАТА ДЛЯ КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА С ПРИМЕНЕНИЕМ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА**

С.Н. Хуторненко

*ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»*

**Аннотация.** В статье рассматривается альтернативная схема включения поверхностей нагрева газового подогревателя конденсата котла-утилизатора, предназначенного для работы в составе энергоблоков ПГУ. Определены математические зависимости, позволяющие выполнить тепловой расчет тракта ГПК.

**Ключевые слова:** *парогазовая установка, газовый подогреватель конденсата, котёл-утилизатор, энергоблок.*

## **Mathematical modeling of preheater of heat recovery steam generator using alternative scheme to incorporate the heating surface**

S. Khutornenko

*"Altai State Technical University"*

**Annotation.** The article discusses the alternative circuit of the heating surfaces of the gas heater of condensate recovery boiler designed for operation in units of combined cycle. Defined mathematical relationships, allowing to perform thermal design of preheater.

**Keywords:** *combined-cycle, a gas heater of condensate, heat recovery steam generator, the power unit.*

Энергетика России, как и энергетика любой другой страны, является основополагающей промышленностью. Наряду с этим в последнее время наблюдается отставание темпов ввода новых мощностей по производству электрической энергии от темпов роста спроса на электроэнергию. Для повышения энергостабильности России наиболее перспективным является строительство энергоблоков, работающих по комбинированному циклу. Согласно энергетической стратегии России одним из целевых показателей программы модернизации электроэнергетики России на период до 2020 года является увеличение установленной мощности газовых ТЭС с применением передовых технологий на основе ПГУ до 50900 МВт [2], [5]. При проектировании основного оборудования для вновь вводимых энергоблоков особое внимание уделяется повышению коэффициента полезного действия энергоблока в целом. Одним из возможных путей повышения КПД блока является снижение затрат электроэнергии на собственные нужды. Несмотря на это вопрос снижения затрат электроэнергии на собственные нужды изучен недостаточно подробно.

В ходе выявления основных групп факторов, которые влияют на процесс повышения эффективности энергоблоков ПГУ посредством оптимизации тепловых схем котлов-утилизаторов, для анализа был принят двухвальный моноблок с котлом-утилизатором (КУ), принципиальная схема энергоблока представлена на рисунке 1.

При анализе схемы энергоблока видно, что основными электропотребителями для обеспечения нормального протекания технологических процессов в схеме котла-утилизатора являются электроприводы арматуры, питательных электронасосов и насоса рециркуляции конденсата. С учётом того, что первые две из перечисленных группы электропотребителей являются неотъемлемыми для обеспечения бесперебойной работы котла-утилизатора, а насос рециркуляции конденсата предусматривается для обеспечения безаварийной работы низкотемпературной поверхности на выходе из КУ (газового подогревателя конденсата или ГПК), то принято решение проработать возможные пути оптимизации тракта газового подогревателя конденсата с возможностью исключения из технологической схемы линии рециркуляции конденсата.

За основу для исследования принят котёл-утилизатор, предназначенный для работы в составе энергоблока ПГУ-230. Согласно классификации по действующей нормативной документации, данный энергоблок представляет собой двухвальный моноблок, в состав которого входят (энергоблоки с подобным составом были введены на ряде электростанций в 2014 г., в т.ч. при участии автора):

- одна газотурбинная установка типа ГТЭ-160;
- котёл-утилизатор типа Е-236/40,5-9,3/1,5-514/299-13,5 вв;
- одна паровая турбина типа Т-63/76-8,8.

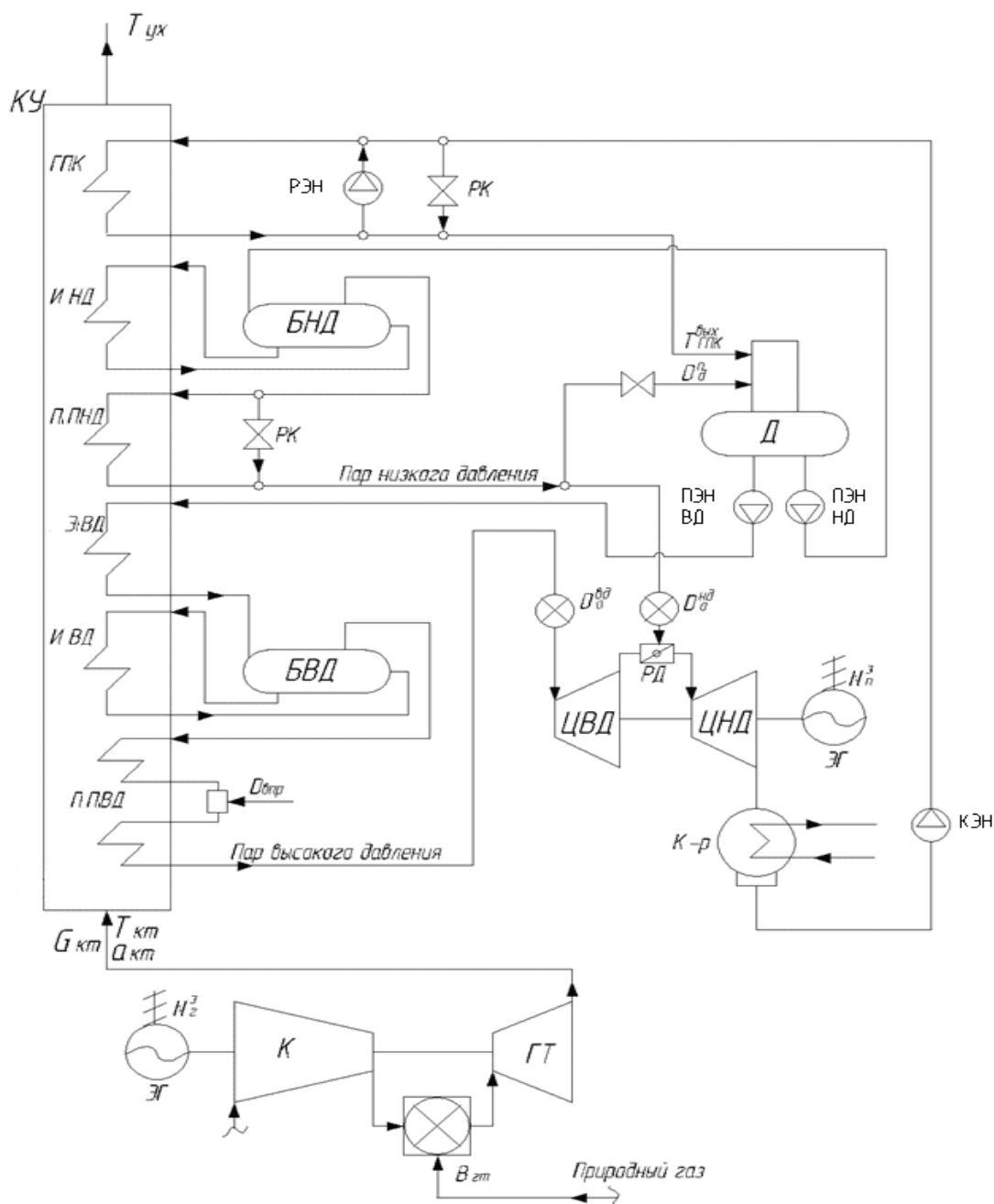


Рис. 1. Принципиальная схема энергоблока ПГУ-230:

ГПК – Газовый подогреватель конденсата; ГТ – Газовая турбина;  
 ГТУ – Газотурбинная установка; ИВД – Испаритель высокого давления;  
 ИНД – Испаритель низкого давления; К – Компрессор; КЭН – Конденсатный  
 электронасос; К-р – Конденсатор; КУ – Котел-утилизатор;  
 ППВД – Пароперегреватель высокого давления; ППНД – Пароперегреватель  
 низкого давления; ПН – Питательный насос; ПТ – Паровая турбина;  
 РЭН – Насос рециркуляции конденсата; ЭВД – Экономайзер высокого  
 давления; ЭГ – Электродвигатель; ЦВД – Цилиндр высокого давления  
 паротурбинной установки; ЦНД – Цилиндр низкого давления  
 паротурбинной установки

Поскольку данная работа посвящена оптимизации теплогидравлической схемы тракта ГПК, то в данном случае ГПК следует рассматривать не как поверхность нагрева отдельно, а как систему. На рисунке 2 представлена классическая схема тракта ГПК, которая включает в себя:

1. Поверхность нагрева, предназначенная для передачи тепловой энергии дымовых газов рабочему телу;

2. С помощью системы подводящих и отводящих трубопроводов осуществляется подвод конденсата от конденсатного тракта и отвод конденсата в деаэрактор;

3. Система байпаса конденсата, предназначенная для передачи части холодного конденсата, минуя поверхность нагрева. Данное технологическое решение необходимо для поддержания температуры конденсата перед подачей в деаэрактор ниже температуры насыщения в деаэраторе, это необходимо для обеспечения надёжной деаэрации.

4. Система рециркуляции конденсата, предназначенная для перекачки части подогретого конденсата на вход в поверхность нагрева. Данное технологическое решение обусловлено тем, что если температура конденсата за конденсатором паровой турбины находится в пределах 25-50 °С, а сама поверхность нагрева устанавливается в зоне низких температур (температура уходящих газов порядка 100 °С), то существует вероятность возникновения низкотемпературной коррозии входной по конденсату части поверхности нагрева. Расход конденсата через линию рециркуляции определяется из материального и теплового баланса тракта ГПК. Также на линии рециркуляции устанавливают водоводяной теплообменник, предназначенный для подогрева сетевой воды.

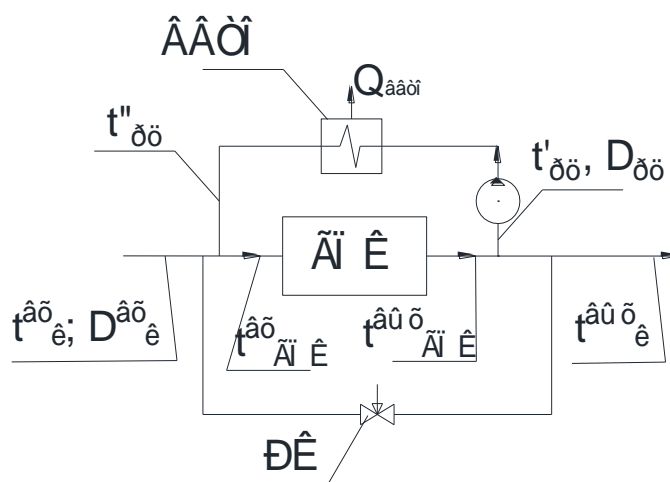


Рис. 2. Схема замеров параметров при испытании ГПК с рециркуляцией

На рисунке 3 представлена альтернативная схема включения поверхностей нагрева газового подогревателя конденсата. Альтернативность предлагаемой автором технологической схемы ГПК заключается в том, что из тракта ГПК исключается система рециркуляции конденсата.

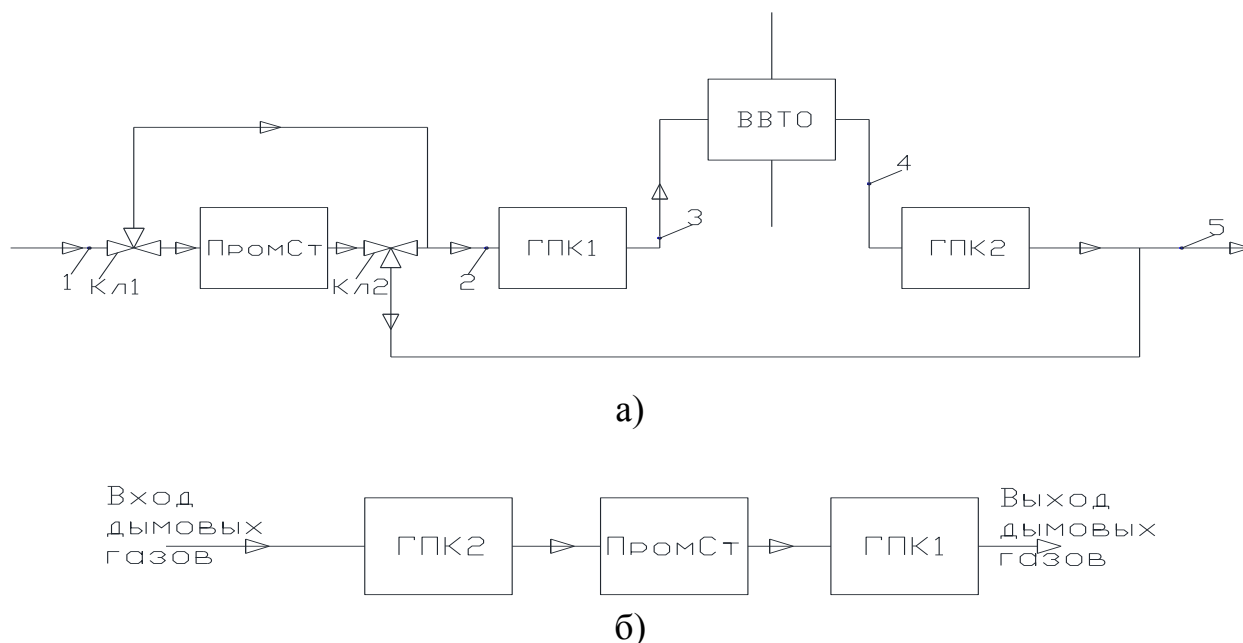


Рис. 3. Альтернативная схема включения поверхностей нагрева ГПК  
а – гидравлическая схема; б – схема расположения поверхностей нагрева  
в газовом тракте

Основной идеей этой схемы является исключение из теплогидравлической схемы тракта ГПК системы рециркуляции и введение промежуточной ступени для предварительного подогрева части конденсата и смешением с основным конденсатом перед подачей в КУ. Для этого потребовалось разделение всей поверхности нагрева ГПК на три ступени:

1. Входная по конденсату ступень – ГПК1;
2. Промежуточная ступень для подогрева конденсата – ПромСТ;
3. Выходная по конденсату ступень – ГПК2.

Движение рабочей среды (конденсата) в тракте ГПК происходит следующим образом. Холодный конденсат поступает во входную ступень (ГПК1), параллельно входному трубопроводу включена промежуточная ступень, в которой осуществляется подогрев конденсата. Тепловая нагрузка промступени при этом равна количеству энергии, необходимой для подогрева всего количества конденсата перед подачей в ГПК1 до температуры не ниже 60 °С. Регулирование расхода конденсата через промежуточную ступень, соответственно и тепловой нагрузки этой ступени, осуществляется посредством установки трехходового клапана на входе (Кл1). Далее подогретый конденсат с температурой 60 °С поступает в ГПК1. Конденсат после подогрева в ГПК1 направляется в водоводяной теплообменник (ВВТО), где происходит нагрев сетевой воды. Для окончательного нагрева перед подачей в деаэратор конденсат направляется в ГПК2. Традиционно в схемах ГПК предусматривают байпасную линию для поддержания недогрева до кипения. В общепринятых схемах ГПК осуществляется байпасирование холодного конденсата. В предлагаемой альтернативной схеме байпасирование осуществляется не

холодного, а частично подогретого в промступени конденсата. Такое технологическое решение обусловлено тем, что в режимах, когда температура конденсата за конденсатором паровой турбины приближается к 60 °С и выше, т.е. не требуется дополнительного подогрева, тепловая нагрузка, а соответственно и расход конденсата через промступень будет приближаться к нулю. Работа промступени в безрасходном режиме может привести к нарушению гидродинамического режима, а в худшем случае и к повреждению поверхности нагрева промступени. Регулирование расхода конденсата для поддержания недогрева конденсата до кипения перед деаэратором осуществляется с помощью трёхходового клапана, устанавливаемого за промступенью (Кл2). Все ступени ГПК включены по противоточной схеме.

Как было сказано ранее, одной из задач исследования является установление зависимостей величин относительного тепловосприятия поверхностей нагрева ГПК от величин, известных в начальный момент проектирования. Такими величинами являются относительное тепловосприятие ВВТО и температура конденсата на входе в котёл-утилизатор. В данном случае под относительной тепловой нагрузкой поверхностей нагрева принято отношение тепловой нагрузки данной поверхности к общему тепловосприятию газового подогревателя конденсата в данном режиме и определяется по соотношению:

$$q_i = \frac{Q_i}{Q_{ГПК}},$$

где  $Q_i$   $Q_{ГПК2}$  – тепловосприятие  $i$ -й ступени ГПК, кВт;

$Q_{ГПК}$   $Q_{ГПК}$  – тепловосприятие газового подогревателя конденсата, кВт.

Относительная нагрузка водоводяного теплообменника (ВВТО):

$$q_{ВВТО} = \frac{Q_{ВВТО}}{Q_{ГПК}},$$

где  $Q_{ВВТО}$   $Q_{ВВТО}$  – тепловосприятие ВВТО, кВт.

Тепловосприятие газового подогревателя конденсата ( $Q_{ГПК}$ ) определяется по следующей формуле:

$$Q_{ГПК} = Q_k + Q_{ВВТО} \quad Q_{ГПК} = Q_k + Q_{ВВТО}, \text{ кВт},$$

где  $Q_k$  – количество тепла, необходимое для нагрева конденсата, кВт.

Для определения исходных данных для исследования выполнена серия тепловых расчётов по определению указанных ранее зависимостей. Исходными данными при этом служили температура конденсата на входе в котёл-утилизатор в диапазоне от 25 до 55 °С и тепловая нагрузка ВВТО в диапазоне от 25 до 100% от номинальной нагрузки самого ВВТО. Номинальная нагрузка ВВТО равна 13500 кВт. Исходные данные и результаты тепловых расчётов представлены в таблицах 1-4.

Таблица 1

Зависимость относительной нагрузки ступеней ГПК от нагрузки ВВТО  
при температуре конденсата на входе 25°C

Параметр	Значение			
Тепловая нагрузка ВВТО	13500	10125	6750	3375
Относительное тепловосприятие ГПК2	0,476483	0,420019	0,3564	0,284279
Относительное тепловосприятие ГПК1	0,319941	0,342416	0,369981	0,401581
Относительное тепловосприятие промступени	0,203576	0,237565	0,273619	0,31414
Относительное тепловосприятие ВВТО	0,242466	0,19353	0,137925	0,074069

Таблица 2

Зависимость относительной нагрузки ступеней ГПК от нагрузки ВВТО  
при температуре конденсата на входе 35°C

Параметр	Значение			
Тепловая нагрузка ВВТО	13500	10125	6750	3375
Относительное тепловосприятие ГПК2	0,46769	0,409854	0,343658	0,267588
Относительное тепловосприятие ГПК1	0,348195	0,364821	0,39019	0,421283
Относительное тепловосприятие промступени	0,184115	0,225325	0,266152	0,311128
Относительное тепловосприятие ВВТО	0,257279	0,206201	0,147625	0,079693

Таблица 3

Зависимость относительной нагрузки ступеней ГПК от нагрузки ВВТО  
при температуре конденсата на входе 45°C

Параметр	Значение			
Тепловая нагрузка ВВТО	13500	10125	6750	3375
Относительное тепловосприятие ГПК2	0,463111	0,403613	0,334477	0,253892
Относительное тепловосприятие ГПК1	0,359012	0,376794	0,402428	0,434352
Относительное тепловосприятие промступени	0,177877	0,219593	0,263095	0,311756
Относительное тепловосприятие ВВТО	0,27352	0,220174	0,158421	0,086024

Таблица 4

Зависимость относительной нагрузки ступеней ГПК от нагрузки ВВТО  
при температуре конденсата на входе 55°C

Параметр	Значение			
Тепловая нагрузка ВВТО	13500	10125	6750	3375
Относительное тепловосприятие ГПК2	0,463998	0,401813	0,334477	0,242452
Относительное тепловосприятие ГПК1	0,360719	0,381498	0,402428	0,442051
Относительное тепловосприятие промступени	0,175283	0,216689	0,263095	0,315496
Относительное тепловосприятие ВВТО	0,293535	0,237372	0,158421	0,094007

Для удобства определения характера зависимости относительного тепловосприятия ГПК2 от относительного тепловосприятия ВВТО при



различных температурах конденсата на входе в КУ данные были нанесены на координатную сетку и представлены на рисунке 4.

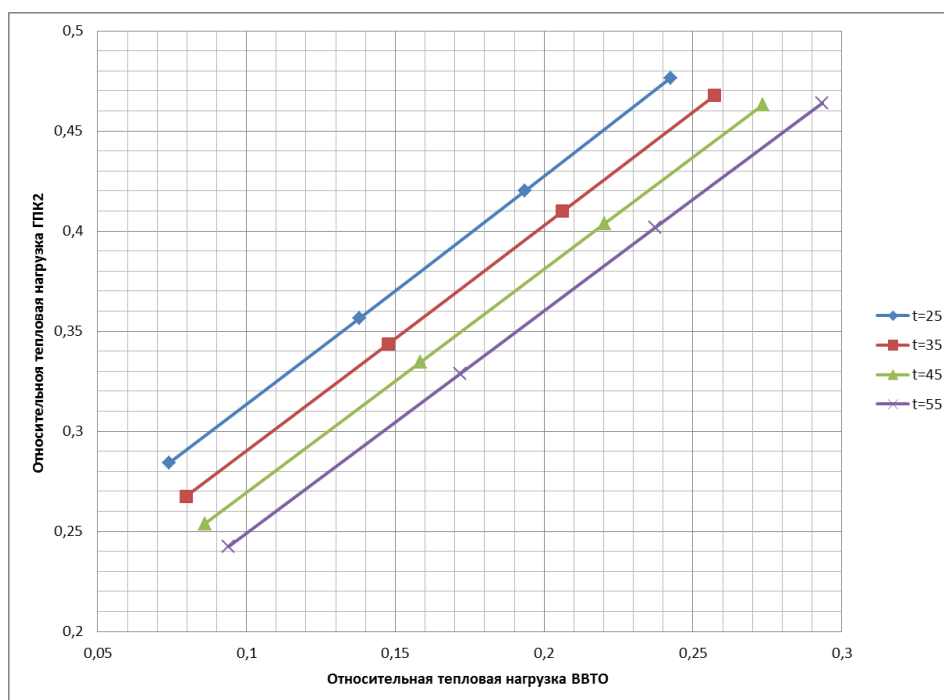


Рис. 4. Зависимость относительной нагрузки ГПК2 от относительной нагрузки ВВТО при различных температурах конденсата на входе в КУ

Анализ графиков зависимости относительной нагрузки ГПК2 от относительной нагрузки ВВТО показывает, что указанная зависимость носит линейный характер при всех значениях температуры конденсата, т.е. функция имеет вид:

$$q_{ГПК2} = k \cdot q_{ВВТО} + b$$

Для определения коэффициентов  $k$  и  $b$ , входящих в состав уравнения, при различных температурах конденсата применён метод наименьших квадратов в соответствии с рекомендациями [4], [1], [3]. При этом следует учесть, что значения коэффициентов  $k$  и  $b$  являются переменными величинами и зависят от температуры конденсата на входе в котёл-утилизатор. Таким образом, необходимо определить значения коэффициентов  $k$  и  $b$  при различных температурах конденсата, вывести зависимости коэффициентов  $k$  и  $b$  от температуры конденсата. Результаты расчётов приведены в таблице 5.

Таблица 5

Значения коэффициентов  $k$  и  $b$  в зависимости от температуры конденсата на входе в КУ

Параметр/коэффициент	Значение			
	25	35	45	55
Температура конденсата, °С	25	35	45	55
Коэффициент $k$	1,1415	1,1268	1,1159	1,1103
Коэффициент $b$	0,1997	0,1778	0,1579	0,1381

Поскольку коэффициенты  $k$  и  $b$  зависят от температуры конденсата на входе в котёл-утилизатор, то для вывода универсальной зависимости относительной нагрузки потребуется найти решения следующих функций:

$$k = f_1(t_k); \quad b = f_2(t_k),$$

где  $t_k$  – температура конденсата на входе в котёл-утилизатор.

Для удобства определения типов функций, описывающих зависимости изменения коэффициентов  $k$  и  $b$  от температуры конденсата на входе в КУ, построены графические зависимости, представленные на рисунке 5.

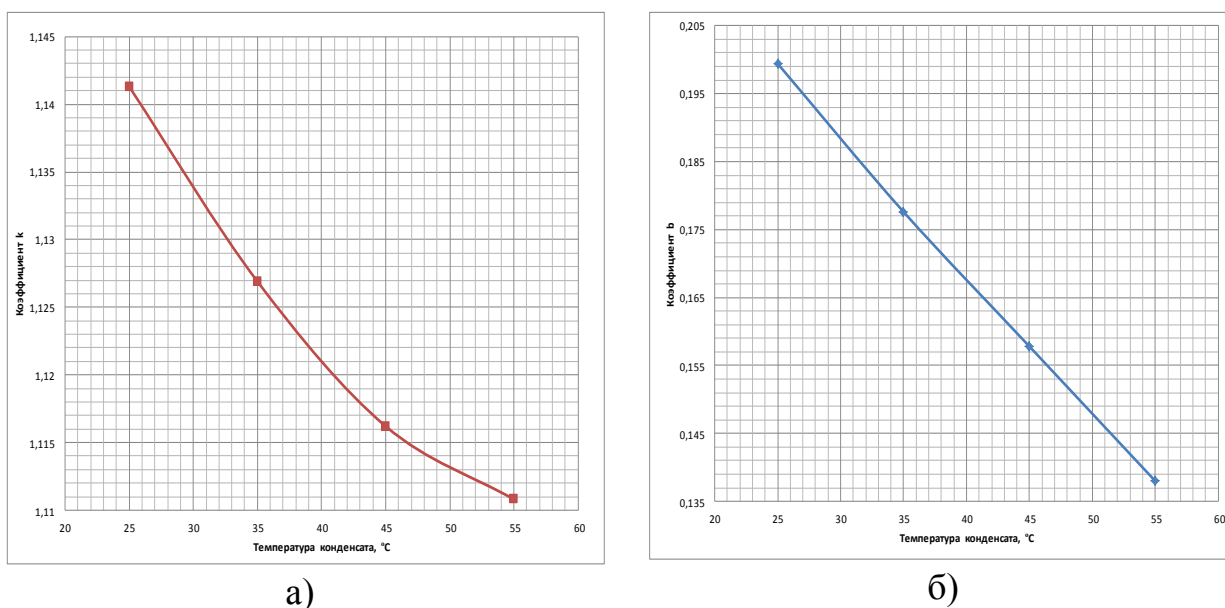


Рис. 5. Зависимость коэффициентов  $k$  и  $b$  от температуры конденсата:  
 а – зависимость коэффициента  $k$ ; б – зависимость коэффициента  $b$

Из рисунка 5 видно:

1) коэффициент  $k$  описывается полиномом второй степени и имеет вид:

$$k = a \cdot t_k^2 - b \cdot t_k + c; \quad k = a \cdot t_k^2 + b \cdot t_k + c$$

2) коэффициент  $b$  описывается линейной функцией и имеет вид:

$$b = n \cdot t_k + m.$$

Для определения неизвестных коэффициентов ( $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $n$ ,  $m$ ), входящих в состав приведённых выше уравнений, применен метод наименьших квадратов.

После определения всех неизвестных коэффициентов получена универсальная зависимость относительной нагрузки ГПК2 от относительной нагрузки ВВТО и температуры конденсата на входе в КУ:

$$q_{ГПК2} = (2,3 \cdot 10^{-5} \cdot t_k^2 - 0,0028 \cdot t_k + 1,1979) \cdot q_{ВВТО} + (-0,002 \cdot t_k + 0,25)$$

Аналогично, как и в случае со ступенью ГПК2, были построены графические зависимости относительной нагрузки ГПК1 и промступени от относительной нагрузки ВВТО и температуры конденсата на входе в котёл-утилизатор. На рисунке 6 приведены семейства кривых, отображающих

зависимость относительной нагрузки ГПК1 и промступени от относительной нагрузки ВВТО при различных температурах конденсата.

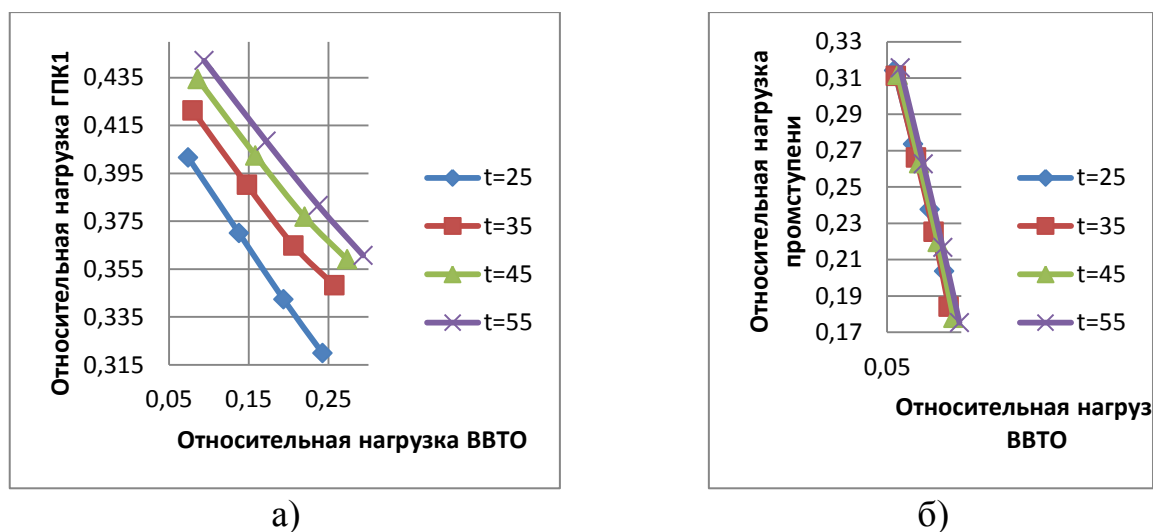


Рис. 6. Зависимость относительной нагрузки ГПК1 и промступени от относительной нагрузки ВВТО при различных температурах конденсата: а – относительная нагрузка ГПК1; б – относительная нагрузка промступени

Из анализа рисунка 6 видно, что зависимость относительной нагрузки ГПК1 и промступени от относительной нагрузки ВВТО изменяется по различным законам в зависимости от температуры конденсата на входе в котёл-утилизатор. Поэтому данные величины целесообразно рассматривать совместно для определения общего подхода к решению данной задачи.

Тепловая нагрузка ГПК1 и промступени, кВт, может быть определена по следующей формуле:

$$Q = D_k \cdot (h_k^{6yx} - h_k^{6x}),$$

где  $h_k^{6yx}$   $h_k^{6yx}$  – энтальпия конденсата при температуре и давлении на выходе из ступени, кДж/кг;

$h_k^{6x}$   $h_k^{6x}$  – энтальпия конденсата при температуре и давлении на входе в ступень, кДж/кг.

Относительное тепловосприятие ступеней определено по результатам параллельного сведения материальных и тепловых балансов по ступеням ГПК, в результате получено следующее:

1. Относительное тепловосприятие ГПК1 от относительного тепловосприятия ВВТО и температуры конденсат на входе в КУ

$$q_{ГПК1} = \frac{D_k \cdot (h_{ГПК2}^{6yx} - h_{ГПК1}^{6x})}{Q_{ГПК}} - q_{ГПК2} + q_{ВВТО}.$$

2. Относительное тепловосприятие промступени от относительного тепловосприятия ВВТО и температуры конденсат на входе в КУ

$$q_{ПромСт} = 1 - q_{ГПК1} - q_{ГПК2} = 1 - \frac{D_k \cdot (h_{ГПК2}^{6yx} - h_{ГПК1}^{6x})}{Q_{ГПК}} - q_{ВВТО}.$$

*Выводы.* Рассмотрена альтернативная схема включения поверхностей нагрева газового подогревателя конденсата котла-утилизатора. Исследованы основные эксплуатационные характеристики предлагаемой схемы. Полученные уравнения зависимостей относительного тепловосприятия ступеней ГПК от относительного тепловосприятия ВВТО и температуры конденсата на входе в КУ могут быть использованы для проведения НИОКР в данной области. Применение рассматриваемой в статье схемы позволяет снизить затраты электроэнергии на собственные нужды энергоблока в целом, что повышает эффективность производства электрической энергии.

#### Список литературы

1. Амосов, А.А. Вычислительные методы для инженеров: Учеб. пособие / А.А. Амосов, Ю.А. Дубинский, Н.В. Копченова. – М.: Высш. шк., 1994. – 544 с.: ил.
2. Волков, Э.П. Развитие электроэнергетики России / В.А. Баринов, А.С. Маневич, М.И. Сапаров // Электрические станции. 2013. №3. С. 3-8.
3. Румшинский, Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента / Л.З. Румшинский // Главная редакция физико-математической литературы изд-ва “Наука”, 1971.
4. Теплоэнергетика и теплотехника: Справочная серия: в 4кн./под общ. ред. чл.-кор. РАН А.В. Клименко и проф. В.М. Зорина. – 4-е изд., стереотип. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007.
5. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года – М.: - ГУ Институт энергетической стратегии, 2010. – 180 с.

### **РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ СЕЛЬСКОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЙ ПО УРОВНЯМ НАПРЯЖЕНИЯ**

Н.И. Черкасова

*Рубцовский индустриальный институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова»*

Разработана универсальная схема системы сельского электроснабжения, разложенная по уровням напряжения. Определены задачи и узкие места на каждом уровне, анализ электротравматизма, риски.

**Ключевые слова.** Схема, сельское электроснабжение, уровни напряжения, задачи, узкие места, анализ электротравматизма, риски.

### **DEVELOPMENT CONCEPT OF CONSTRUCTION OF RURAL POWER SUPPLY, DIFFERENTIATED BY VOLTAGE LEVELS**

N.I. Cherkasova

*Rubtsovsk Industrial Institute (branch) Altai State Technical University named after I.I. Polzunov*

Develop a universal scheme of rural electricity supply, the expansion of the voltage levels. The tasks and the bottlenecks at every level, analysis of electrical accidents and risks.

**Keywords:** diagram, rural electricity, voltage levels, challenges, bottlenecks, analysis of electrical injury risks.

Большинство имеющихся на сегодняшний день учебников по электроснабжению сельского хозяйства [1, 2] представляют систему электроснабжения сельских районов с точки зрения энергосистемы, например в работе [2]. "Система электроснабжения 10 -110 кВ сельских районов объединяет совокупность линий и подстанций, передающих электроэнергию от районных подстанций высокого напряжения 110 кВ до потребителей крупного сельскохозяйственного района и включает питающие линии напряжением 35-110 кВ, подводящие питание от шин энергосистем к районным трансформаторным подстанциям (РТП) напряжением 110/35/10, 110/10, 110/20, 110/35, 35/10 кВ, распределительные линии 35, 20, 10(6) кВ, потребительские трансформаторные пункты (ТП) 35 – 10/0,4кВ, а также электрические линии напряжением 0,38 кВ, непосредственно питающие сельские потребители.

Системы сельского электроснабжения представляют собой большую систему с характерными для таких систем свойствами. Основными свойствами больших систем энергетики являются: централизация иерархической структуры и структуры управления, динамика их развития и управляемость... система электроснабжения сельских районов (СЭСР) 10 - 110 кВ имеет иерархически построенную технологическую и информационную структуру". Далее предлагается рисунок, который иллюстрирует возможный состав элементов СЭСР на участке от шин энергосистемы до шин 0,4 кВ сельскохозяйственного потребителя [2], рис. 1.

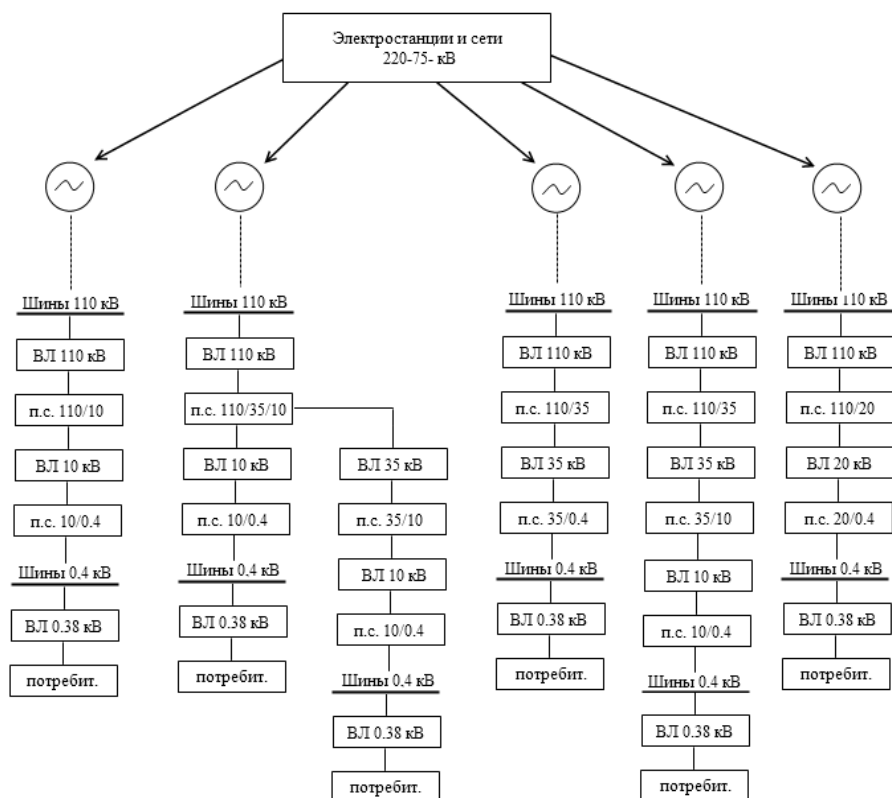


Рис. 1. Система электроснабжения сельских районов [2]

Изображённые на схеме подстанции и воздушные линии электропередач находятся в собственности, а также в оперативном управлении и эксплуатационной ответственности ПАО «РОССЕТИ», которое в процессе эксплуатации должно производить все предусмотренные техническим регламентом оперативные и планово-предупредительные мероприятия. Силами персонала ПАО «РОССЕТИ» производятся оперативные переключения, контроль режимов активной и реактивной мощности, режима напряжения, контроль качества электроэнергии, проводится эксплуатация и ремонт подстанций, организуются мероприятия по чистке просек, замене дефектных опор, регулировке стрелы провеса провода, замене дефектных изоляторов и прочие. Доведение питания до границы раздела балансовой принадлежности с потребителем - это задача энергосистемы. Однако проследить использование электроэнергии от границы раздела балансовой принадлежности до единичного приёмника системы электроснабжения сельского потребителя, такой возможности предложенная схема не даёт.

Для того, чтобы успешно решать вопросы сельского электроснабжения в новых экономических условиях, нужно определить границы сельского электроснабжения, определить принципиальную, универсальную схему системы сельского электроснабжения, разложить её по уровням напряжения и принадлежности. Далее определить задачи на каждом уровне, произвести анализ электротравматизма, анализ узких мест, определить риски, применимые методы энергосбережения и повышения энергоэффективности. Необходимо выявить особенности электрического хозяйства и электроснабжения с позиций не энергосистемы, но сельского хозяйства, находящегося пока в состоянии нераскрытых возможностей.

Электрохозяйство сельскохозяйственных потребителей и предприятий по переработке сельскохозяйственной продукции будем называть *электрикой сельскохозяйственных потребителей*. Термин *электрика* был предложен профессором МЭИ Б.И. Кудриным [3] для обозначения электрохозяйства промышленных предприятий. Электрическое хозяйство сельхозпотребителей будем рассматривать как совокупность электротехнических установок; электрических и неэлектрических изделий, обеспечивающих ее функционирование, эксплуатацию и ремонт, электротехнических и других помещений, которые эксплуатируются электротехническим персоналом, людские, вещественные и энергетические ресурсы, организационное и информационное обеспечение, которые необходимы для жизнедеятельности электрического хозяйства.

Определимся, что *инфраструктуру села в состав электрического хозяйства сельских производителей вводить не будем и рассматривать не будем*, так как по структуре она ближе относится к системе ЖКХ.

К электрическому хозяйству сельхозпроизводителей будем относить: электропотребители хозяйств любой формы собственности (животноводческие фермы, зерноочистительные пункты, теплицы, хранилища сельскохозяйственной продукции, мельницы, кормоцеха, мехдойки, гаражи,

котельные и т.п.); и электропотребители предприятия агропромышленного комплекса, хлебоприёмных пунктов, предприятий по переработке сельскохозяйственной продукции (молокозаводы, мясокомбинаты, консервные заводы, хладобойни, свинокомплексы, птицефабрики и т.п.).

С позиций теории и практики, электрическое хозяйство любого сельскохозяйственного производителя или переработчика отличается от энергетической системы (электроэнергетики) структурой установленного электрооборудования и электрических сетей, иным подходом к инвестициям, включая проектирование [3]; иным подходом к эксплуатации, ресурсосбережению, диспетчеризации и менеджменту в целом.

Все потребители электроэнергии представляют собой большое количество объектов (около 45 млн.), разных по видам деятельности, формам собственности, величине. Из 45 млн. абонентов 90 % питается от сетей 0,4 кВ; 9% - от трансформаторов 10(6)/0,4 кВ; 0,9% - от собственных распределительных подстанций 6-10 кВ; наконец, 0,1 % - крупные потребители, получающие питание на напряжении 35-330 кВ, связанные с АО-энерго и сетевым оператором.

Для сельских потребителей 99% абонентов питается от сетей 0,4 кВ, электроснабжение происходит, в основном, по воздушным линиям (ВЛ).

Все разнообразие систем электроснабжения можно свести к иерархической схеме, включающей шесть уровней обусловленных спецификой задач проектирования, эксплуатации, менеджмента, методикой расчёта на каждом уровне. Уровень определяет электрику объекта, включая предельно допустимую мощность, технико - экономически оправданный уровень номинального напряжения, схемные и иные решения. Определим выделяемые уровни, рис. 2.

*Первый уровень 1УР* – питающийся по одной линии отдельный электроприёмник.

*Второй уровень 2УР* – шкаф, щит, питаемый на напряжение ниже 1 кВ.

*Третий уровень 3УР* – щит низкого напряжения трансформаторной подстанции ТП 10(6)/0,4 кВ или сам трансформатор (при рассмотрении следующего уровня – загрузка трансформатора с учетом потерь в нем).

*Четвёртый уровень 4 УР* – шины распределительной подстанции РП 10(6) кВ (при рассмотрении следующего уровня – загрузка РП в целом), когда количество силовых и преобразовательных трансформаторов и наличие высоковольтных двигателей вызывают необходимость сооружения распределительной подстанции (пункта) РП 10(6).

*Пятый уровень 5УР* – Для сельскохозяйственных потребителей и предприятий сельхозпереработки по причине недостаточно большой мощности 5УР не применяется

*Шестой уровень 6УР* – граница раздела: электроснабжающая компания – потребитель. Граница раздела балансовой принадлежности может проходить по любому из уровней 2УР – 6УР, 3 УР – 6УР, и т.д. в зависимости от крупности потребителя.

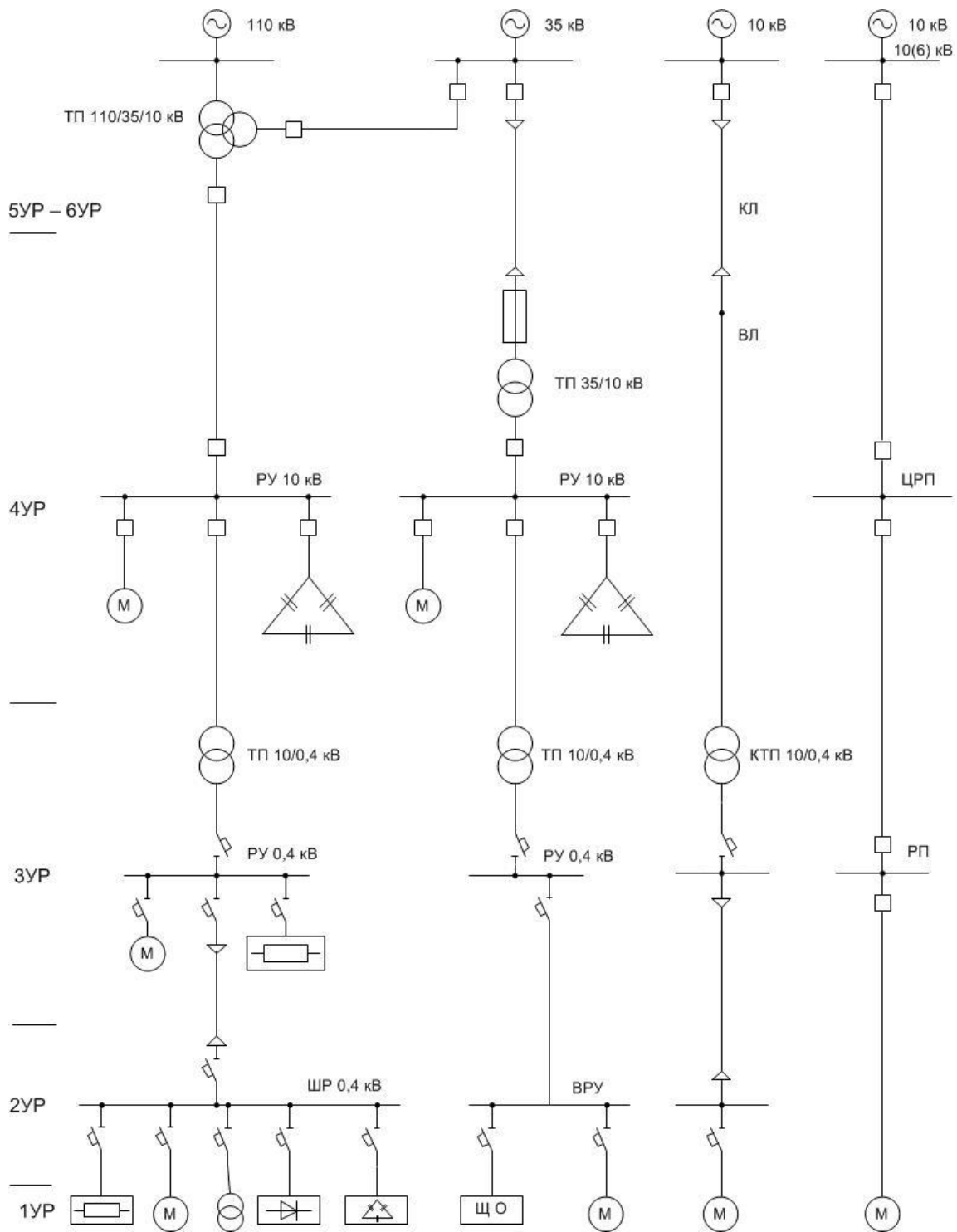


Рис. 2. Шестиуровневая схема электроснабжения сельскохозяйственных потребителей

Задачи электроснабжения сельскохозяйственных потребителей начинаются с 2УР, где отдельные приемники в совокупности создают нагрузки и определяют параметры режима.

Выделение 2УР теоретически важно для электрики, его имеют все предприятия. Всеобщность 2УР обусловлена тем, что для большинства



сельскохозяйственных потребителей он совмещён или совпадает с 6УР – границей раздела с электроснабжающей компанией. Потребители – *мини-предприятия* – это основа сельскохозяйственных предприятий, которые по количеству составляют 99% всех сельхозпредприятий, имея нагрузку не выше единичной мощности трансформатора 10(6)/0,4 кВ.

3УР возникает тогда, когда по различным причинам – мощность, удаленность, надёжность – для электроснабжения потребителей необходима установка одного или нескольких трансформаторов 10(6)/0,4 кВ. Это кормоцех, макаронная фабрика или частный колбасный цех, т.е. территориально обособленная группа электроприемников. Потребители, питающиеся с 3УР системы электроснабжения, отнесены к мелким и средним сельскохозяйственным предприятиям. Для них совмещены 3УР и 6УР. Таких потребителей около 4% от общего количества объектов сельскохозяйственной электрики. Они имеют нагрузку до 1000 кВт. На средних предприятиях возникает разветвленная сеть 2УР, имеются инженеры-электрики, обслуживающие щит низкого напряжения от автоматического выключателя до уровня 1УР. Высоковольтную часть вместе с трансформатором обслуживают электроснабжающие компании.

Четвертый уровень 4УР появляется на средних и крупных предприятиях; *4УР совмещён с 6УР*, появляется собственный электротехнический персонал.

Таким образом, введение понятия «уровень системы электроснабжения» позволило классифицировать предприятия по крупности и особенностям.

На 6УР реализуются все аспекты взаимоотношений потребителя и субъекта электроэнергетики: юридическо - правовой, технико-экономической и оперативно-диспетчерской.

*Определение задач на каждом уровне и анализ узких мест.*

*Первый уровень 1УР* – питающийся по одной линии отдельный электроприёмник, агрегат (электронагреватель, станок с электроприводом) с определённой мощностью. Их обслуживание производится персоналом, непосредственно занятым в технологическом процессе.

*Задачи по рациональному использованию электроэнергии* на уровне непосредственного потребления 1УР следующие: контроль величины загрузки электроустройств и недопущение перегрузок сверх номинальной мощности; регулярный контроль нагрева электроустройств; наличие смазки подшипниковых узлов и вибрации вращающихся электрических машин; периодический контроль за состоянием аппаратуры шкафов управления и систем автоматики.

*Узкими местами на уровне 1УР являются:* недостаточность принимаемых мер по обеспечению эффективного охлаждения электроустройств и предотвращению их загрязнения, запыления и мер по обеспечению эффективного предотвращения забрызгивания; нерегулярность обслуживания электроустройств квалифицированным электротехническим персоналом (обслуживание связано с остановкой процесса производства); недостаточное

понимание электротехнологическим персоналом важности обеспечения нормальных условий для длительной и экономичной работы электроустройств;

*Второй уровень 2УР.* Это вводно-распределительные шкафы 0,4 кВ, осуществляющие приём электроэнергии от ТП (КТП) 10(6)/0,4 кВ и распределяющие линии непосредственно к электроприёмникам, связанным близостью размещения или единством технологического процесса.

*Узкие места:* параметры коммутационных защитных аппаратов (автоматов, предохранителей) редко соответствуют фактическим нагрузкам и условиям надёжного срабатывания при нормальных и аварийных режимах; замена перегоревших предохранителей производится на некалиброванные; подключение 1-фазных нагрузок по фазам часто не симметрируется.

*Задачи:* обеспечить питание нагрузок в нормальном режиме; обеспечить защиту питающих линий от перегрузок и сверхтоков коротких замыканий (КЗ);

*Третий уровень 3УР.* Это распределительные устройства и шкафы низкого напряжения ТП и КТП 10(6)/0,4 кВ с входящими в них автоматическими выключателями, рубильниками, ошиновкой, приборами учёта и контроля (устройствами АВР) и отходящие фидера кабелей или ВЛ до шкафов 2УР.

*Задачи на 3УР:* распределение электроэнергии от питающих потребительских ТП 10/0,4 кВ до РУ, ВРУ, ШР, ПР и т.д. отдельных цехов и блоков, входящих в сеть второго уровня; защита этих линий от сверхтоков; резервирование функций защитных аппаратов в шкафах электрооборудования 2УР.

*Узкими местами 3УР являются:* слабая герметичность шкафов КТП и, как следствие, запылённость и увлажнение изоляции, возможность попадания в шкафы птиц и животных; редкие выводы из работы для ремонта и профилактики, так как это связано с отключением большого числа электроприёмников.

Четвёртый уровень 4УР появляется на средних и крупных предприятиях, когда необходимо сооружение распределительной подстанции РП 10(6) кВ для питания нескольких подстанций третьего уровня (3УР) и высоковольтных приёмников электроэнергии, чаще всего двигательной нагрузки. На средних и крупных предприятиях четвёртый уровень 4УР совмещён с 6УР. В общей массе потребителей число средних предприятий составляет менее 1%. От 4УР питаются цеха, отдельные здания и сооружения. Средние и крупные предприятия характеризует появление развитого электрохозяйства, которое обслуживает собственный электротехнический персонал.

Различия по мощности предприятий в промышленности и сельском хозяйстве весьма существенны. То, что для промышленности считается предприятием небольшой или средней мощности, 10000-15000 кВт, для сельского хозяйства считаются весьма крупными потребителями. Поэтому для сельскохозяйственных потребителей и предприятий сельхозпереработки 5УР не применяется и для крупных предприятий достаточен 4УР.

*Анализ электротравматизма и определение рисков на уровнях сельского электроснабжения.* Главной причиной электротравм может являться

отсутствие или некачественно выполненное зануление и заземление электроприёмников в случае косвенного прикосновения. Степень риска отказов (повреждения) электроустройств 1УР зависит от доли вращающихся машин в общей массе электроприёмников (электродвигатели наиболее часто повреждаются).

Электротравматизм на электрооборудовании **2УР** – явление редкое по следующим причинам: распределительные шкафы (ШР), распределительные устройства (РУ), вводные распределительные устройства (ВРУ) расположены в закрытых помещениях, куда имеется доступ только для электротехнического персонала; наличие открытых токоведущих частей напоминает об осторожности при обслуживании распределительных шкафов. Риски повреждения электрооборудования уровня 2УР возможны из-за несоответствия защитных аппаратов по отключающей способности к токам КЗ. Электротравмы возможны при работах на отходящих кабелях и шкафах РУ 2УР из-за непринятия мер против ошибочного включения коммутационных аппаратов в РУ 0,4 кВ.

Повреждения электрооборудования 3УР происходят из-за перекрытий по загрязнённой и увлажнённой изоляции аппаратов, реже из-за перекрытий по изоляторам ошинок.

Основная причина электротравматизма при эксплуатации электрооборудования на 4УР – это невыполнение организационных и технических мероприятий по обеспечению электробезопасности.

*Способами энергосбережения на 1УР следующие:* установка частотных преобразователей на электропривод; применение современной автоматики для своевременного отключения и включения устройств, работающих по регулируемому параметру; применение автоматики, ограничивающей время холостого хода статических аппаратов; выполнение мероприятий по экономии освещения.

*Особенности электрического хозяйства 1УР* это: крайне неблагоприятные условия окружающей среды: увлажнённость, запыленность, наличие агрессивных сред и т.д.; несоответствие защитных аппаратов фактическим нагрузкам; низкая квалификационная подготовка электротехнического персонала. Однако в настоящее время требования к квалификации последнего существенно повышаются, так как потребитель уровня 4УР имеет возможность выхода на оптовый рынок энергии и мощности (ОРЭМ).

***Актуальные задачи менеджмента электрики сельскохозяйственных потребителей.*** С развитием рыночных отношений и реформированием электроэнергетики в системе управления электрохозяйством сельскохозяйственных потребителей возникли новые задачи.

1. Обеспечение выхода потребителя на оптовый рынок электроэнергии;
2. Снижение потерь электроэнергии в собственных сетях за счет: загрузки сетей по оптимальной плотности тока; управления режимом реактивной мощности; контроля качества поставляемой электроэнергии;
3. Анализ опасности и оценка риска в электрохозяйстве с/х потребителя.

Обеспечение выхода потребителя на оптовый рынок электроэнергии и мощности (ОРЭМ) выделим как особую задачу менеджмента электрохозяйства.

Выгода от выхода на оптовый рынок для большинства крупных перерабатывающих сельхозпредприятий, с учётом значительных затрат в обеспечение всех организационно-технических требований, оборачивается иногда экономическими потерями из-за некачественного планирования, приводящего к штрафным санкциям. ОРЭМ включает систему регулируемых договоров (РД) – аналог сектора свободной торговли, балансирующий рынок, а также рынок на "сутки вперед" [4]. Сельскохозяйственный потребитель может выбрать один из вариантов покупки электроэнергии, стремясь минимизировать рыночные риски [5].

В целях построения ценовой стратегии и участия в ОРЭМ, потребителем решаются технические проблемы обеспечения требуемыми средствами и системами учета, математическим и аппаратным обеспечением передачи информации. Решаются вопросы юридическо - правового характера, такие как обеспечение договорной компании, определение границ раздела эксплуатационной ответственности и балансовой принадлежности электрооборудования и сетей, выделение точек и групп точек поставки электроэнергии. Разработка информационного, математического и программного обеспечения выхода на ОРЭМ, включающего прогнозирование, планирование и управление электропотреблением, требует дополнения системы показателей электрохозяйства данными об уточнённых замерах параметров электропотребления в точках поставки.

#### Список литературы

1. Будзко И.А. Электроснабжение сельского хозяйства/ И.А. Будзко, Т.Б. Лещинская, В.И. Сукманов. – М.: Колос, 2000. – 536 с.
2. Лещинская Т.Б. Методы многокритериальной оптимизации систем электроснабжения сельских районов в условиях неопределенности исходной информации. – М.: Агроконсалт, 1998. – 148 с.
3. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: учебник для студентов высших учебных заведений/ Б.И. Кудрин, – 2-е изд. – М.: Интермет Инжиниринг, 2006. – 672 с.
4. [ЭР] [http://www.rao-ees.ru/ru/Реформирование\\_электроэнергетики](http://www.rao-ees.ru/ru/Реформирование_электроэнергетики) – ОАО РАО «ЕЭС России».
5. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий как объект исследования и управления Эффективність та якість електропостачання промислових підприємств: V міжнародна науково-технічна конф.: 75-річчю Призов. держ. техн. ун-ту присвячується: зб. проць. – Маріуполь: Вид-во ПДТУ, 2005. – 337 с.

## СЕКЦИЯ 6. ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Председатель секции: кандидат технических наук, доцент кафедры «Наземные транспортные системы» Чернецкая Наталья Анатольевна

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕРПЕНТИНОВ В КАЧЕСТВЕ ДОБАВКИ К ТОПЛИВАМ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

И.П. Васильев, Д.Ю. Кавун

*Луганский университет им. В. Даля*

**Аннотация.** Для борьбы с парниковым эффектом на Земном шаре рассмотрена возможность использования биотоплив, в частности, скипидара как добавки к топливам дизелей. Исследовано смешивание скипидара с дизельным топливом, растительными маслами и изменение характеристик этих смесевых топлив. Приведены экспериментальные результаты испытаний данных смесей на дизеле. Скипидар с этими топливами смешивается в любых пропорциях и является добавкой, которая снижает температуру вспышки топливной смеси без изменения экономических показателей.

**Ключевые слова:** биотопливо, скипидар, дизельное топливо, растительные масла

### TURPENTINE USE AS THE ADDITIVE TO FUELS OF DIESEL ENGINES

Vasyliiev I. P., Kavun D. Ju.

*Lugansk university of Dahl*

**ABSTRACT.** For fight against greenhouse effect on the globe possibility of use of biofuels, in particular, turpentine as additives to fuels of diesel engines is considered. It is investigated turpentine mixing with diesel fuel and vegetable oils and change of characteristics of these fuels. Experimental results of tests of these mixes on a diesel engine are carried out. Turpentine with these fuels mixes up in any proportions and is an additive which reduces temperature of flash of a fuel mix without change of economic indicators.

**Keywords:** biofuel, turpentine, diesel fuel, vegetable oils

Одним из путей борьбы с парниковым эффектом является использование биотоплив [1]. К ним относятся биодизельное топливо, смеси биодизельного топлива со спиртами [2].

Собственно растительные масла. Но есть нарекания, что в таких случаях используются пищевые растительные масла, что усиливает недостаток продуктов питания. Решение этой проблемы заключается в применении растительных масел технических культур, даже ядовитых и других энергетических биовеществ.

Примером тому могут служить исследования в Пакистане по использованию непищевого масла *Pongamia Pinnata* как сырья для получения биодизельного топлива [3].

Известна возможность переработки древесины в жидкое топливо. Но это на данное время является дорогостоящей и сложной процедурой. В то же время существует давно отработанная технология получения из хвойных пород деревьев терпентинов, в частности, скипидара.

В настоящее время трудно определить приоритет по использованию терпентинов в качестве присадок к дизельному топливу и как топлива для дизелей. В работе [4] приводится следующая фраза: «Очень важные исследовательские работы выполнялись под руководством профессора Нечаева В.К. по оценке реальных возможностей использования в «легких» двигателях мазута, скипидара, газогенераторного газа».

Так, в конце 60-х годов были проведены работы в этом направлении в Томске на кафедре ДВС, которая была в дальнейшем в полном составе переведена в г. Барнаул и слилась с кафедрой ДВС Алтайского политехнического института. Но результаты этих исследований не были в то время опубликованы и оказались утерянными.

Авторами данной статьи было выдвинуто предположение, что добавка терпентинов (скипидара) к смеси растительных масел и к дизельному топливу обеспечит нормальное сгорание и приемлемые мощностные показатели [5].

Задачей исследований было выявление возможности использования скипидара как добавки к различным топливам дизелей и экспериментальная проверка работы дизеля на этих смесях.

На рис. 1 представлена схема получения и использования смеси растительных масел и терпентинов.

Живичный скипидар (масло терпентинное) представляет собой продукт переработки сосновой живицы и имеет температуру вспышки в закрытом тигле ( $t_{всп}^{зт}$ )  $34^{\circ}\text{C}$ , что ниже, чем у растительных масел и дизельного топлива [6].

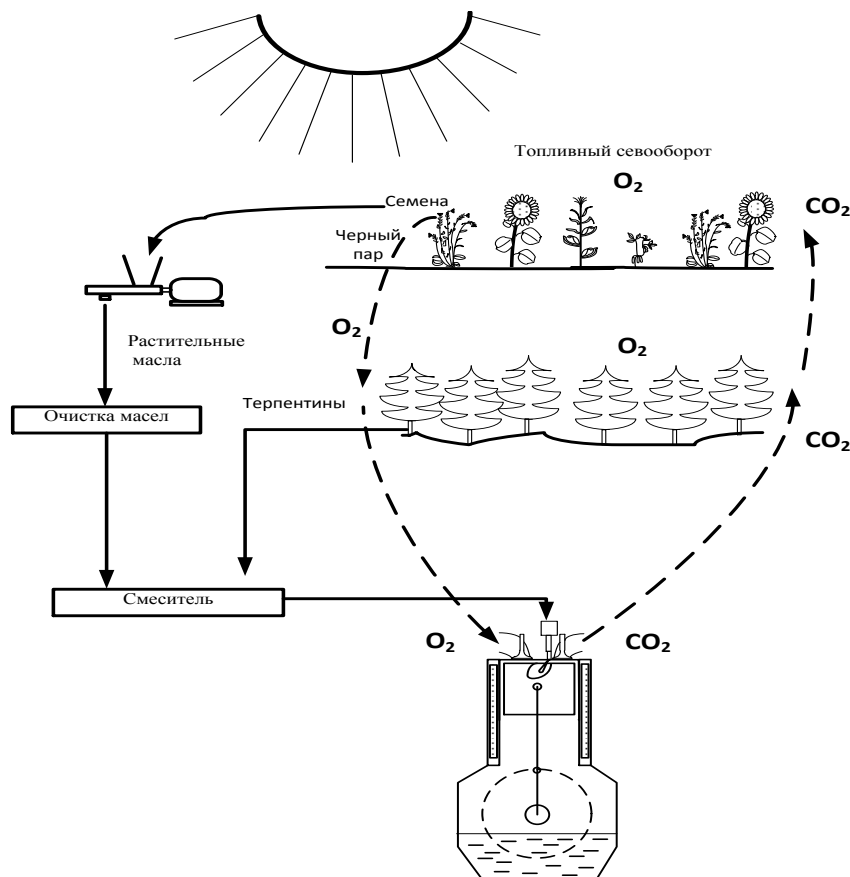


Рис. 1. Использование терпентинов как добавки к топливам

Получение живицы является предварительной операцией перед вырубкой хвойных пород деревьев и технология её сбора и получения из неё скипидара является отлаженным процессом.

Эксперименты выявили, что скипидар смешивается с дизельным и биодизельным топливами.

Также проверялось смешивание скипидара со следующими растительными маслами: подсолнечным, соевым, кукурузным, горчичным, рапсовым. Из перечисленного списка масел не удалось выявить ни одного, с которым скипидар не смешивался. Это объясняется тем, что все эти вещества неполярные.

Для оценки работы двигателя на добавках скипидара были приготовлены следующие смеси. Смесь №1: скипидар – 5% об., подсолнечное масло – 10% об., соевое масло 5% об., кукурузное масло 5% об., горчичное масло – 5% об. и дизельное топливо 70% об. Смесь №2: дизельное топливо 70% об. и 30% об. скипидара.

Определялись характеристики топлив: плотность с помощью денсиметра с ценой деления 0,001 г/см<sup>3</sup> (ГОСТ 3900-85), кинематическая вязкость на вискозиметре ВПЖ-2 (ДСТУ ГОСТ 33-2003, ИСО 3104-94), температура вспышки в закрытом тигле (ГОСТ 6356-87).

Таблица 1

Характеристики биотоплив с добавкой скипидара

Параметр	Дизельное топливо	Смесь №1	Смесь №2
Характеристика топлив			
Плотность при 20°C, г/см <sup>3</sup>	0,832	0,854	0,839
Вязкость, мм <sup>2</sup> /с	4,14	7,95	3,4
t <sub>всп</sub> <sup>зт</sup> , °С	85	80	67
Теплота сгорания, кДж/кг	42700	40990	40990

Считается, что температура вспышки не влияет на показатели двигателя, а влияет только на пожарную безопасность. Чем она выше, тем лучше пожарная безопасность.

В то же время было отмечено, что топлива с низкой температурой вспышки приводят к более жесткой работе двигателя и снижению срока работы двигателя из-за испарения большего количества топлива в период задержки воспламенения.

Следует отметить наличие сложных закономерностей влияния смесей масел на температуру вспышки [7].

Как влияет повышенная температура вспышки на показатели двигателя, не удалось выявить. В свете этого, вероятно, желательно иметь топлива для дизелей с температурой вспышки, близкой к температуре вспышки дизельного топлива, порядка 85°C. Поэтому приготавливали смеси, исходя из этого предположения.

Испытания проводились на многофункциональном стенде с дизелем, приведенном на рис. 2.

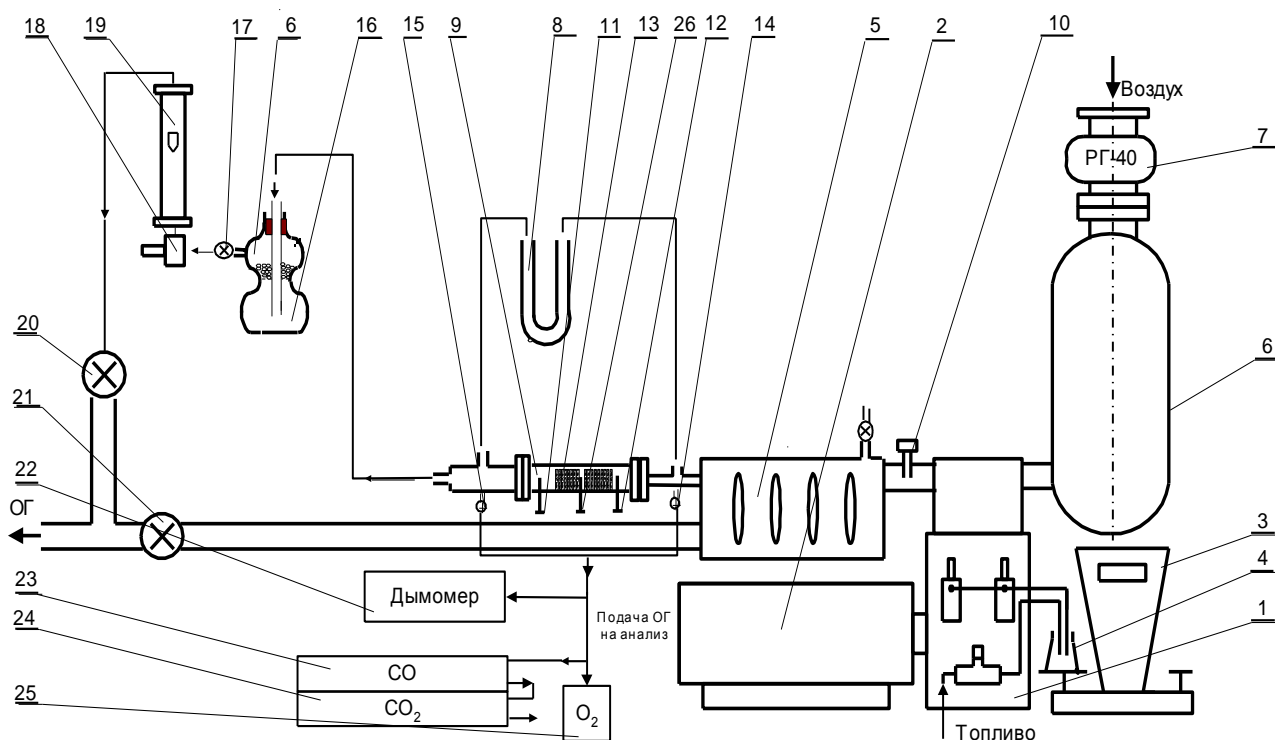


Рис. 2. Схема установки с дизелем 2 Ч8,5/11 для исследования катализаторов:  
 1-дизель; 2-электродвигатель (генератор); 3-весы; 4-мерная колба;  
 5-нагреватель ОГ; 6-воздушный ресивер; 7-газовый счетчик РГ-40;  
 8-водяной манометр; 9-лабораторный реактор; 10, 11, 12, 26-термопары;  
 13-каталитический элемент; 14, 15-газоотборные краны; 16-влажнотделительная  
 колба; 17-регулирующий кран; 18-термометр; 19-ротаметр;  
 20, 21-перепускные краны; 22-дымомер ИДС-1; 23-ГИАМ-15; 24-ГИАМ-14;  
 25-Оксид-103

В данных исследованиях объект испытаний – дизельный двухцилиндровый четырехтактный вихрекамерный двигатель 2Ч8,5/11 со штифтовым распылителем РШ 6×2×25 с давлением затяжки иглы форсунки 14,5 МПа, степень сжатия 17, объем вихревой камеры с соединительным каналом 27 см<sup>3</sup>, диаметр плунжера топливного насоса 8 мм, угол опережения впрыскивания топлива 19° п. к. в. до ВМТ.

Испытания всех топлив проводились в одном испытательном цикле, при переводе на работу на одном цилиндре.

Учитывая, что в большинстве случаев двигатели работают не на номинальном режиме, то для испытаний был выбран частичный режим. Обороты коленчатого вала 1000 об/мин при мощности двигателя 1,94 кВт.

На рис. 3 приведено сечение головки камеры сгорания.



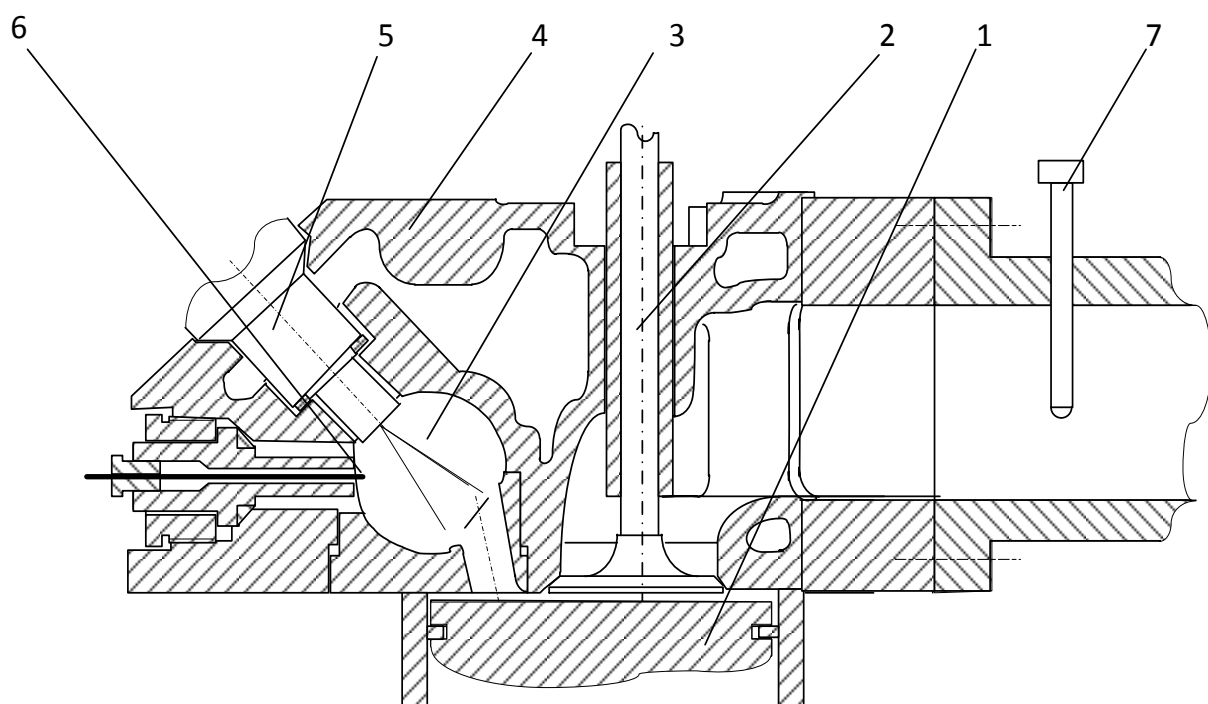


Рис. 3. Сечение камеры сгорания дизеля 1 Ч 8,5/11:

- 1 - поршень; 2 – выпускной клапан; 3 - вихревая камера сгорания; 4 - головка;  
 5 - форсунка; 6 - термопара в вихревой камере сгорания;  
 7 - термопара в выхлопном патрубке

Особенностью головки данной камеры сгорания является наличие в вихревой камере термопары диаметром 2 мм, с помощью которой фиксировалась средняя температура в этой камере.

При испытаниях использовался дымомер ИДС-1, разработанный на кафедре ДВС и затем после усовершенствований серийно выпускаемый организацией ООО НПФ «Спецприбор» [8].

Результаты испытаний дизеля 1Ч8,5/11 приведены в табл. 2.

Таблица 2

Сравнительные результаты испытаний дизельного топлива и смесей с добавкой скипидара

Параметр	Дизельное топливо	Смесь №1	Смесь №2
Мощность двигателя 1,94 кВт			
1	2	3	4
КПД	0,233	0,234	0,268
Температура отработавших газов, °С	289	284	291
Температура газов в вихревой камере сгорания, °С	548	598	610
Коэффициент избытка воздуха	2,05	2,08	2,38
Оксиды азота, чнм	827	858	905
СО <sub>2</sub> , % об.	5,6	7,33	7,21

1	2	3	4
Мощность двигателя 1,64 кВт			
КПД	0,223	0,222	0,221
Температура отработавших газов, °С	254	254	258
Температура газов в вихревой камере сгорания, °С	521	574	568
Коэффициент избытка воздуха	2,31	2,35	2,35
СО <sub>2</sub> , % об.:	4,73	4,17	6,42
Мощность двигателя 1,19 кВт			
КПД	0,202	0,198	0,197
Температура отработавших газов, °С	205	207	209
Температура газов в вихревой камере сгорания, °С	484	548	546
Коэффициент избытка воздуха	2,95	2,9	2,88
СО <sub>2</sub> , % об.:	4,44	3,1	5,36

Следует отметить, что дымность отработавших газов при работе на смесях была значительно ниже, чем при работе на дизельном топливе.

#### Выводы

Одним из дополнительных способов получения биотоплив является применение биосырья непищевого назначения. К таким веществам относятся терпентины, в частности, скипидар.

Следует отметить, что технология получения скипидара отлажена и является предварительной операцией перед вырубкой хвойных пород деревьев.

Эксперименты выявили, что скипидар смешивается с дизельным и биодизельным топливами и растительными маслами.

Температура вспышки скипидара ниже, чем дизельного топлива и масел. Это позволяет его использовать как добавку для снижения температуры вспышки смесей для обеспечения требований, соответствующих температуре вспышке дизельного топлива.

Экономичность дизеля (КПД) при работе на смесях находится на уровне экономичности, при работе на дизельном топливе, что подтверждает возможность использования скипидара в качестве присадки.

При этом температура в вихревой камере сгорания при использовании смесей с содержанием скипидара выше, чем при использовании дизельного топлива, что может свидетельствовать об улучшении сгорания.

Это приводит к существенному снижению дымности ОГ, но к повышению выбросов оксидов азота.

В этом свете необходимы дальнейшие исследования по оптимизации угла опережения впрыскивания смесей с содержанием скипидара.

## Список литературы

1. Васильев, И.П. Перспективы использования топлив растительного происхождения в Украине / И.П. Васильев // Ползуновский вестник. Барнаул (Россия). 2006. № 4. С. 39-42.
2. Bannikov, Mykola. Performance of diesel engine fuelled with biodiesel-butanol blends / Mykola Bannikov, Igor Vasilev, Syed Ehtisham Gillani // 15<sup>th</sup> international multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2015. June 18-24, 2015. Bulgaria, Albena, 2015. pp. 378-384.
3. Bannikov, M. G. Test Results of Pongamia Pinnata Methyl Esters with Direct Injection Diesel Engine / M. G. Bannikov, J.A. Chattha, Khan Ahmed Faraz, I. P. Vasilev // Proceedings of International Conference on Power Generation Systems and Renewable Energy Technologies, nov 29 to dec 2, 2010. International Islamic University. Islamabad (Pakistan), 2010. pp. 333-336.
4. Нечаев, Л.В. Сто лет со дня рождения ученого и педагога профессора Нечаева Вячеслава Константиновича / Л.В. Нечаев, Д.Д. Матиевский // Ползуновский вестник. Барнаул (Россия). 2006. №4. С. 5-9.
5. Декларационный патент 13695 Украина, С 10 L 1/10. Топливная композиция с терпенами / Васильев И.П.; заявитель и патентообладатель Восточнoукраинский национальный университет им. В. Даля. № 2005 09582; заявл. 12.10.05; опубл. 17.04.06, Бюл. №4. 4 с.
6. ГОСТ 1571–82. Скипидар живичный. Технические условия. Взамен ГОСТ 1571–76; Введ. 01.07.83. М.: Изд-во стандартов, 1990. 13 с.
7. Петренко, А.Е. Определение закономерностей изменения температуры вспышки растительных топлив из смесей различных масел / А.Е. Петренко, Ю.А. Корчанова, Л.А. Скороход, И.П. Васильев // Збірник наукових прац Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. Луганськ: ЛДАУ, 2006. – № 64 (87). С. 208-213.
8. Дядин, А.П. Разработка и совершенствование способов замера дымности дизельных двигателей / А.П. Дядин, И.П. Васильев, В.И. Васильев // Вести Автомобильно–дорожного института: Научно–производственный сборник / АДУ ДонНТУ. Горловка, 2008. № 1 (16). С. 28-31.

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАСТЕНИЕВОДСТВА

А.С. Войнаш

*Рубцовский индустриальный институт (филиал) ФГБОУ ВО*

*“Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова”*

**Аннотация.** Проводится сбор, систематизация и обобщение научно-технической информации, в том числе патентной, по достижениям в области капсулирования, оценивается вероятность перехода к "вертикальной" обработке почвы, обсуждаются направления совершенствования тракторной техники.

**Ключевые слова:** капсулирование, биоконтейнеры, точечная обработка почвы, технология “вертикальной” обработки почвы, совершенствование тракторной техники.

## ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY OF CROP PRODUCTION

A.S. Voynash

*Rubtsovsk Industrial Institute, branch of Altai State Technical University,  
Rubtsovsk, Russia*

**Summary:** Is collecting, systematization and generalization of scientific and technological information, including patent, for achievements in the field of encapsulation, estimated the probability of transition to the "vertical" tillage of soil, discussed ways of improving tractor equipment.

**Keywords:** encapsulation, bio containers, dotted tillage of soil, the technology "vertical" tillage of soil, improved tractor equipment

Современное растениеводство является важным поставщиком продуктов питания. Растущие масштабы производства сопровождаются значительным негативным экологическим эффектом, одной из причин которого выступает механическая обработка сотен миллионов гектаров земли. Анализ прогрессивных решений в технике и технологии растениеводства показал, что набирают силу процессы минимизации обработки почвы.

Одно из направлений минимизации обработки почвы связано с соответствующей подготовкой (капсулированием) семенного материала.

Макрокапсулы, или, точнее сказать, биоконтейнеры, изготавливаются из биокомпоста, торфа, органических удобрений, микроэлементов и минеральных веществ. Внутри биоконтейнеров помещаются семена или клубни определенного растения, например, картофеля. Семена оказываются заключенными в прочную оболочку из необходимых именно для этого растения удобрений и питательных веществ - отсюда и название: «биоконтейнер». Научно-практическая разработка методов капсулирования семенного материала сельскохозяйственных культур (хлопчатника, кукурузы, свеклы, картофеля и др.) проводится сейчас в ряде стран с оформлением патентов на изобретения. Патентные исследования по рубрике A01C1/06 Международной патентной классификации показали, что мировой фонд технических решений по капсулированию содержит более 6800 патентных документов (из них на долю России приходится около 300 документов), в том числе патенты РФ № 2314666, № 2423036, № 2528430, патенты США 4173462, 4628633, 7555865 и т.д. Известны многочисленные работы отечественных и зарубежных авторов (Кандрашина Т.Ф., Рашидова С.Ш., Зинин Т., Schreiber K.L. и др.) по вопросам капсулирования семян.

Метод капсулирования дает целый ряд преимуществ по сравнению с обычным способом, когда «голые» семена в установленное время просто сажают в почву. Главное преимущество заключается в том, что семена как бы окутаны своей одеждой, которая согревает их в холодной почве или в случае ударивших заморозков, а потому предохраняются от гибели в критических условиях. Эффективность метода макрокапсулирования проверена и многократно перепроверена на практике при возделывании кукурузы, картофеля, помидоров и других культур. «Капсулированные» растения

многократно превосходили высаженные обычным способом и по урожайности, и по качеству.

Важен и такой момент. Органическая «одежка» спасает растения во время заморозков. Когда семена находятся в биоконтейнерах, им капризы погоды не страшны, а аграрии в случае заморозков могут не опасаться за свой урожай. Кроме того, появляется возможность «обогнать» сельскохозяйственный календарь, то есть начать сажать желаемые культуры раньше традиционных сроков и раньше положенных сроков снимать урожай. Например, обычную кукурузу можно сажать только в мае, а «капсулированную» уже с 20 апреля. Опыты показали, что биоконтейнеры способны служить не только согревающей «одежкой». Они могут спасти растения и от другой напасти, беды противоположного рода - засухи, которая также не является в России редкостью. Оказалось, что макрокапсулы обладают эффектом термоса: во время холода согревают, во время жары спасают от перегрева. Многочисленные эксперименты на специальных опытных полях подтвердили высокую устойчивость к засухе капсулированных семян.

Предельно важен и вопрос борьбы с сорняками. Когда поле в целом удобряется минеральными веществами или химикатами, то первыми на них реагируют именно сорняки. Они, как дикие растения, более устойчивы к аграрному дискомфорту и дают всходы, причем самые обильные, гораздо раньше, чем огородные и садовые культуры. Но без удобрения почвы не обойтись. Вот и получается: аграрии сначала создают сложности, а затем их «героически» преодолевают - то есть удобряют почву и сразу выкорчевывают сорняки для того, чтобы дать возможность расти в благоприятных условиях уже сельскохозяйственным культурам. Капсулирование позволяет избежать этой тяжелой и порой бестолковой работы. Дело в том, что при использовании биоконтейнеров отпадает необходимость удобрять всю почву, потому как сами биоконтейнеры уже являются удобрениями. Мало того, макрокапсулы обеспечивают так называемое точечное или целевое удобрение - то есть они питают минеральными веществами только семена сельскохозяйственных культур, а сорняки оставляют на «голодном пайке».

В результате многолетних научно-практических опытов, например, подмосковным аграриям удалось распространить метод капсулирования на многие сферы сельского хозяйства, а также огородничества и садоводства. Разработаны специальные биоконтейнеры для интенсификации выращивания картофеля, капусты, огурцов, томатов, кабачков, свеклы, баклажанов, перца, ягодных кустов, саженцев фруктовых деревьев, цветов, а также лекарственных трав и даже арбузов и тыкв. Проведенные эксперименты показали, что урожайность в картофелеводстве, овощеводстве, садоводстве, цветоводстве, фитоводстве значительно возрастает, а затраты аграриев при этом сокращаются. С помощью капсулирования удалось не только повысить урожай, но и «насытить» картофель, овощи, фрукты, ягоды микроэлементами, сделать эти растения более «витаминными», а потому более полезными для здоровья.

Например, картофель в биоконтейнерах обогащается селеном - очень важным микроэлементом для человеческого организма.

Анализ показал, что экологический эффект, присущий методу капсулирования, может быть раскрыт в полной мере при изменении технологии подготовки почвы и посева. Очевидно, что при применении биоконтейнеров в растениеводстве снижается потребность в проведении водно-газовой подготовки места закладки семенного материала за счет сплошной механической обработки почвы и возникает возможность для перехода к точечной обработке поля. Весьма вероятно, что в будущем мобильные почвообрабатывающие и посевные комплексы смогут производить основные операции перпендикулярно поверхности поля. Резко снизится потребность в касательных силах тяги, что будет способствовать уменьшению техногенной нагрузки на сельскохозяйственные земли. В самое ближайшее время следует ожидать появления на уровне изобретений ряда решений по техническим средствам, реализующим перспективные экологические технологии "вертикальной" точечной обработки почвы с одновременным посевом.

С целью оценки направлений совершенствования тракторной техники был проведен экспертный опрос, позволивший сделать следующие обобщения.

Сельскохозяйственные тракторы, агрегируемые с техникой для "вертикальной" обработки почвы, претерпят значительные изменения как в своей общей компоновке, так и в схемных решениях отдельных систем и агрегатов.

Очевидно, что пониженный уровень касательных сил тяги позволяет отказаться от некоторых, уже ставших традиционными решений по ходовым системам, например, от полного привода колесного движителя. Для снижения давлений на почву возможно применение гусеничного движителя с гладкими гусеницами (без грунтозацепов).

Трансмиссии тракторов должны быть бесступенчатыми, что позволит снизить затраты времени на изменение режимов движения (при страгивании с места, при остановке). Предпочтительно, в частности, использование гидрообъемных трансмиссий.

Несущие системы тракторов будут более приспособлены к размещению навесного оборудования с существенным вылетом в направлении, перпендикулярном продольной оси трактора. Так, потребуются резкое повышение жесткости на кручение для поперечных сечений тракторных рам, например, за счет применения замкнутых сечений коробчатого типа.

Особое развитие получит отбор мощности двигателя трактора, например, гидравлическим или пневматическим путем, на привод рабочего оборудования для "вертикальной" обработки почвы. При этом особое внимание будет уделяться вопросам автоматизации управления таким гидро- или пневмоотбором мощности, вплоть до создания компьютеризированных систем управления с широким использованием элементов электрогидравлики.

Следует отметить, что часть названных направлений совершенствования тракторной техники уже опробована при проектировании последних поколений

лесопромышленных тракторов манипуляторного типа на Алтайском тракторном заводе, в том числе усиленная рама трактора с развитыми площадками для крепления технологического оборудования, привод гидронасосов с четырьмя независимыми потоками и др. Перенос накопленного здесь инженерного опыта, при определенном его творческом переосмыслении, на проблематику перспективных тракторов сельскохозяйственного назначения позволяет ускорить решение отмеченных выше проблем.

### **Выводы**

Анализ научно-технической и патентной информации подтверждает растущий интерес в мире к технологиям растениеводства, использующим капсулирование семенного материала.

Экологический эффект, присущий методу капсулирования, будет в максимальной степени достигнут при переходе к техническим средствам, реализующим технологии "вертикальной" обработки почвы с одновременным посевом.

Сельскохозяйственные тракторы, агрегируемые с техникой для "вертикальной" обработки почвы, претерпят значительные изменения в своей общей компоновке и в схемных решениях отдельных систем и агрегатов.

## **ВЫБРОСЫ ДВИГАТЕЛЕЙ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ**

В.А. Камерлохер, А.Ю. Ильина, Н.А. Кобец

*Филиал Южно-Уральского государственного университета (НИУ) в г. Миассе*

**Аннотация.** Один автомобиль поглощает ежегодно 4 т кислорода и выбрасывает с выхлопными газами примерно 800 кг оксида углерода, около 40 кг оксидов азота и почти 200 кг различных углеводородов. Основными нормируемыми токсичными компонентами выхлопных газов двигателей являются оксиды углерода, азота и углеводороды. Уровень содержания вредных веществ в выхлопных газах.

**Ключевые слова:** Грузовой автомобиль, выхлопные газы, загрязнения атмосферы, нормы Евро, вредные вещества.

## **ENGINE EMISSIONS OF THE TRUCKS**

V.A. Kamerlokher, A.Y. Ilina, N.A. Kobets

Branch of the South Ural State University (NRU) in Miass

**Annotation.** Annually one car absorbs 4 tons oxygen and emits with exhaust gases about 800 kg of carbon dioxide, 40 kg of nitrogen oxides and 200 kg various hydrocarbons. The main normalized toxic components of the engine exhaust are carbon oxides, nitrogen and hydrocarbons. The content of harmful substances in the exhaust gases.

**Keywords:** truck, exhaust, atmospheric pollution, Euro norms, harmful substances.

Общее количество автомашин в мире составляет примерно 400 млн. Сжигая огромное количество нефтепродуктов, они наносят ощутимый вред окружающей среде и здоровью населения. Один автомобиль в среднем поглощает ежегодно 4 т кислорода и выбрасывает с выхлопными газами примерно 800 кг оксида углерода, около 40 кг оксидов азота и почти 200 кг

различных углеводородов. В США насчитывается около 150 млн автомобилей, которые дают свыше 40% всего объема загрязнения атмосферы, а в некоторых городах даже до 80% и выше. Только в Лос-Анджелесе 3 млн автомобилей, которые ежегодно выбрасывают 3 млн т отработанных газов.

На конец 2012 года в России зарегистрировано 50 512 132 транспортных средств и прицепов к ним (рост на 5,7%). Об этом говорится в итоговой статистике ГИБДД России за 2012 год.

Из зарегистрированных ТС число легковых автомобилей увеличилось до 38 747 511 штук (рост на 6,4%), грузовиков – 5 712 065 (рост на 3%), автобусов – 924 586 (рост на 2,5%), прицепов – 2 085 805 (рост на 5,2%), полуприцепов — 544 541 (рост на 9,5%).

Примечательно, что в России на 4,3% (более чем на 111 тысяч) сократилось количество зарегистрированных мотоциклов. Оно составило 2 497 624 штуки.

Суммарная мощность автомобильных двигателей в России значительно превышает установленную мощность всех тепловых электростанций страны. Соответственно и горючего автомобили «съедают» гораздо больше, чем тепловые электростанции. Автомобильные выхлопные газы – смесь примерно 200 веществ. В них содержатся углеводороды – несгоревшие или не полностью сгоревшие компоненты топлива, доля которых резко возрастает, если двигатель работает на малых оборотах или в момент увеличения скорости при старте, т.е. во время заторов и у красного сигнала светофора [3].

Именно в это время выделяется больше всего несгоревших частиц: примерно в 10 раз больше, чем при работе двигателя в нормальном режиме.

В выхлопных газах двигателя, работающего на нормальном бензине и при нормальном режиме, содержится в среднем 2,7% оксида углерода. При снижении скорости эта доля увеличивается до 3,9%, а на малом ходу эта доля увеличивается до 6,9%.

Оксид углерода (II), оксид углерода (IV) и большинство других газовых выделений двигателей тяжелее воздуха, поэтому они скапливаются у земли. Ребенок, сидящий в коляске на тротуаре улицы с большим движением транспорта, вдыхает гораздо больше токсических веществ, чем мать, которая с ним гуляет.

Оксид углерода (II) соединяется с гемоглобином крови и мешает ему нести кислород в ткани организма. В выхлопных газах содержатся также альдегиды, обладающие резким запахом и раздражающим действием. К ним относятся акролены и формальдегид; последний обладает особенно сильным действием.

Оксид азота (IV), содержащийся в автомобильных выбросах, играет большую роль в образовании продуктов превращения углеводородов в атмосферном воздухе. В выхлопных газах присутствуют неразложившиеся углеводороды топлива. Среди них особое место занимают непредельные углеводороды этиленового ряда, в частности гексан и пентан [1].

Из-за неполного сгорания топлива в двигателе автомашины часть углеводородов превращается в сажу, содержащую смолистые вещества.



Особенно много сажи и смол образуется при технической неисправности мотора и в моменты форсирования двигателя. Стремясь получить так называемую "богатую смесь", уменьшают соотношение воздуха и горючего.

В этих случаях за машиной тянется хвост дыма, который содержит полициклические углеводороды и, в частности, бенз (а)-пирен.

Весьма опасной составной частью выхлопных газов автомобилей являются соединения неорганического свинца, образующиеся при сгорании в двигателе автомобиля тетраэтилсвинца, который добавляют к бензину.

В 1 л бензина может содержаться около 1 г тетраэтилсвинца, который разрушается и выбрасывается в виде соединений свинца.

В выбросах дизельного транспорта свинец отсутствует. Тетраэтилсвинец используется в США с 1923 г. в качестве добавки к бензину. С этого времени выброс свинца в окружающую среду непрерывно возрастает.

Поэтому проблема устранения свинцовых добавок из горючего с целью предотвращения отравления окружающей среды токсическими выхлопными газами все больше привлекает внимание ученых [4].

По мере роста автомобильного парка стандарты на ограничение выбросов токсичных веществ введены во многих странах мира, в зависимости от концентрации автомобилей, климатических, рельефных условий и других факторов. Под токсичностью выбросов двигателя автомобиля (токсичностью двигателя) подразумевается способность выбросов двигателя оказывать токсическое воздействие на людей, животный мир, что определяется следующими факторами:

- составом токсичных веществ;
- абсолютным количеством выбросов токсичных веществ в единицу времени (или на единицу пути, пройденного автомобилем);
- физико-химическими законами превращения химических соединений в атмосфере;
- геофизическими законами распространения токсичных веществ;
- чувствительностью живых организмов.

В настоящее время стандартами всех стран мира регламентируются выбросы токсичных компонентов на определенных, наиболее характерных режимах работы двигателя (стандарты первого рода) или на совокупности режимов, имитирующих действительные условия эксплуатации (стандарты второго рода) [5].

Основными нормируемыми токсичными компонентами выхлопных газов двигателей автомобилей являются оксиды углерода, азота и углеводороды. Кроме того, с выхлопными газами в атмосферу поступают предельные и непредельные углеводороды, альдегиды, канцерогенные вещества, сажа и другие компоненты (табл. 1).

Состав автомобильных выхлопных газов

	Бензиновые двигатели	Дизельные двигатели
N <sub>2</sub> , об. %	74—77	76—78
O <sub>2</sub> , об. %	0,3—8,0	2,0—18,0
H <sub>2</sub> O (пары), об. %	3,0—5,5	0,5—4,0
CO <sub>2</sub> , об. %	0,0—16,0	1,0—10,0
CO, об. %	0,1—5,0	0,01—0,5
Оксиды азота, об. %	0,0—0,8	0,0002—0,5
углеводороды, об. %	0,2—3,0	0,09—0,5
Альдегиды, об. %	0,0—0,2	0,001—0,009
Сажа, г/м <sup>3</sup>	0,0—0,04	0,01—1,10
Бензпирен-3,4, г/м <sup>3</sup>	10—20·10 <sup>-6</sup>	10×10 <sup>-6</sup>

В далеком уже 1992 году страны Евросоюза ввели на своей территории норму Евро, которая устанавливала предельно допустимое содержание токсичных веществ в выхлопных газах автомобилей. В течение каждых последующих 4-5 лет Евросоюз ужесточал эти нормы.

Выбросы загрязняющих веществ регулируются отдельно для легковых и легких коммерческих автомобилей, для грузовых автомобилей и автобусов.

Ограничения касаются содержания окиси углерода, оксидов азота, углеводородов и твердых частиц (сажи). Дизельные двигатели для грузовых автомобилей с 2000 года (Евро 3) дополнительно проходят тест на дымность [2].

Ужесточение норм Евро 5 и Евро 6 в основном касаются дизельных автомобилей, существенно ограничивая содержание выбросов твердых частиц (сажи) и оксидов азота.

### **Экологический уровень двигателей автомобилей Урал**

С введением в действие на территории Российской Федерации требований Правил ЕЭК ООН № 85,24-03 и 49-02(B) (Евро 2) ОАО «АЗ «Урал» с января 2003 года перешел на производство автомобилей Урал 4320-41 и их модификации с двигателем ЯМЗ-236НЕ2 с некоторыми изменениями:

1. Установлен силовой агрегат с двигателем ЯМЗ-236НЕ2 V6 с турбонаддувом, с V-образным ТНВД модели 324-10.01, сцеплением ЯМЗ-182.

2. Изменена система питания двигателя топливом.

3. Изменена система выпуска газов. С двигателя выхлопные газы подводятся к турбокомпрессору для раскручивания турбины, а затем через одну выхлопную трубу диаметром 96 мм поступают на глушитель.

Последние двигатели, устанавливаемые сейчас на продукцию завода «Урал», соответствуют экологическому классу Евро 4.

Экологический уровень Евро 4 достигается путем применения системы EGR (рециркуляция отработавших газов) и каталитического нейтрализатора со сменным фильтром на выпуске.

На сегодняшний день автомобильный завод «УРАЛ» активно развивается, открывает новые направления своей деятельности, расширяет и совершенствует предлагаемую продукцию на рынке большегрузных автомобилей. Предприятие не ограничивается выпуском только лишь внедорожных автомобилей, прославившихся на весь мир, а осваивает новые ниши на рынке, выпуская современные мощные комфортабельные грузовики для дорог общего пользования.

В последние годы, за счет пополнения модельного ряда «УРАЛов» автомобилями дорожной гаммы, значительно расширился круг задач, которые на высоком уровне могут решать автомобили УРАЛ. Кроме того, велико разнообразие специального оборудования, которое сегодня монтируется на ураловские шасси [2].

### **Экологический уровень двигателей автомобилей КамАЗ**

Выхлопная система - система выпуска отработанных газов. Она включает выпускной коллектор, каталитический конвертер (на современных машинах) и глушитель.

Для решения проблем по повышению экономичности и снижению выбросов частиц с целью выполнения экологических норм Евро 4 и 5 на двигатели автомобилей КамАЗ (рис. 1) адаптирована система топливоподачи Common Rail аккумуляторного типа BOSCH (Германия) [6].

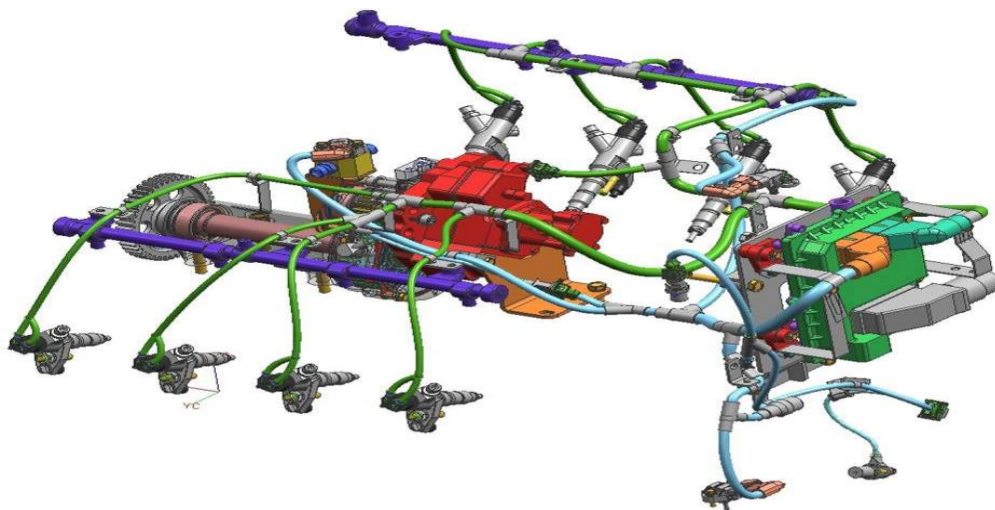


Рис. 1. Система топливоподачи Common Rail аккумуляторного типа BOSCH (Германия)

ОАО «КамАЗ» приняло решение уменьшать уровень выброса  $\text{NO}_x$  путем обработки отработавших газов с помощью каталитического нейтрализатора вне двигателя (рис. 2). Двигатели КамАЗ с полезной мощностью до 460 л. с. оснащены системой SCR (селективное восстановление на основе мочевины).

SCR-технология включает в себя использование каталитического нейтрализатора вместо обыкновенного глушителя и специального бака для реагента AdBlue, который впрыскивается дозирующей системой с электронным управлением в отработавшие газы до нейтрализатора [6].

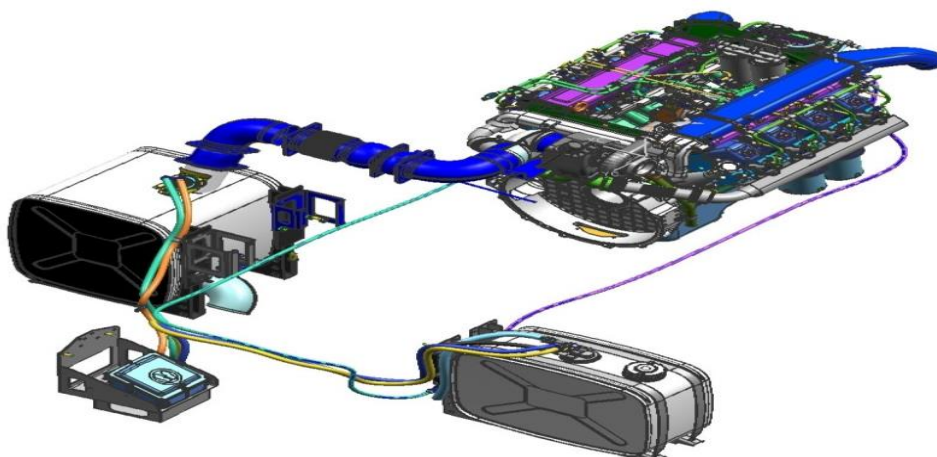


Рис. 2. Дозирующая система SCR (селективное восстановление на основе мочевины) с электронным управлением

### **Экологический уровень двигателей автомобилей Volvo trucks**

В целях выполнения требований норм токсичности Euro 5, а также норм Euro 6, компания Volvo выбрала усовершенствованную технологию избирательной каталитической реакции (SCR) и более эффективной системы дозирования реагента AdBlue (мочевина). Данная технология применяет присадку AdBlue, вводимую в выхлопные газы, до того, как они пройдут через каталитический нейтрализатор SCR (рис. 3), где окислы азота превращаются в безвредный газообразный азот и водяной пар. Инфраструктура для AdBlue постоянно расширяется [7].

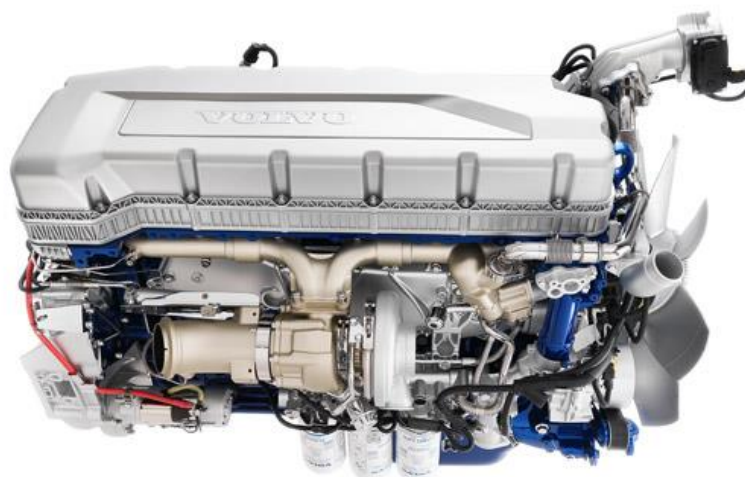


Рис. 3. Дозирующая усовершенствованная технология избирательной каталитической реакции (SCR)

В первом тяжелом гибридном грузовике (рис. 4) одновременно используются дизельный и электродвигатель, что позволяет сократить расход топлива и уровень выбросов CO<sub>2</sub> в городах на 30%.



Рис. 4. Первый тяжелый гибридный грузовик Volvo trucks hybrid

### Экологический уровень двигателей автомобилей Mercedes trucks

Благодаря ультрасовременным технологиям и уникальной системе впрыска топлива X-Pulse, разработанной специалистами Daimler Trucks (рис. 5), эта система контролирует скорость, давление, время и объем впрыска, а также рециркуляции отработавших газов с последующей обработкой дизельной технологией BlueTec и применением фильтров для твердых частиц, двигатели Blue Efficiency.



Рис. 5. Грузовой автомобиль фирмы Daimler Trucks с уникальной системой впрыска топлива X-Pulse

Стандарт Евро 6 предполагает дальнейшее сокращение выбросов вредных веществ в атмосферу: на 80% (от существующего стандарта Евро 5) снижение выбросов оксидов азота ( $\text{NO}_x$ ), и на 67% – твердых частиц.

Выхлопные газы являются продуктами окисления и неполного сгорания углеводородного топлива. Выбросы выхлопных газов – основная причина превышения допустимых концентраций токсичных веществ и канцерогенов в атмосфере крупных городов, образования смогов, являющихся частой причиной отравления в замкнутых пространствах. Количество выделяемых в атмосферу загрязняющих определяется массовым выбросом газов и составом отходящих газов.



## Снижение токсичности отработавших газов двигателей

Методы, применяемые для снижения токсичности отработавших газов, можно разделить на четыре группы:

- группа I — изменение конструкции, рабочего процесса, специального регулирования двигателей внутреннего сгорания и их систем;
- группа II — применение другого вида топлива или изменение физико-химических свойств топлива;
- группа III — очистка выбросов от токсичных компонентов с помощью дополнительных устройств;
- группа IV — замена традиционных двигателей новыми малотоксичными силовыми установками.

Группа I включает в себя мероприятия по улучшению смесеобразования и обеднения смеси, дозирования и распределения ее по цилиндрам (электронные и электромеханические системы впрыска топлива, модифицированные быстропрогреваемые впускные клапаны).

Токсичность отработавших газов значительно уменьшается при применении бесконтактных транзисторных систем зажигания, карбюраторов новых типов (с быстродействующими заслонками, электронным управлением), при установке устройств для рециркуляции отработавших газов. С помощью специальных регулировок (состава смеси, частоты вращения холостого хода, угла опережения зажигания и времени перекрытия клапанов) можно уменьшить содержание токсичных компонентов в отработавших газах.

Группа II имеет два основных направления — применение присадок к топливам, снижающих выброс свинца, серы, сажи и т.д.; перевод двигателей на другие виды топлива (природный газ, пропан-бутан, водород).

Группа III включает в себя очистку выбросов от токсичных компонентов с помощью нейтрализаторов разных типов и очистителей, устанавливаемых на автомобилях.

Для снижения токсичности отработавших газов применяют неэтилированный бензин [1].

С целью снижения уровня эмиссии в атмосферу токсичных составляющих, попадающих в состав отработавших газов двигателя в результате испарения и неполноты сгорания топлива, а также для поддержания эффективности отдачи двигателя и снижения расхода топлива, современные автомобили оснащаются целым рядом специальных систем, которые можно объединить под общим названием: системы управления двигателем и снижения токсичности отработавших газов. Рассмотрим наиболее распространенные системы.

1. Управление дозированием топлива. Контроль над составом смеси осуществляют системы управления подачей топлива. При коэффициенте избытка воздуха  $\lambda=0,9$  двигатель работает с максимальной мощностью и крутящим моментом. Оптимальная экономичность и минимальные выбросы CO и CH достигаются при работе на смесях с коэффициентом  $\lambda =1,1$ .

2. Рециркуляция отработавших газов. Направление части отработавших газов обратно в камеру сгорания (рециркуляция) применяется для уменьшения

температуры сгорания смеси с целью снижения образования оксидов азота и расхода топлива. Однако при этом снижается и мощность двигателя.

3. Вентиляция картера двигателя. Так как токсичность картерных газов многократно выше отработавших, их выпуск в атмосферу запрещён.

4. Термическое дожигание отработавших газов. Дожигание компонентов отработавших газов, которые не сгорели в цилиндре двигателя, происходит в выпускной системе, куда специальным нагнетателем подают дополнительный воздух, необходимый для протекания реакции дожигания. С развитием систем каталитической очистки отработавших газов термическое дожигание используется уже не столь широко, как ранее.

5. Каталитическое дожигание. Дожигание компонентов отработавших газов происходит в специальном приборе – каталитическом нейтрализаторе. Нейтрализатор монтируется в системе выпуска отработавших газов и размещается под днищем автомобиля. В корпусе нейтрализатора имеется керамический блок, на который наносится покрытие из каталитического материала (металлы Pt, Rh, Rd).

6. Системы с обратной связью ( $\lambda$ -регулирование). Данная система обеспечивает нейтрализацию до 96 % вредных веществ в отработавших газах. В системе используются два кислородных датчика.

Один датчик устанавливается перед каталитическим нейтрализатором, другой – после него. Датчики, измеряя количество свободного кислорода в отработавших газах, через систему управления подачей топлива влияют на состав топливовоздушной смеси, поступающей в цилиндры двигателя. Для обеспечения соответствующей очистки отработавших газов нейтрализатором двигатель должен работать в узком диапазоне значений  $\lambda = 1 \pm 0,005$ , называемом «окном» каталитического нейтрализатора [4].

**Заключение:** В целом можно сказать, что грузовые автомобили, выпускающиеся сейчас в мире, снабжены аналогичными устройствами и схожими системами. Уровень содержания вредных веществ в выхлопных газах соответствует предъявляемым требованиям.

#### Список литературы

1. Антонов В.Н. Организация автомобильных перевозок и безопасность движения: Конспект лекций / Антонов В.Н., Каз.федер.ун-т. – Казань - 2013. – 83 с.

2. Кочетков Д.В., Камерлохер В.А. Применение технологии селективного каталитического восстановления (SCR) на автомобилях «УРАЛ»/ Материалы Международной научно-практической конференции 24 октября 2013. Проблемы и перспективы развития автомобильного транспорта. – КГУ, Курган, 2013.- С. 51-66.

3. Безопасность транспортных средств: учебник для высш. учеб. заведений / Н.Я. Яхьяев. — М.: Издательский центр «Академия», 2011. — 432 с.

4. Клинковштейн Г.И. Организация дорожного движения: учебник для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. /Г.И. Клинковштейн, М.Б. Афанасьев. – М.: Транспорт, 2001. – 247 с.

5. Рябчинский А.И., Трофименко Ю.В., Шелмаков С.В. Экологическая безопасность автомобиля; Под ред. член-корр. РАН В.Н. Луканина / МАДИ-ТУ. М., 2000. - 95 с.

6. Конструктивные особенности автомобилей КАМАЗ уровня Евро-4, КамАЗ. 2012 [ЭР] uralkam.ru.

7. Евро-6 и экономия топлива. Топливо - Десять главных историй: VOLVO TRUCKS [ЭР] volvotrucks.com>TRUCKS/RUSSIA-MARKET/RU-RU/TRUCKS

## **ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗМОЛА РУД ПОЛИМЕТАЛЛОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРИСТЫХ ПРОНИЦАЕМЫХ КАТАЛИТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВС-СИНТЕЗА**

М.С. Канапинов, Н.Н. Горлова, Г.В. Медведев

*Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова*

Ужесточение экологических требований к степени очистки отработавших газов ДВС от вредных веществ приводит к использованию каталитических фильтров нейтрализаторов в автомобилях с дизелями, что является обязательным условием в свете предъявляемых требований к охране окружающей среды. При этом стоимость нейтрализаторов составляет большую долю стоимости всего автомобиля. В связи с этим актуальным является вопрос снижения стоимости используемых веществ, при получении пористого проницаемого каталитического материала для нейтрализаторов отработавших газов ДВС. Одним из путей является использование размола руд полиметаллов в шихте при производстве таких материалов.

**Ключевые слова:** каталитические нейтрализаторы, пористые проницаемые материалы, степень очистки, СВС-синтез.

## **POSSIBILITY OF USE OF GRIND OF ORES OF POLYMETALS FOR RECEIVING POROUS PERMEABLE CATALYTIC MATERIALS WITH USE OF SVS-SINTEZA**

M.S. Kanapinov, N.N. Gorlova, G.V. Medvedev

*Altai state technical university named I.I. Polzunova*

Toughening of ecological requirements to extent of purification of the fulfilled DVS gases of harmful substances, leads to use of catalytic filters of converters in cars with diesels that is an indispensable condition in the light of qualifying standards to environmental protection. Thus the cost of converters makes a big share of cost of all car. In this regard the question of depreciation of the used substances is actual, when receiving porous permeable catalytic material for converters of the fulfilled DVS gases. One of ways is use of grind of ores of polymetals in furnace charge by production of such materials.

**Keywords:** catalytic converters, porous permeable materials, extent of cleaning, SVS-synthesis.

Каталитические фильтры нейтрализаторов работают в сложных условиях на нестационарных режимах. Изменение режимов работы нейтрализаторов,



согласно вероятностным законам, связано с изменением режимов работы дизелей. Одновременно могут изменяться количество, состав и температура отработавших газов. Свои коррекции вносит и изменение условий теплообмена с окружающей средой, а также температура, давление и влажность воздуха на впуске, влияющие на процессы наполнения, сжатия, сгорания и выпуска двигателя внутреннего сгорания (ДВС) и определяющие во многом состав отработавших газов [1, 2].

В реакторах каталитических нейтрализаторов одновременно происходит целый ряд физических, химических и механических процессов, а именно:

- одновременно с фильтрацией твердых части (ТЧ) при температурах свыше 500 °С в присутствии катализаторов происходит их выгорание на поверхностях фильтров;

- твердые частицы загрязняют поверхности фильтров, проникают в поры, создавая высокие противодавления на выпуске дизелей;

- вместе с серным ангидридом ТЧ образуют отложения на поверхностях каталитических фильтров, дезактивируя последние;

- выбросы оксидов азота и серы, вступая в реакции с парами воды, образуют частицы кислот, что приводит к разрушению фильтров;

- пористые фильтры осуществляют функции глушения шума выпуска, пламягашения и искрогашения;

- системы фильтрации отработавших газов не рассчитаны на длительную непрерывную работу и требуют периодической регенерации;

На основании изложенного были сформулированы основные требования, предъявляемые к каталитическим фильтрам для очистки отработавших газов дизелей от вредных веществ и твердых частиц. К ним были отнесены следующие:

1. При фракционном составе задерживаемых твердых частиц со средним диаметром менее 1 мкм должна обеспечиваться степень очистки не менее 50 %;

2. "Сажеемкость" фильтра должна обеспечивать непрерывную эксплуатацию дизеля при двухсменной эксплуатации без регенерации;

3. Подключение системы фильтрации должно быть безопасно с обеспечением переключения потока отработавших газов непосредственно в атмосферу или в параллельно установленную систему;

4. Система фильтрации отработавших газов должна выдерживать вибрации с частотами до 150 Гц и виброускорения до 4 g;

5. Система фильтраций и очистки должна быть оборудована устройствами, обеспечивающими регенерацию каталитических фильтров без съема с места установки и разборки;

6. Система очистки от вредных веществ должна обеспечивать снижение выбросов:

- оксидов азота - до 88,5%;

- оксидов углерода - до 78%;

- углеводородов (суммарно) - до 79,5%;

- оксидов азота и углеводородов (суммарно) - 86%;

- по городскому прогревному циклу испытаний эффективность очистки регламентируется по компонентам:

- CO - 98%;
- C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> - 88%;
- NO<sub>x</sub> - 81% (правило 83-02 ЕЭК ООН);

7. Системы фильтрации и очистки должны быть оборудованы системами автоматического управления, обеспечивающими переключение потока ОГ и включение системы регенерации фильтров;

8. Фильтрующие элементы должны обладать низким начальным газодинамическим сопротивлением, высокой пористостью, гидростойкостью, низкой стоимостью, простотой и надежностью конструкции;

9. Срок службы систем фильтрации и очистки отработавших газов должен быть не менее моторесурса дизеля. В интервале рабочих температур в пределах 100... 900 °С.

Изложенные требования к фильтрам для очистки отработавших газов дизелей от вредных веществ и твердых частиц не являются исчерпывающими и в то же самое время концентрируют внимание на основных положениях.

Применение отдельных композитных каталитических материалов для очистки отработавших газов ДВС во многом определяется исходя из соотношения цены и качества. Поэтому ведущие фирмы, производящие материалы для каталитических нейтрализаторов, идут по следующим путям:

1. Использование композитных материалов в качестве носителей и каркасов каталитических блоков;

2. Замещение катализаторов из благородных металлов платиновой группы окисными;

3. Использование пенометаллов из сплавов, например, монеля;

4. Использование новых технологий, позволяющих использовать руды редкоземельных металлов при получении пористых проницаемых каталитических материалов, например технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) [3].

В последнее время ведущими фирмами уделяется большое внимание использованию замещающих составляющих в виде руд редкоземельных металлов с целью сокращения затрат на производство пористых проницаемых каталитических материалов с заданными свойствами последнего.

Фирмой "NGK Insulators, Ltd." (Япония) при изготовлении сажевых фильтров используются материалы, содержащие кордиерит, азотистый и углеродистый кремний, алюминий, муллит, титанаты алюминия и алюминиевого силиката. Этой же фирмой в насадках сажевых фильтров используются нитритовые пористые кремний-металлические изделия со средним диаметром пор 3 мкм. В состав изделий вводятся лантаноиды. Оптимизированы значения пористости, размеров пор и прочности материалов. Этой же фирмой разработаны технологические нанесения на поверхность ячеистой керамической структуры слоя катализатора, а толщина перегородок составляет 0,2 мм (Заявка ЕПВ № 1698397, МПК В 01 J 35/04).

Известна разработка каталитической системы на основе столбчатых глин. Каталитические системы аммоний-алюминиевого гидроксида с оксидом алюминия и цеолитом с размером частиц 10...30 мкм и 0,1...0,3 мкм соответственно служат основой материала матриц, содержащего кальций, скандий, или барий. Удельная площадь поверхности пористого материала составляет 500 м<sup>2</sup>/г. Технология изготовления этого материала разработана фирмой "Delphi Technologies, Ins." (Патент США №6573214).

В целях снижения расхода благородных металлов для каталитических покрытий фирма "Honda Giken Kogyo K.K." (Япония) предлагает использование перовскита - минерала, содержащего сложные оксиды редкоземельных металлов.

Фирмами "DAF" (Нидерланды), RHD (Германия) используются керамические монолиты из кордиерита с последующей пропиткой растворами, содержащими соединения Li, Na, K, Rb, Cs, Mg, Ca, Sr, Ba, и сушкой.

Гранулированный диатомит, представляющий собой окаменевшую осадочную породу, состоящий на 90% из SiO<sub>2</sub> и на 10% из природных материалов и имеющий пористую структуру может использоваться как фильтрующий материал в сажевых фильтрах, например, по патенту США № 7320723 (МПК B01D 46/30).

При изучении вопросов расширения ресурсной базы и замещения благородных металлов в каталитических материалах наибольший интерес представляют руды и минералы, содержащие элементы, необходимые для протекания реакций самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, формирования структуры и обеспечения необходимых свойств [4].

В первую очередь привлекают внимание полиметаллические руды, содержащие редкоземельные металлы (РМЗ). Несмотря на то, что РМЗ находятся более чем в 100 минералах, только некоторые из них, наиболее богатые редкоземельными элементами, используются в качестве руды при получении пористых проницаемых каталитических материалов.

В качестве минералов, которые можно использовать в качестве замещающих платину, золото, никель, изучена возможность использования порпечита, кюстерита, пентландита.

Использование размола вышеприведенных руд как составляющих шихты при производстве пористых проницаемых каталитических материалов позволит получить материал с заданными свойствами с наименьшими затратами на его производство.

#### Список литературы

1. Горбунов, В.В. Токсичность двигателей внутреннего сгорания: учеб. пособие / В.В. Горбунов, И.И. Патрахальцев. - М.: Изд-во РУДН, 1998. - 214 с.
2. Смайлис, В.И. Малотоксичные дизели. - М.: Машиностроение, 1972. - 128 с.

3. Евстигнеев, В.В. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез: Материалы и технологии / В.В. Евстигнеев - Новосибирск: Наука, 2001. - 284 с.

4. Новоселов, А.А. Очистка отработавших газов дизеля на катализаторах на основе руды цеолитов / А.А. Новоселов, А.А. Мельберт, В.А. Сеницын, Е.В. Титова // Ползуновский вестник. - 2012. - №3/1. - С. 155-157.

## МАГНИТОУПРАВЛЯЕМЫЙ НЕФТЕСОРБЕНТ И УСТАНОВКА ДЛЯ ЕГО ПОЛУЧЕНИЯ

Е.А. Квашева

*Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева  
Шаньдунский научно-технический университет*

**Аннотация:** рассмотрены вопросы получения нефтесорбентов на основе углеродсодержащих отходов промышленных предприятий, в частности разработки установки по их производству.

**Ключевые слова:** Магнитные нефтесорбенты, ферромагнетики, аварийные разливы нефти.

## MAGNETIC OILSORBENT AND INSTALLATION FOR ITS OBTAINING

Ekaterina Andreevna Kvashevaia

*Kuzbass State Technical University*

*Shandong University of Science and Technology*

**Annotation:** the issues of oilsorbent obtaining on the basis of carbon-containing industrial enterprises waste, in particular the development of installations for its production.

**Keywords:** magnetic oilsorbent, ferromagnets, accidental oil spills.

В результате небезупречности технологий, ряда других причин на всех этапах работы с нефтью и нефтепродуктами возможны аварийные разливы, приводящие к загрязнению окружающей среды. Согласно статистике, в России регистрируется порядка 20 тыс./год подобных аварий, со средним объёмом разлива нефти до 20 м<sup>3</sup>. Как результат – образование внушительного по размерам нефтяного пятна, распределенного тонким слоем на водной поверхности. Так, например, 1 т нефти при попадании в воду может распространиться на 12 км<sup>2</sup> от эпицентра. Крупные аварии, разливы нефтяного сырья связаны чаще всего с этапами разведки, добычи и транспортировки жидких углеводородов.

Для экстренной и эффективной ликвидации таких чрезвычайных ситуаций наиболее подходит метод адсорбции нефтепродуктов пористыми нефтесорбентами. Преимущество сорбционного метода – возможность удаления загрязнений чрезвычайно широкой природы практически до любой остаточной концентрации независимо от их химической устойчивости. Наиболее эффективны сорбенты для очистки воды от разливов нефти, нефтепродуктов и прочих органических жидкостей [1].

Сорбент распыляют на поверхность воды и после сорбции загрязнений собирают обратно. Именно в стадии сбора отработанного сорбента и

заканчиваются главная сложность. Применяемые сегодня сорбенты (на основе графита, полимеров, прочих органических веществ):

- разносятся ветром, течением;
- прилипают к оборудованию;
- пачкаются.

Такие негативные особенности сорбентов приводят к тому, что процесс их сбора после поглощения нефтепродуктов становится очень энергозатратным и длительным, требуя значительных финансовых затрат. Потому актуальным является повышение скорости сбора сорбента, качества работы с ним, снижение трудоемкости процесса в целом и, соответственно, снижения экономических затрат.

На кафедре химической технологии твердого топлива КузГТУ разработана технология создания управляемых сорбентов, в частности магнитоуправляемых. Данное направление в мировой технике развивается сравнительно недавно, но уже сейчас понятно, что применение магнитоуправляемых сорбентов упрощает процесс очистки воды и последующего сбора сорбента, делая его более управляемым [2].

В современном мире процесс «намагничивания» нефтесорбента – процесс достаточно дорогой и трудоемкий. Использование магнитной жидкости в работе увеличивает цену нефтесорбента в несколько десятков раз. Но в содержании данного компонента есть множество веществ, которые необходимы для сорбента.

Таким образом, для решения обозначенных проблем выдвигается следующая гипотеза: для разработки нефтесорбента, который будет превосходить аналоги по эффективности использования, необходимы магнитные свойства и высокая гидрофобность. С целью совершенствования нефтесорбента следует разработать единый технологический процесс с положительным экономическим эффектом от внедрения [3].

На базе кафедры химической технологии твердого топлива КузГТУ более трех лет ведутся разработки по данному проекту. Запатентован состав нефтесорбентов, разработан технологический процесс и получены опытные образцы.

В качестве исходного сырья для получения нефтесорбента предложено использование органической биомассы животноводческих предприятий в смеси с древесными опилками. Изучен процесс пиролиза исходной массы, в результате которого получают термически обработанное сырье для дальнейших испытаний. Исходные образцы биомассы подвергали пиролизу в программируемом режиме подъема температуры. В процессе сухого пиролиза происходит разложение без доступа кислорода отходов на жидкую и газообразную фракции с образованием твердого остатка – карбонизата. Для уменьшения степени угара карбонизата в воздушной среде охлаждение карбонизата проводили инертным газом –  $\text{CO}_2$ . При этом эксперимент показал, что без предварительного охлаждения инертными газами в реакторе-пиролизере угар карбонизата составляет 6-12% мас.

В дальнейшем сорбент помещали в установку (рис. 1), по результату работы которой нефтесорбенту придавали магнитные свойства.

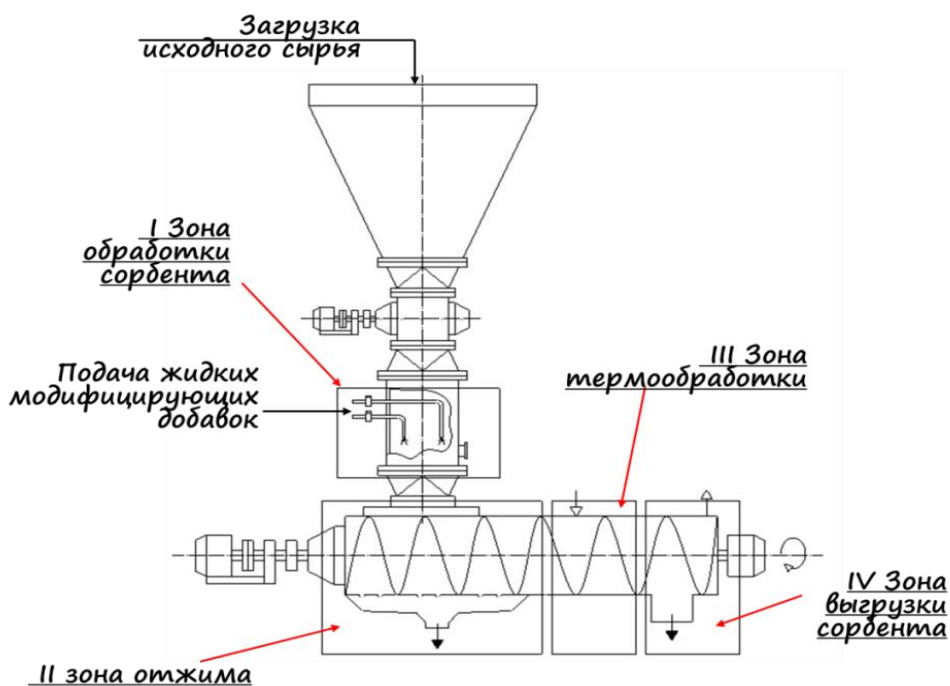


Рис. 1. Установка для получения магнитоуправляемого гидрофобизированного нефтесорбента

Сорбенты загружают в зону загрузки исходного сырья, затем в I зоне обработки сорбентов происходит подача жидких модифицирующих добавок.

Магнитоуправляемые сорбенты, используемые для сбора нефти с поверхности водоемов и других областях, представляют собой дорогостоящие материалы, изготовление которых требует использования сложных технологических процессов и не менее сложного и дорогого оборудования. Использование именно жидкого материала для пропитки сорбента (и придания ему тем самым магнитных свойств) выгодно отличает предложенный нами способ получения магнитных сорбентов от аналогов. Применение различных магнитных жидкостей (в отличие от магнетита определенного состава) позволяет в широких пределах варьировать свойства получаемого сорбента.

В нашей работе применена магнитная жидкость на основе полиметилсилоксанов, что позволяет решить несколько важных проблем:

- Экономическая. При производстве магнитных сорбентов часто используют магнитную жидкость на основе олеиновой кислоты и керосина, это достаточно дорогое производство, так как стоимость 1 л такой магнитной жидкости достигает порядка 30 тыс. рублей.

- Технологическая. Использование магнитной жидкости на основе гидрофобизаторов позволяет помимо магнитных свойств также и гидрофобизировать поверхность.

Далее сорбент попадает в II зону отжима, где с помощью центрифуги удаляется избыточная влага и излишки модифицирующей добавки, сливаясь в

поддон для повторного использования. С помощью горячего потока воздуха сорбент сушат, и в IV зоне выгрузки нефтесорбента мы получаем готовый продукт, общий вид которого представленный на рисунке 2.

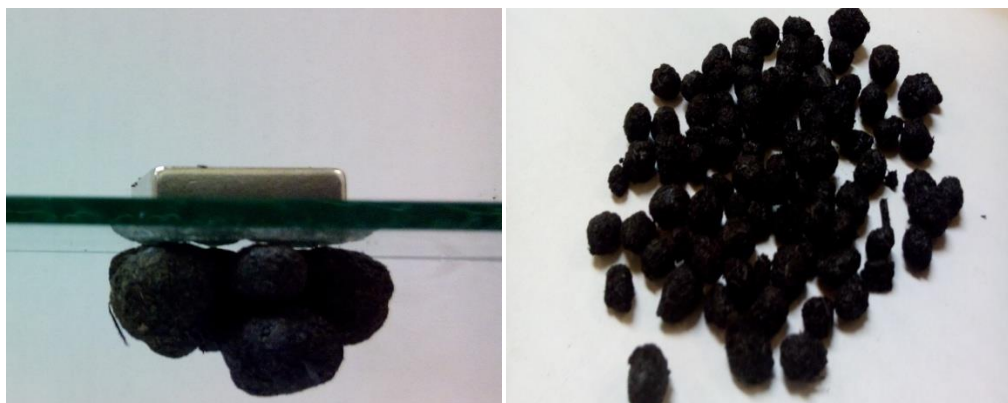


Рис. 2. Магнитоуправляемый гидрофобизированный нефтесорбент

Потенциальные потребители – предприятия, выпускающие сорбенты, а также компании, ведущие транспортировку, переработку и хранение нефти и нефтепродуктов: ОАО «Роснефть», ОАО «ЛУКОЙЛ», ОАО «Газпромнефть», ОАО «Сургутнефтегаз». Отдельно можно выделить службы экологического контроля, МЧС [4].

#### Список литературы

1. Квашева, Е.А.; Ушакова, Е.С. Сборник материалов VI Всероссийской 59 научно-практической конференции молодых ученых «Россия молодая» / Е.А. Квашева. Кемерово, 2014.
2. Квашева, Е.А.; Ушакова, Е.С., Ушаков, А.Г., Ушаков, Г.В. Сборник материалов XV Научно-практической конференции «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири»/ Е.А.Квашева. Кемерово, 2014.
3. Квашева, Е.А.; Ушакова, Е.С. Инновационный конвент «Кузбасс: образование, наука, инновации»/ Е.А. Квашева. Кемерово, 2014.
4. Квашева, Е.А.; Ушакова, Е.С. Сборник материалов Молодежного научного семинара «Эколог – профессия будущего»/ Е.А. Квашева. Кемерово, 2014.

## ВЛИЯНИЕ УРОВНЯ ШУМА НА ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ В ГОРОДЕ ТЮМЕНИ

П.Г. Колупаева, А.С. Гаваев

*Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень*

**Аннотация:** в статье проведен анализ воздействия шума на организм человека, в частности на водителя транспортного средства. Подробно рассмотрены закономерности изменения уровня шума при движении автомобиля по дорожной поверхности с различным покрытием при использовании зимних и летних шин.

**Ключевые слова:** автомобильный транспорт, шум, дорожное покрытие, уровень шума, условия труда, безопасность дорожного движения.

## THE EFFECT OF NOISE ON ECOLOGICAL SECURITY IN THE CITY OF TYUMEN

P. G. Kolupaeva<sup>1</sup>, A. S. Gavaev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tyumen state oil and gas University, Tyumen;

<sup>2</sup>Tyumen state oil and gas University, Tyumen;

**Abstract:** in the article the analysis of influence of noise on the human body, in particular of the vehicle driver. Detail the patterns of change in noise level when driving on road surfaces with different surface when using the winter and summer tires.

**Keywords:** road transport, noise, noise level, working conditions, road safety.

Основным источником шума в городе является транспорт, и его шумовое воздействие постоянно растет. Воздействие шума на живые организмы неоднозначно и отличается степенью восприятия. Объективными показателями шумового воздействия являются интенсивность, высота звуков и продолжительность воздействия. Интенсивность характеризует величину звукового давления, которое оказывают звуковые волны на барабанную перепонку уха человека и измеряется в децибеллах (дБ).

Человек всегда жил в мире звуков и шума. Звучом называют такие механические колебания внешней среды, которые воспринимаются слуховым аппаратом человека (от 16 до 20 000 колебаний в секунду). Колебания большей частоты называют ультразвуком, меньшей - инфразвуком. Шум - громкие звуки, слившиеся в нестройное звучание. Воздействие шума на организм человека вызывает негативные изменения прежде всего в органах слуха, нервной и сердечно-сосудистой системах.

На уровень шума влияет ряд факторов:

1. Интенсивность транспортного потока. Наибольшие уровни шума регистрируются на магистральных улицах городов при интенсивности движения 2000-3000 авт/час. Так, в Москве по основным радиальным и кольцевым магистралям проходят 5000-7000 авт./ч. По данным опросов, автотранспортные шумы ощущают 2 млн жителей столицы, железнодорожные шумы в черте города - 500 тыс. человек. Повышенную шумовую нагрузку испытывает примерно треть территории Москвы;

2. Скорость транспортного потока. При увеличении скорости транспортных средств происходит возрастание шума двигателей, шума от качения колес по дороге и преодоления сопротивления воздуха;

3. Состав транспортного потока. Грузовой транспорт создает большее шумовое воздействие по сравнению с пассажирским;

4. Тип двигателя. Сравнение двигателей соизмеримой мощности позволяет провести их ранжирование по возрастанию уровня шума: электродвигатель, карбюраторный двигатель, дизель, паровой, газотурбинный двигатель;

5. Тип и качество дорожного покрытия. Наименьший шум создает асфальтобетонное покрытие, затем по возрастающей: брусчатое, каменное и гравийное. Неисправное дорожное покрытие любого типа, имеющее выбоины, раскрытые швы и нестыковки поверхностей, создает повышенный шум;



6. Планировочные решения территорий. Извилистость улиц, наличие светофоров, транспортных развязок влияют на характер работы двигателей, а следовательно, и на создаваемый шум. Высота и плотность застройки определяют дальность распространения шума от центральных улиц. Так, ширина зон акустического дискомфорта вдоль центральных улиц в дневные часы может достигать 700-1000 м в зависимости от типа прилегающей застройки;

7. Наличие зеленых насаждений. Вдоль больших улиц с обеих сторон предусматривают санитарно-защитные зоны, в которых высаживают деревья. Лесопосадки препятствуют распространению шума на близлежащие территории.

По природе происхождения шумы делятся на воздушные и структурные. Средой распространения воздушного шума является воздух. Средой распространения структурного шума является твердое тело. Применительно к автомобилям это выглядит так. Работающий двигатель через элементы крепления передает вибрацию на кузов, панели которого в зависимости от степени вибрации издадут звук - структурный шум.

Воздушный шум от первичных источников проникает в салон автомобиля через неплотности кузова (дверные проемы, технологические отверстия переднего пола), а также остекление автомобиля. Чем толще стекло и панели кузова, тем выше их звукоизоляционные свойства. Воздушный шум от первичных источников тем ниже, чем оптимальнее конструкция самих источников: двигателя, трансмиссии, системы выхлопа, шин (высота и рисунок протектора). Структурный шум проникает в автомобиль через элементы подвески к кузову силового агрегата, трансмиссии, системы выхлопа, ходовой части. Вибрация, передаваемая через элементы подвески, заставляет колебаться все без исключения панели кузова, которые в свою очередь излучают структурный шум.

Кроме того, звук, излучаемый элементами системы выхлопа (трубами, резонатором, глушителем), приводит к дополнительному возбуждению пола автомобиля, что вносит ощутимый вклад в общий уровень внутреннего шума. В общий уровень шума в салоне автомобиля немалую долю вносит отраженный звук. Отраженный звук - звук, получающийся при отражении звуковых потоков, издаваемых первичными источниками, от дорожного покрытия [1, с. 110-116].

Неблагоприятные условия окружающей среды водителей напрямую влияют на возникновение дорожно-транспортных происшествий. Шумы уровня 70-90 дБА при длительном воздействии приводят к заболеванию нервной системы, а более 100 дБА - к снижению слуха, вплоть до глухоты.

Многое зависит от возраста, темперамента, состояния здоровья, окружающих условий.

В условиях городского шума происходит постоянное напряжение слухового анализатора: где бы ни находился человек, везде его преследуют

различные шумы, начиная от обычного бытового шума во дворе собственного дома, заканчивая шумами в собственном автомобиле.

Воздействие шума обычно проявляется в нарушениях в нервно – психической сфере в виде невротического и астенического синдромов, сопровождающихся раздражительностью, общей слабостью, головной болью, головокружением, повышенной утомляемостью, расстройством сна, ослаблением памяти. Чрезмерная шумовая нагрузка резко снижает работоспособность, уменьшает эффективность отдыха, ведет к хроническому переутомлению, глухоте. Шум обладает способностью «накапливаться» в организме и вызывать различные заболевания и негативные отклонения в здоровье [2, с. 212-216], [3, с. 56-59].

Персонал транспортных предприятий, непосредственно занятый в перевозочном процессе и ремонте подвижного состава, работает в условиях повышенной интенсивности шума [5]. Значения шума, возникающего при движении транспортных средств, которому подвергаются водители и пассажиры, а также люди, оказавшиеся поблизости от движущегося транспорта, представлены в таблице 1. На ремонтных предприятиях транспорта многие производства характеризуются высокими уровнями шумового воздействия.

Таблица 1

Интенсивность шума от транспортных средств

Вид транспорта	Интенсивность шума, дБ
Легковой автомобиль	70-80
Грузовой автомобиль	80-90
Автобус	80-85
Поезд метрополитена	90-95
Железнодорожный состав (в 7 м от колеи)	95-100
Железнодорожный состав (у колес)	125-130
Реактивный самолет на взлете	130-160

Под влиянием сильного шума, особенно высокочастотного, в органе слуха происходят необратимые изменения. При высоких уровнях шума понижение слуховой чувствительности наступает уже через 1-2 года работы, при средних уровнях она обнаруживается гораздо позднее, через 5-10 лет.

Последовательность, с которой происходит утрата слуха, сейчас хорошо изучена. Сначала интенсивный шум вызывает временную потерю слуха. В нормальных условиях через день или два слух восстанавливается. Но если воздействие шума продолжается месяцами или, как это имеет место в промышленности, годами, восстановление не происходит, и временный сдвиг порога слышимости превращается в постоянный. Сначала повреждение нервов сказывается на восприятии высокочастотного диапазона звуковых колебаний (4000 Гц или выше), постепенно распространяясь на более низкие частоты. Высокие звуки “ф” и “с” становятся неслышными. Нервные клетки внутреннего уха оказываются настолько поврежденными, что атрофируются.

За последнее время средний уровень шума, производимый транспортом, увеличился на 12-14 дБ. Вот почему проблема борьбы с шумом в городе приобретает все большую остроту.

Правилами дорожного движения запрещается управлять транспортным средством в состоянии утомления, если это состояние может повлиять на безопасность движения [6, п. 2.7]. Чтобы водитель мог в любых условиях обеспечить безопасность движения, он должен соблюдать режим труда и отдыха.

Уровни шума внутри транспортных средств колеблются в больших пределах, что зависит в большей степени от технического состояния транспортного средства, марки, года выпуска, скорости автомобиля.

ГОСТ Р 51616-2000 «Автомобильные транспортные средства. Шум внутренний. Допустимые уровни и методы испытаний» устанавливает допустимый уровень внутреннего шума автомобиля в зависимости от категории - от 65 до 70 дБА [4, с. 35-37]. Но следует учитывать, что воздействие звука проявляется не только в диапазоне слышимых частот.

Эксперимент проводился на автомобиле Mazda 6, при температуре охлаждающей жидкости 92-95°С. Экспериментальные исследования заключались в определении уровня звука внутри автомобиля при его движении по поверхности с различными типами покрытия, такими как асфальтобетон и асфальтобетон с шероховато-поверхностной обработкой (ШПО), при разной скорости движения, с использованием двух видов шин – зимних шипованных и летних.

Данные об уровне шума при различных условиях движения фиксировали при помощи шумомера ДТ-85С, предназначенного для контроля уровня шума в целях защиты, профилактики заболеваемости и любых видов экологического контроля. Прибор может использоваться для измерения уровня шума на производстве, транспорте, в образовательных учреждениях, офисах, жилых помещениях и т.п. Принцип работы шумомера состоит в том, что микрофон преобразует колебания звука в электрическое напряжение, которое поступает на специальный усилитель и после усиления выпрямляется и измеряется индикатором по градуированной шкале в децибелах.

В результате экспериментальных исследований были определены следующие значения уровни шума (таблица 2).

Таблица 2

Результаты экспериментальных исследований

Скорость движения, км/ч	Тип шин	Уровень шума, дБА	
		Асфальтобетон	Асфальтобетон с ШПО
60	Зимняя (шипованная)	87	92
	Летняя	81	88
90	Зимняя (шипованная)	93	99
	Летняя	85	90
110	Зимняя (шипованная)	95	102
	Летняя	87	92

Обработка экспериментальных позволила построить графические зависимости влияния скорости движения автомобиля с зимними шинами на изменение уровня шума при движении с асфальтобетонным покрытием и асфальтобетонным покрытием, но с шероховато-поверхностной обработкой (рисунок 1), также была построена зависимость и при движении автомобиля на летних шинах (рисунок 2).

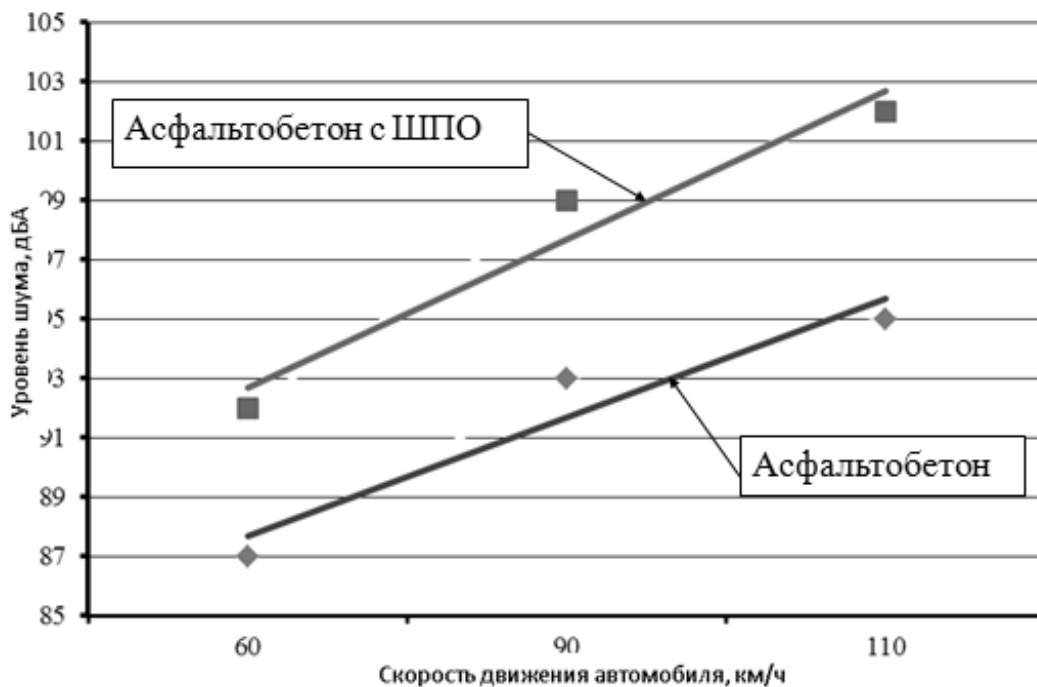


Рис. 1. Влияние скорости движения автомобиля на уровень шума (зимние шины)

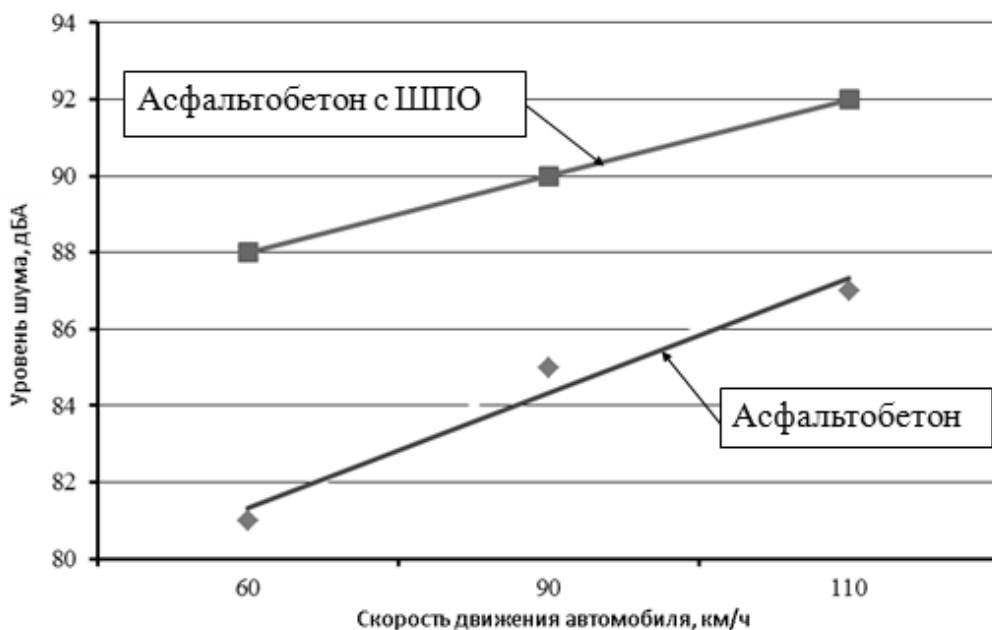


Рис. 2. Влияние скорости движения автомобиля на уровень шума (летние шины)

Повышенный уровень шума при невозможности принятия мер по защите органов слуха приводит к функциональному перенапряжению организма, повышенной утомляемости, раздражительности, невнимательности, что сказывается на поведении водителя на дороге.

Шум отвлекает внимание водителя и тем самым отрицательно сказывается в тех случаях, когда необходимо следить за потоком информации или случайными изменениями.

На снижение шума автомобильного транспорта может быть направлено ограничение числа тяжелых грузовых автомобилей в транспортном потоке. Эти меры могут быть в форме запретов на въезд грузовых автомобилей в определенный район или на въезд в город всех автомобилей выше определенной грузоподъемности, а также ограничений въезда в определенные моменты времени, обычно в ночные часы, субботные и воскресные дни.

#### Список литературы

1. Луканин В.Н. и др. Снижение шума автомобилей. – М.: Транспорт, 2001. – 183 с.
2. Ремизов А.Н. Медицинская и биологическая физика. – М.: Высшая школа, 2000. – 263 с.
3. Фоменко А.Я. Снижение автотранспортного шума в городах. – М.: Издательский центр «Академия», 2011. – 128 с.
4. ГОСТ Р 51616-2000. «Автомобильные транспортные средства. Шум внутренний. Допустимые уровни и методы испытаний».
5. [Электронный ресурс]: <http://ekologyprom.ru/uchebnik-po-promyshlennoj-ekologii>
6. Правила дорожного движения [Электронный ресурс]: URL: <http://pddmaster.ru> (дата обращения 13.10.2015).

## ПОЛУЧЕНИЕ ВОДОУГЛЕРОДНОГО ТОПЛИВА НА ОСНОВЕ ТВЕРДОГО ОСТАТКА ПИРОЛИЗА АВТОШИН

А.С. Кононова

*Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева*

**Аннотация.** Приведен обзор существующих методов и способов получения композиционного жидкого вида топлива. Коротко описаны преимущества и недостатки методов. Так, при получении ВУТ эффективность и качество топлива зависят от реагентов-пластификаторов и последовательности действий при его получении; дороговизна и сложность процесса не оправдывает результатов, полученных практически. Описано получение аналога ВУТ – водоуглеродной суспензии, которую получают пиролизом автошин – эколого - экономически выгодным способом переработки использованных автомобильных покрышек. Приведена таблица сравнения свойств ВУТ и водоуглеродных суспензий.

**Ключевые слова:** жидкое топливо, уголь, водоугольное топливо, водоуглеродные суспензии.

# THE RESULTING AQUEOUS CARBON FUEL BASED ON SOLID REST OF PYROLYSIS AUTOTYRES

A.S. Kononova

*Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbacheva*

**Annotation.** A review of existing methods and techniques for obtaining a composite liquid fuel. Briefly describe the advantages and disadvantages of the methods. So, when receiving VUT efficiency and quality of the fuel depend on the reagents plasticizers, and the sequence of actions when it is received, the high cost and complexity of the process does not justify the results obtained in practice. Describes the preparation of an analogue of HLA - vodouglerodnoy suspension, which is produced by pyrolysis of tires - ecological - economical way of processing used tires. A table comparing the properties of the VUT and vodouglerodnyh suspensions.

**Keywords:** fuel oil, coal, hydrocarbon fuel, vodouglerodnye suspension

Развитие химической промышленности в технически развитых странах требует потребления жидкого и газообразного углеводородного сырья в количестве, сравнимом с потреблением в энергетике [1]. Со временем добыча нефти будет только дорожать, а новые нефтеносные провинции будут открываться во все более и более труднодоступных и дорогих в освоении регионах планеты [2]. Поэтому все более и более остро встает проблема разработки альтернативных видов жидкого топлива. На данный момент существует множество разработок, связанных с получением аналогов жидкого топлива из нефти, но ни одна из этих разработок не запущена в массовое производство по причине того, что получаемое топливо должно отвечать жестким требованиям современного рынка: стабильность основных технологических характеристик, задаваемых потребителем, рентабельность производства и минимально возможное негативное экологическое воздействие на окружающую среду при его получении и использовании [3].

В литературе описан ряд способов способы получения жидкого топлива.

Угли открытой добычи могут рассматриваться как перспективное сырье для переработки в жидкое топливо [1]. Эффективная переработка углей может осуществляться в широком диапазоне температур. В первом температурном интервале – в области низких температур (10-40° С), т.е. без теплового воздействия, из углей путем преимущественно механического воздействия могут быть получены водоугольные (или спиртоводоугольные) суспензии, пригодные для транспортировки по трубопроводам на большие расстояния; угольный порошок для химической и нефтехимической промышленности, а также угольные адсорбенты широкого спектра действия.

Водоугольные суспензии характеризуются следующими основными параметрами и технологическими признаками: гранулометрическим составом, в том числе максимальной крупностью угольных частиц в суспензии; массовой долей твердой фазы; зольностью угля и суспензии; реологическими характеристиками; наличием или отсутствием реагентов-пластификаторов; способностью сохранять свои свойства длительное время при хранении и транспортировании.

Для приготовления водоугольного топлива (ВУТ) обычно применяют высококачественные энергетические угли с низким содержанием серы и золы. С освоением технологий ВУТ стали появляться технические предложения по применению другого, менее качественного, сырья [4].

Известен способ получения водоугольного топлива на основе ископаемых углей, который может быть использован для сжигания в котлах, печах и других установках объектов теплоэнергетики. Способ характеризуется тем, что предварительно измельченный исходный продукт подвергают в две и более стадии мокрому измельчению в роторном гидродинамическом кавитационном аппарате. Каждую стадию мокрого измельчения ведут в замкнутом цикле с классификацией водоугольной суспензии. Крупную фракцию из устройства возвращают в аппарат для измельчения. Мелкую фракцию подают в сгуститель. Осадок, полученный в сгустителе, делят на два потока, один из которых направляют в перемешивающее устройство для получения готового топлива [5].

Еще один известный способ получения ВУТ предусматривает следующее: уголь после предварительного дробления подвергают сухому измельчению в роторно-вихревой мельнице. В процессе измельчения одновременно производится сепарация угля от минеральных компонентов и гидрофобизация частиц угля. Далее проводится смешивание частиц угля с водой с образованием коллоидной гидросмеси. В результате получается водоугольное топливо с улучшенными физико-механическими, структурно-реологическими, теплофизическими и экологическими свойствами для его длительного хранения, транспортирования и сжигания в различных энергетических установках, включая дизельные и газотурбинные [6].

С экологической позиции перспективным способом получения ВУТ является способ получения из угольных шламов. Водоугольную перемешивают, затем добавляют мазут и вновь перемешивают. При этом образуются углемазутные гранулы (УМГ). Полученные углемазутные гранулы отделяются на сите с ячейками от воды и пустой породы. Затем гранулы поступают в шаровую мельницу, куда подают воду и реагент-стабилизатор. В качестве реагента-стабилизатора используют гумат натрия. Полученная суспензия из мельницы поступает на сито-классификатор с ячейками. Водоугольное топливо содержит углемазутные гранулы гумат натрия и остальное – вода [7].

Но производство ВУТ связано с многочисленными недостатками, такими как: сложность процесса, многостадийность и использование дорогостоящих реагентов (пластификаторов), возможность применения способа только в регионах, где развита угольная промышленность, и снижение экономической эффективности в случае транспортировки полученного топлива на дальние расстояния.

Экологические проблемы, возникающие при использовании угольного топлива, требуют разработки и внедрения новых эффективных с экономической точки зрения угольных технологий, которые обеспечат существенный экологический эффект с максимально высокой полнотой

использования добытого топлива. Кроме того, вокруг многих угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий в гидроотвалах и отстойниках скапливается большое количество добываемого угля, представленного в виде тонкодисперсных угольных шламов [3].

В наших исследованиях предлагается получение композитного жидкого топлива из твердого углеродного остатка пиролиза отработанных автошин, которые являются отходом, распространенным повсеместно.

Цель научно-исследовательской работы - разработка технологии получения композиционного жидкого вида топлива из твердого остатка пиролиза автошин.

Пиролиз - наиболее экологичный способ утилизации изношенных шин. Наибольший интерес из продуктов пиролиза, пригодных к дальнейшему использованию, вызывает технический углерод. Однако большинство из существующих методов пиролиза не дает высококачественного технического углерода. Пиролизная сажа характеризуется высокой зольностью, низким усиливающим действием и загрязнена серой.

Новизной данного проекта является разработка новых альтернативных способов подготовки низкокачественного углеродного остатка пиролиза автошин, позволяющих получать низкозольное высококачественное котельное топливо.

Для повышения качества углеродного сырья при приготовлении водоугольной суспензии используют процесс масляной агломерации (грануляции), который основан на различной смачиваемости жидкими углеводородами угольных и породных частиц в воде и способности аполярных жидкостей образовывать в суспензии углемасяные комплексы за счёт гидрофобной агрегации. При этом в результате турбулизации пульпы происходит селективное образование углемасяных агрегатов, которые уплотняются и структурно преобразуются в прочные гранулы сферической формы [8, 9].

Аналогом разрабатываемого водоуглеродного топлива является водоугольное топливо трубопровода Белово-Новосибирск.

Разрабатываемые высококонцентрированные водоуглеродные суспензии (композитное жидкое топливо на основе углеродсодержащего остатка пиролиза автошин) будут иметь следующие характеристики (табл. 1):

Таблица 1

Сравнение водоуглеродного топлива на основе углеродсодержащего остатка пиролиза автошин с аналогом

Название топлива	Концентрация твердой фазы, % масс.	Влагосодержание, % масс.	Теплотворная способность, кДж/кг	Вязкость, Па с, при 100 с-1	Зольность, % масс.
Водоугольное топливо	62,0	38,0	31850	0,8	5,0
Водоуглеродное топливо	58,0	42,0	30000	0,8-1	10,0



## Список литературы

1. Кукушкина, И.И. Топливо-энергетическое производство и состояние окружающей среды: учеб. пособие / И.И. Кукушкина, Г.Л. Евменова; ГОУ ВПО «Кемеровский государственный университет». - Томск: Издательство Томского государственного педагогического университета, 2009. - С. 71.
2. Заменители нефти: актуальность и перспективы [ЭР] /http: // news-mining.ru/analitika/zameniteli\_nefti\_aktualnost\_i\_perspektivy/.
3. Зайденварг В.Е., Трубецкой К.Н., Мурко В.И., Нехороший И.Х. Производство и использование водоугольного топлива. – М.: Издательство Академии горных наук, 2001. - 176 с.
4. Комплексная переработка углей и повышение эффективности их использования. Каталог-справочник / Под общей редакцией В.М. Щадова / Сост. Г.С. Головин, А.С. Малолетнев. – М.: НТК «Трек», 2007. - С. 27-38.
5. Пат. РФ № 2439131 Россия. Способ получения водоугольного топлива / Скворцов Л.Б., Грачева Р.С., Якубсон Г.С. и др. // Заявл. 13.07.2010, опубл. 10.01.2012.
6. Пат. РФ № 2167189 Россия. Способ получения водоугольного топлива / Сост. Артемьев В.К., Данченков Н.И., Титов А.И. // Заявл. 11.04.2000, опубл. 20.05.2001.
7. Пат. РФ № 2277120 Россия. Способ получения водоугольного топлива / Сост. Потапов В.П., Солодов Г.А., Заостровский А.Н., Папин А.В. и др. // Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Томский государственный политехнический университет». Заявл. 03.05.2005, опубл. 27.05.2006.
8. Клейн М.С., Байченко А.А., Почевалова Е.В. Масляная грануляция угольных шламов Кузбасса // Вестн. КузГТУ. 1999. № 6. С. 59-62.
9. Папин А.В., Макаревич Е.А., Неведров А.В., Игнатова А.Ю., Солодов В.С. Утилизация углеродного остатка пиролиза изношенных автошин в виде высококонцентрированных водоугольных суспензий / Сборник трудов XV международной научно-практической конференции «Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности». – Кемерово. – 2013. – С. 188-190.

## **ПРОИЗВОДСТВО БРИКЕТИРОВАННОГО ТОПЛИВА ИЗ ОТХОДОВ ПИРОЛИЗА АВТОШИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЯЗУЮЩЕГО – ВТОРИЧНОГО ПОЛИМЕРА**

В.С. Попов

Научные руководители: А.В. Папин, А.Ю. Игнатова

*Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачёва*

**Аннотация.** В данной статье раскрываются эколого-экономические проблемы утилизации изношенных шин в России, а также подробно рассмотрен пиролиз отработанных шин. Предлагается производство композитного топлива на основе твердого остатка пиролиза автошин с применением вторичного полимера как связующего.

**Ключевые слова** Утилизация шин, переработка, пиролиз, углеродный остаток, композитное топливо, связующее.

# PRODUCTION BRIQUETTED WASTE FUEL PYROLYSIS AUTOTYRES USING LINKS SECONDARY POLYMERS

V.S. Popov

Supervisor: A.V. Panin, A.Y. Ignatov

*Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev*

**Annotation.** This article deals with the ecological and economic problems disposing iznods tires in Russia and discussed in detail the pyrolysis of waste tires. Offering-is the production of composite fuel based on solid pyrolysis of tires with a secondary polymer as a binder.

**Keywords** *Recycling of tires, recycling, pyrolysis, carbon residue, component-tors fuel binder.*

В настоящее время одним из самых главных факторов загрязняющих окружающую среду является рост количества отработанных шин. С каждым годом количество пневмоколесного транспорта на душу населения увеличивается, что приводит к появлению огромного количества отработанных шин.

В России утилизация шин также является серьезной эколого-экономической проблемой. Например, исходя из данных научно-исследовательского института шинной промышленности (НИИШП), в нашей стране ежегодно выходит из эксплуатации около 1 млн. тонн шин, а 1 тонна шин – это почти 600-650 кг резины, 130-150 кг текстиля, 130-200 кг металла. Важным является то, что амортизированная шина является ценным вторичным сырьём, содержащим 65-70% резины (каучук), 15-25% технического углерода, 10-15% высококачественного металла [1-2].

Изношенные шины представляют собой опасный вид отходов 4 класса опасности, которому требуется обязательная сертификация. Предприятиям предоставляется право сдавать шины на переработку специализированным заводам, имеющим лицензию на право обращения с опасными видами отходов, и они могут предоставить документы, подтверждающие факт сдачи шин. Эти документы имеют существенную важность и требуются предприятиям для сдачи соответствующих форм экологической отчетности [3].

Отработанные шины имеют огромное количество недостатков, нарушающих экологический баланс, в частности, шины крайне огнеопасны, и в случае возгорания температура горения шин близка температуре горения каменного угля. Также, при горении шин, в атмосферу выбрасываются вредные продукты сгорания, в том числе канцерогены [4-5].

Данные отходы очень специфичны, не поддаются гниению, саморазрушению, занимают земельные площади, загрязняя населенные пункты, водоёмы и лесонасаждения. На свалках служат средой для размножения грызунов и насекомых, при сжигании выделяют ядовитые газы. При всём этом отработанные шины являются ценным источником вторичного сырья и могут быть использованы для производства альтернативного топлива. Стандартная шина легкового автомобиля состоит на 85% из резины, на 15% – из стальной проволоки, на 0,5% – из текстильного волокна. Основной составляющей шины является резина, представляющая собой комплекс ценных компонентов,

извлечение и дальнейшее использование которых позволило бы существенно снизить потребление некоторых дефицитных природных ресурсов. Поэтому материал шин целесообразно утилизировать, а использованные покрышки являются экономически выгодным продуктом, имеющим высокий потенциал переработки.

В мире используется значительное количество различных технологий по переработке изношенных покрышек: восстановление, захоронение, использование цельных шин, сжигание в цементных печах для получения энергии, переработка в крошку (любым способом – криогенным, с помощью озона, механическим), пиролиз [6-8]. Методам утилизации шин посвящено множество научных трудов [8-19].

Наиболее перспективным из ныне известных методов является термическое разложение углеводородного сырья или так называемый пиролиз [8]. В реакторе сырьё подвергается разложению при температуре около 450°C, в процессе которого получают полупродукты: газ, жидкотопливная фракция, углеродосодержащий остаток и металлокорд. С помощью пиролиза можно перерабатывать целые шины.

Главным преимуществом пиролиза является его экологическая безопасность, вследствие протекания процесса в отсутствие амфотерного воздуха, в результате чего в пиролизных газах в малых концентрациях содержится диоксид серы, оксиды азота и оксид углерода. Газ частично возвращается в топку реактора для поддержания процесса. Оставшаяся часть газа сжигается на сече или поступает на котёл-утилизатор. Углеродный остаток после гашения и охлаждения подвергается магнитной сепарации (или просеивается через сито) с целью отделения проволоки металлокорда. Жидкое топливо и металлокорд отправляются на склад для дальнейшей отправки потребителю. Жидкие продукты, состоящие из смеси бензина, дизельного топлива и мазута, могут перерабатываться котельными без изменений технологического режима. Твердый остаток пиролиза практически не может найти себе применения из-за низкого качества, и поэтому его складывают на промышленной площадке предприятия. Жидкие и газообразные продукты пиролиза можно использовать не только как топливо, но и в качестве пленкообразующих растворителей, пластификаторов, смягчителей для регенерации резин. Пек пиролизной смолы является хорошим смягчителем. Тяжелая фракция пиролизата используется как добавка к битуму в дорожном строительстве. Из газообразной фракции пиролиза получают ароматические масла, которые можно применять в производстве резиновых смесей. Низкомолекулярные углеводороды можно использовать как сырьё для органического синтеза, а также как топливо.

На сегодняшний день по проблемам пиролиза автошин и исследованию продуктов пиролиза написано множество работ. В работе Яцун А.В. и др. проводится пиролиз автошин в электромагнитном поле микроволнового диапазона на опытной СВЧ установке [20]. Ими доказана ценность продуктов пиролиза. Макитра Р.Г., Мидяна Г.Г. и др. предлагают совместный пиролиз

изношенных шин в смеси с углём для получения жидкого топлива [21]. В работе Папина А.В. и др. проводится получение композиционного топлива на основе технического углерода пиролиза автошин. Доказано, что твердый остаток пиролиза после специализированных методов очистки можно использовать для получения брикетированного топлива [22]. Наибольший интерес из продуктов пиролиза представляет твердый остаток – низкокачественный углерод. Пиролизная сажа характеризуется высокой зольностью, низким усиливающим действием и загрязнена серой. Технический углерод имеет неприемлемые для прямого использования характеристики, представленные в табл. 1, из-за присадок в резине, может быть весьма токсичен, напрямую он не применяется ни как сорбент, ни как топливо, но в работе доказано, что его можно применить для производства композитного топлива.

Таблица 1

Результаты анализа углеродосодержащего остатка пиролиза автошин

Объект испытания	Определяемый компонент	Содержание компонента, % мас.
Низкокачественный технический углерод	Содержание влаги	2,2
	Зольность: $A^a$	11,4
	$A^d$	11,7
	Выход летучих веществ $V^a$	7,4
	$V^{daf}$	8,6

В наших исследованиях было произведено окусковывание твердого углеродного остатка. Твердый остаток пиролиза автошин с исходной зольностью 11,4-11,66%, сернистостью 1,2% мас. измельчали до крупности частиц 0,1 мм, обогащали на установке методом масляной агломерации для получения глубоко обогащённых концентратов. Далее смешивали твёрдый остаток пиролиза автошин с питьевой водой и жидкой фракцией пиролиза автошин. Зольность полученных концентратов не превышала – 0,2% мас., что говорит о возможности использования полученных концентратов в энергетике, характеристики концентрата представлены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристики концентрата

$A^d$ , % мас. (зольность)	4,0-5,5
$W^a$ , % мас. (влажность)	8,5-10,5
$V^{daf}$ , % мас. (выход летучих веществ)	6,0-8,0
$Q_s^r$ , ккал/кг (теплота сгорания)	7600-7800
$S_t^d$ , % мас. (сернистость)	0,2

Полученный концентрат пригоден для получения формованного топлива, пригодного для применения в тяжёлой промышленности и энергетике. В

качестве связующего при брикетировании предлагается использовать вторполимеры.

Проанализировав данные исследования, мы пришли к выводу, что наиболее подходящим связующим для композитного топлива из твердого остатка пиролиза автошин является полиэтилен. С экологической и экономической точки зрения он не имеет равных на рынке полимеров, проявляет хорошие связующие качества и открывают огромные перспективы для производства композитного топлива из отходов. Как связующее наиболее пригоден полиэтилен низкой плотности [23]. В табл. 3 приведены свойства полиэтилена низкой плотности.

Таблица 3

Свойства полиэтилена низкой плотности

Степень полимеризации	От 800 до 80000
T <sub>пл</sub>	108-115°С
T <sub>ст</sub>	Ниже -60°С
Плотность	0,92-0,94 г/см <sup>3</sup>
Кристалличность	Низкая
Растворимость	Растворим в ароматических углеводородах только при температурах выше 80°С

В настоящее время использование полиэтилена в качестве связующего – очень перспективное направление. Например, в работе М.В. Базуновой и др. предлагается получение полифункциональных композитов на основе ультрадисперстных углеродных материалов с полиэтиленом в качестве связующего [24].

Исходя из всего вышесказанного можно сделать вывод, что использование твердого остатка пиролиза автошин с связующим вторичным полимером имеет зримые перспективы, а также решает серьёзные экологические и экономические проблемы. С каждым годом значимость данного метода только увеличивается.

#### Список литературы

1. Сапронов, В.А. Экономическое и экологическое значение проблемы переработки изношенных шин // Сборник «Переработка изношенных шин». – М.: ЦНИИТЭНЕФТЕХИМ, 1982.
2. Тарасова Т.Ф. Экологическое значение и решение проблемы переработки изношенных автошин / Т.Ф. Тарасова, Д.И. Чапалда // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2006. – № 2-2. – С. 130-135.
3. Демина, Л.А. Вулкан на обочине // Энергия: экономика, техника, экология, 2002. – № 2. – С. 42-45.
4. С.А. Nau, G.Neal, V.A. Stenbridge, Arch. Indust. Health, 1998, 17, 21.
5. Rapra Review Report. №99, 1997, Rapra Technology Ltd.

6. Максимов, М.А. Создание системы сбора, переработки и утилизации изношенных шин и других резинотехнических изделий в Российской Федерации // Автотранспортное предприятие, 2003. – №12. – С. 39-41.
7. Лисовский В.А. Переработка утилизированных шин – энергоэффективное мероприятие // Проблемы сбора, переработка и утилизация отходов: Сб. научн.статей. – Одесса: ОЦНТЭИ, 2001. – С. 150-154.
8. Вольфсон С.И. Методы утилизации шин и резинотехнических изделий / С.И. Вольфсон, Е.А. Фафурина, А.В. Фафурин // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – № 1. – С. 74-79.
9. Пат. № 2111859 Россия МПК: 6В 29В 17/00 А, 6С 08J 11/10 В Способ переработки резинотехнических изделий / Е.В. Даньщиков, И.Н. Лучник, А.В. Рязанов, С.В. Чуйко // Троицкая технологическая лаборатория. Заяв. 16.03.1995, опубл. 27.05.1998.
10. Валуева, А.В. Перспективы переработки автомобильных покрышек в кузбассе // Сборник научных трудов SWORLD. – 2012. – Т.7. - №1. – С. 19-20.
11. Хизов, А.В. Сбор, переработка и утилизация автомобильных шин / А.В. Хизов, К.Е. Панкин // Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции «Развитие технических наук в современном мире» г. Воронеж, 08 декабря 2014 г. Изд-во: Инновационный центр развития образования и науки. – Воронеж, 2014. – С. 57-79.
12. Боровский, Б.В. Изношенные автопокрышки: методы переработки // твердые бытовые отходы. – 2007. - № 4. – С. 4-5.
13. Демьянова, В.С. Перспективы рециклинга автомобильных шин / В.С. Демьянова, А.Д. Гусев // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2011. - № 4. – С. 74-79.
14. Мальцев В.М. Актуальные проблемы переработки изношенных шин / В.М. Мальцев, Н.М. Сухорутченко, В.С. Четвертикова // Химическая промышленность Украины. – 1995. - № 3. – С. 57-58.
15. Волюнкина, Е.П. Использование отработанных автомобильных покрышек / Е.П. Волюнкина, С.А. Кудашкина, А.В. Незамаев // Экология и промышленность России. – 2004. – № 1. – С. 40-44.
16. Страхов, В.М. Кокс из отходов резины // Кокс и химия. – 2005. – № 2. – С. 35-43.
17. Кузнецова, Л.П. Утилизация отработанных автомобильных шин / Л.П. Кузнецова, И.Н. Павловский // Молодой учёный. – 2009. - № 7. – С. 57-60.
18. Андрейков, Е.И. Утилизация отработанных автомобильных шин с использованием термического сольволиза / Е.И. Андрейков, И.С. Амосова, Н.А. Гриневич // Химия в интересах устойчивого развития. -2005. – Т. 13. - № 6. – С. 725-729.
19. Утилизация резиновой крошки из изношенных шин в контексте решения проблемы повышения качества дорожных покрытий / В.П. Беляев, А.С. Клинков, П.С. Беляев, Д.Л. Полушкин // Глобальный научный потенциал. - 2012. - № 19. – С.169-171.

20. Яцун А.В. Жидкие продукты пиролиза отработанных автомобильных шин под воздействием СВЧ / А.В. Яцун, Н.П. Коновалов, И.С. Ефименко // Химия твердого топлива. – 2013. – №4. – С. 60.

21. Процессы переработки углей в смеси с резиносодержащими отходами в жидкое топливо / Р.Г. Макитра, Г.Г. Мидяна, Д.В. Брык, М.В. Семенюк // Химия твердого топлива. – 2013. – №3. – С. 43.

22. Получение композиционного топлива на основе технического углерода пиролиза автошин / А.В. Папин, А.Ю. Игнатова, Е.А. Макаревич, А.В. Неведров // Химические технологии. – 2015. – С. 107-113.

23. Алентьев А.Ю. Связующие для полимерных композиционных материалов / А.Ю. Алентьев, М.Ю. Яблокова // Учебное пособие для студентов по специальности «Композиционные наноматериалы». – 2010. – С. 48-51.

24. Полифункциональные композиты на основе ультрадисперстных углеродных материалов с полиэтиленом в качестве связующего / М.В. Базунова, Р.М. Ахметханов, Д.Р. Валиев // Химия. – 2012. – С. 57-59.

**СЕКЦИЯ 7. ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ, ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ**  
**Председатель секции: кандидат физико-математических наук, заведующая кафедрой «ВМФиХ» Обухова Галина Александровна**

### **ЦИЛИНДРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КООРДИНАТ В ЗАДАЧАХ ПО ФИЗИКЕ**

**В.В. Борисовский**

*ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет»,  
Рубцовский индустриальный институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский  
государственный технический университет им. И.И. Ползунова»*

**Аннотация.** В работе рассматривается цилиндрическая система координат и её применение в расчетах по физике. Дано определение момента инерции цилиндра с плотностью, зависящей от расстояния до оси.

**Ключевые слова:** *цилиндрическая система координат, элементы поверхности и объема, симметрия, момент инерции.*

### **CYLINDRICAL COORDINATE SYSTEM THE PROBLEMS IN PHYSICS**

**V.V. Borisovskij**

*Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of Polzunov  
Altai State Technical University*

**Annotation.** The paper deals with a cylindrical coordinate system its application in the calculations in physics. The author gives the definition of the moment of inertia of the cylinder at a density depending on the distance from the axis.

**Keywords:** *a cylindrical coordinate system, the elements of surface area and volume, symmetry, the moment of inertia.*

Цилиндрическая система координат  $(r, \varphi, z)$  строится следующим образом. В любой плоскости, параллельной плоскости  $xOy$ , образуется обычная полярная система координат  $(r, \varphi)$ , а ось  $z$  совпадает с осью  $z'$  декартовой системы координат (рис. 1).

Ось  $z$  в цилиндрической системе координат является особой линией.

$$z' = z, \quad r = \sqrt{x^2 + y^2}, \quad \varphi = \operatorname{arctg} \frac{y}{x};$$

$$z = z', \quad x = r \cdot \cos \varphi, \quad y = r \cdot \sin \varphi.$$

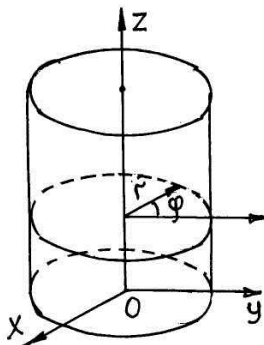


Рис. 1.

При решении задач по физике часто необходимо знать, как определяются элементы поверхности и объема. Формулы для этих элементов в цилиндрической системе координат имеют вид:

$$\text{элемент площади } dS = r \cdot d\varphi \cdot dz,$$

$$\text{элемент объема } dV = r \cdot dr \cdot d\varphi \cdot dz.$$

Применение цилиндрической системы координат при решении задач по физике рассмотрим на примере определения момента инерции цилиндра, у которого плотность зависит от расстояния до оси цилиндра  $\rho = f(r)$ .

Вычислим момент инерции цилиндра длиной  $l$  для случая, когда

$$f(r) = \rho_0 \left( \frac{r}{R} \right)^n,$$

где  $R$  – внешний радиус цилиндра,  
 $n$  – целое положительное число,  
 $r$  – переменный радиус.

Плоскость имеет цилиндрическую симметрию, и, естественно, необходимо использовать цилиндрическую систему координат, и момент инерции определяем по формуле:

$$J = \iiint_V r^2 \rho dV.$$

В цилиндрической системе координат  $dV = r \cdot dr \cdot d\varphi \cdot dz$ , тогда

$$J = \iiint_V r^2 \cdot f(r) r \cdot dr \cdot d\varphi \cdot dz.$$



Подынтегральное выражение не зависит от  $\varphi$  и  $z$ . Вследствие цилиндрической симметрии легко расставить пределы интегрирования

$$J = \int_0^R r^3 \cdot f(r) \cdot dr \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^l dz = 2\pi l \int_0^R r^3 \cdot f(r) dr,$$

т.е. тройной интеграл сводится к одинарному.

Подставим  $f(r) = \rho_0 \left(\frac{r}{R}\right)^n$  и получим уравнение для вычисления момента инерции цилиндра

$$J = 2\pi l \int_0^R \rho_0 \frac{r^{n+3}}{R^n} dr = 2\pi l \frac{\rho_0}{R^n} \cdot \frac{R^{n+4}}{n+4} = 2\pi l \rho_0 \frac{R^4}{n+4}.$$

Определим массу цилиндра:

$$\begin{aligned} J &= \iiint_V \rho dV = \iiint_V f(r) r \cdot dr \cdot d\varphi \cdot dz = \int_0^R r \cdot f(r) dr \cdot \int_0^{2\pi} d\varphi \cdot \int_0^l dz = \\ &= 2\pi l \frac{\rho_0 R^2}{n+2}. \end{aligned}$$

Подставив значение массы в уравнение для определения момента инерции, получим

$$J = \frac{n+2}{n+4} mR^2.$$

Для цилиндра с постоянной плотностью по всему объему  $\rho = \rho_0$ , т.е. когда  $n=0$ , будем иметь хорошо известный результат:

$$J = \frac{mR^2}{2}.$$

#### Литература

1. Борисовский В.В. Теория и практика криволинейных систем координат. Сборник трудов РИИ, выпуск 16. Рубцовск: РИИ, 2007. С. 5-12.

### О ЕДИНСТВЕННОСТИ РЕШЕНИЯ ОДНОЙ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ ЛИНЕЙНОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ ВТОРОГО ПОРЯДКА ГИПЕРБОЛИЧЕСКОГО ТИПА

Е.С. Глушкова

*Рубцовский индустриальный институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (РИИ АлтГТУ)*

**Аннотация.** В работе рассматривается задача определения коэффициента при линейном члене в дифференциальном уравнении второго порядка гиперболического типа по некоторой информации о решении задачи Коши для этого уравнения. Приведена теорема единственности решения обратной задачи в некотором классе функций.

**Ключевые слова:** обратная задача, единственность.

# UNIQUENESS OF THE SOLUTION OF AN INVERSE PROBLEM FOR LINEAR SECOND ORDER DIFFERENTIAL EQUATIONS HYPERBOLIC TYPE

Glushkova Elena

*Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of  
Altai state technical University*

**Annotation.** The problem of determining the coefficient of the linear term in the differential equation of second order hyperbolic for some information about the solution of the Cauchy problem for this equation. Shows the uniqueness theorem for the inverse problem in a certain class of functions.

**Key words:** inverse problem, uniqueness.

Рассмотрим линейное дифференциальное уравнение второго порядка гиперболического типа

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x_3^2} + g(x)u + f(x, t), \quad (1)$$
$$x = (x_1, x_2, x_3), \quad t \geq 0,$$

с начальными условиями

$$u(x, 0) = \varphi(x), \quad \frac{\partial u}{\partial t}(x, 0) = \psi(x). \quad (2)$$

Прямая задача (1), (2) рассмотрена в [1].

Предположим, что решение задачи Коши (1), (2) известно при  $t = t_0 > 0$ :

$$u(x, t_0) = v(x), \quad x \in R^3. \quad (3)$$

Обратная задача заключается в определении функции  $g(x)$ , входящей в уравнение (1) по условиям (2), (3).

Применим некоторые обозначения. Пусть  $V_a$  - шар в  $R^3$  радиуса  $a > t_0$  с центром в точке  $O(0, 0, 0)$ . Пусть область  $S_a \in R^4$ ,  $S_a = \{(x, t) : |x| \leq a, 0 \leq t \leq a - |x|\}$ .

Пусть функции  $\varphi(x)$ ,  $\psi(x)$  и  $f(x, t)$  удовлетворяют следующим условиям:

$$\varphi(x) \in C^3(V_a), \quad \psi(x) \in C^2(V_a), \quad f(x, t) \in C^2(S_a). \quad (4)$$

Обозначим через  $M$  множество финитных функций  $g(x)$ , носители которых содержатся в некотором прямоугольном параллелепипеде  $G$  с основаниями параллельными плоскости  $x_3 = 0$ . Предположим, что  $G \subset V_a$  при достаточно большом  $a$ ,  $a \geq t_0$ . Пусть, кроме того,  $g(x) \in C^2(G)$ ,

$g(x) = \sum_{i=1}^k q_i(x_1, x_2) \cdot p_i(x_3)$ , причем каждой  $g(x) \in M$  соответствуют свои функции  $q_i(x_1, x_2)$ ,  $p_i(x_3)$  и число  $k$ .

Основным результатом является следующая теорема.

**Т е о р е м а .** Пусть функция  $v(x) \in C^1(V_a)$ , функции  $\varphi(x)$ ,  $\psi(x)$ ,  $f(x, t)$  удовлетворяют условиям (4) и, кроме того,  $|\varphi(x)| \geq \alpha > 0$  для  $x \in V_a$ . Тогда если решение обратной задачи (1) – (3) существует в классе функций  $M$ , то оно единственно.

#### Литература

1. Курант Р. Уравнения с частными производными. М.: Мир, 1964. С. - 830.

### О СХОДИМОСТИ ОДНОГО ЧИСЛОВОГО РЯДА

Е.С. Глушкова

*Рубцовский индустриальный институт (филиал)*

*ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет*

*им. И.И. Ползунова» (РИИ АлтГТУ)*

**Аннотация.** В работе исследуется сходимость числового ряда, членами которого являются площади фигур, расположенных под арками параметрически заданной функции. Получена оценка сверху для суммы этого ряда.

**Ключевые слова:** функция, площадь, ряд.

### THE CONVERGENCE OF A SERIES OF NUMBERS

Glushkova Elena

*Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of*

*Altai state technical University*

**Annotation.** We study the convergence of a series, whose members are square pieces located under the arches of parametrically given function. Upper estimates for the sum of this series.

**Keywords:**

Рассмотрим функцию  $f(x)$ , заданную параметрически

$$\begin{cases} x(t) = a(t - \sin t), \\ y(t) = R(t) \cdot (1 - \cos t), \\ a > 0, \quad t \in [0, \infty). \end{cases}$$

Будем считать, что функция  $R(t) > 0$  определена и непрерывна для  $t \geq 0$  и, кроме того,  $R(t) \leq \frac{1}{t^2}$  для  $t > 0$ .

Очевидно, что  $y(2\pi k) = 0$ , а значения  $x_k = x(2\pi k) = 2a\pi k$ ,  $k = 0, 1, 2, \dots$ , образуют монотонно возрастающую числовую последовательность. Тогда схематически график функции  $f(x)$  имеет вид, изображенный на рисунке 1.

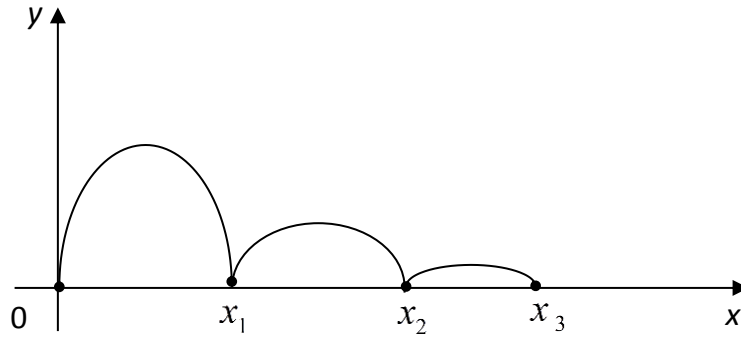


Рис. 1.

Обозначим через  $S_k$  площадь фигуры, расположенной под графиком функции  $f(x)$  на отрезке  $[x_{k-1}, x_k]$ ,  $k = 1, 2, \dots$ .

Рассмотрим знакоположительный числовой ряд

$$S_1 + S_2 + \dots + S_k + \dots = \sum_{k=1}^{\infty} S_k. \quad (1)$$

Покажем, что при сделанных выше предположениях ряд (1) сходится, и получим оценку сверху для его суммы  $S$ .

Сначала вычислим площадь  $S_1$  и оценим её сверху.

Пусть  $M > 0$  - наибольшее значение функции  $R(t)$  для  $t \in [0, 2\pi]$ . Согласно [1] имеем

$$\begin{aligned} S_1 &= \int_0^{2\pi} |y(t) \cdot x'(t)| dt = a \int_0^{2\pi} R(t) \cdot (1 - \cos t)^2 dt \leq \\ &\leq Ma \int_0^{2\pi} (1 - 2\cos t + \cos^2 t) dt = Ma \int_0^{2\pi} \left(1 - 2\cos t + \frac{1 + \cos 2t}{2}\right) dt = \\ &= Ma \int_0^{2\pi} \left(\frac{3}{2} - 2\cos t + \frac{\cos 2t}{2}\right) dt = 3\pi Ma. \end{aligned}$$

Для площадей  $S_k$ ,  $k = 1, 2, \dots$ , используя неравенство  $1 - \cos t \leq 2$ , получаем

$$\begin{aligned} S_{k+1} &= a \int_{2\pi k}^{2\pi(k+1)} R(t) \cdot (1 - \cos t)^2 dt \leq 4a \int_{2\pi k}^{2\pi(k+1)} \frac{dt}{t^2} = \\ &= -\frac{4a}{t} \Big|_{2\pi k}^{2\pi(k+1)} = \frac{2a}{\pi k} - \frac{2a}{\pi(k+1)} = \frac{2a}{\pi} \left(\frac{1}{k} - \frac{1}{k+1}\right). \end{aligned}$$

Рассмотрим ряд

$$v_1 + v_2 + \dots, v_k + \dots = \frac{2a}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{1}{k} - \frac{1}{k+1}\right). \quad (2)$$

Пусть  $V_n = v_1 + v_2 + \dots + v_n$  - частичная сумма ряда (2). Имеем

$$V_n = \frac{2a}{\pi} \left( \left(1 - \frac{1}{2}\right) + \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{3}\right) + \dots + \left(\frac{1}{n} - \frac{1}{n+1}\right) \right) = \frac{2a}{\pi} \left(1 - \frac{1}{n+1}\right).$$

После чего найдем сумму  $V$  ряда (2):

$$V = \lim_{n \rightarrow \infty} V_n = \frac{2a}{\pi} \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{1}{n+1}\right) = \frac{2a}{\pi}.$$

Так как сходящийся ряд (2) является мажорантным для ряда (1), то по признаку сравнения ряд (1) сходится и его сумма  $S \leq \left(3\pi M + \frac{2}{\pi}\right) \cdot a$ .

#### Литература

1. Курс высшей математики: [текст]: Учебник для студентов физико-математических факультетов. Т.1/ В.И. Смирнов. - СПб.: БХВ, 2008. - 624 с.

### **ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭТИЛДИТИОУГОЛЬНОЙ КИСЛОТЫ В ТИТРИМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДАХ АНАЛИЗА**

В.К. Чеботарев, А.Е. Пасека, Р.А. Терентьев, Н.Н. Аветисян, А.О. Питайкина,  
А.Е. Пяткова, Т.С. Малюкова

*ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет»,  
Рубцовский индустриальный институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский  
государственный технический университет им. И.И. Ползунова»*

**Аннотация.** В работе с использованием пороговых значений степеней протекания реакций ( $СП_{\text{пор}}$  и  $СП'_{\text{пор}}$ ) рассчитана возможность титрования индивидуальных сульфидобразующих ионов и их двух- и многокомпонентных смесей этилдитиокарбонатом калия. Спрогнозирована избирательность этих определений.

**Ключевые слова:** *этилдитиокарбонат калия, сульфидобразующие ионы, многокомпонентные смеси, степени протекания реакций, потенциометрическое титрование, индикаторные электроды.*

### **THE USING POSSIBILITIES OF ETHYLDITIOCARBONIC ACID IN THE TITRIMETRIC ANALYSIS METHODS**

V.K. Chebotarev, A.E. Paseka, R.A. Terentjev, N.N. Avetisyan, A.O. Pitaykina,  
A.E. Pyatkova, T.S. Malyukova

*Altai State University,  
Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of Polzunov  
Altai State Technical University*

**Annotation.** The article, using cut-degree reactions, calculated possibilities of individual sulfide ions titration and their two- and multi-component mixtures with potassium ethylditiocarbon. The selectivity of these definitions is predicted.

**Key words:** *potassium ethylditiocarbonate, sulfide forming ions, multicomponent mixtures, proceeding degrees of reactions, potentiometric titration, indicating electrodes.*

Алкильные производные дитиоугольной кислоты достаточно широко используются в титриметрических и других методах анализа. Наиболее полно изученным и используемым реагентом-титрантом этой группы является этилдитиокарбонат калия  $C_2H_5OCSSK$  (ЭДТКК). Недостатком этого реагента является разложение в сильноокислых растворах с рН ниже 1,0. То есть возможно титрование сульфидобразующих ионов этилдитиокарбонатом калия при рН от 1,0 до рН начала гидролиза определяемого иона. ЭДТКК по прогнозу и экспериментально реагирует с 15 ионами из 36 сульфидобразующих ионов. Для ЭДТКК известно 17 ионных производений, характеризующих прочность малорастворимых внутрикомплексных соединений (в.к.с.) [1, 2].

Используя методологический подход, основанный на степенях протекания индивидуальных реакций (СП) и реакций в двухкомпонентных смесях (СП'), рассчитанных по уравнениям Чеботарева и Краева, теоретически обосновали возможность титрования индивидуальных ионов, избирательность определения каждого из них, ряда последовательности протекания реакций и возможность титрования ионов в многокомпонентных смесях. Погрешность определения объемов титранта в точках эквивалентности лимитирована  $СП_{пор}=99,80\%$  и выше, при которых погрешность менее 1,0% и  $СП'_{пор}=99,40\%$  и выше, при которых погрешность менее 5,0%, при этом вблизи точек эквивалентности возникают достаточные по величине скачки на кривых титрования.

Для индивидуальных реакций  $M^{m+}(опр)+mA^-(титр)\rightleftharpoons MA_m\downarrow$  ( $A^-=C_2H_5OCSS^-$ ) СП рассчитывается по уравнению (1):

$$СП = 100 - S_{MA_m} \cdot (m \cdot C_{M^{m+}} + C_{A^-}) \cdot C_{M^{m+}}^{-1} \cdot C_{A^-}^{-1} \cdot 100\%,$$

$$СП = 100\% - \sqrt[m+1]{\frac{ИП_{MA_m}}{m^m} (C_{M^{m+}} + mC_{A^-})} C_{M^{m+}}^{-1} C_{A^-}^{-1} \times 100\% \quad (1)$$

где  $m$  – стехиометрический коэффициент реакции,  $S_{MA_m}$  – ионная растворимость образующихся в.к.с, рассчитываемая по формуле:  $\sqrt[m+1]{\frac{ИП_{MA_m}}{m^m}} = S_{MA_m}$ , ИП – ионные произведения образующихся в.к.с;  $C_{M^{m+}}$ ,  $C_{A^-}$  – исходные концентрации ионов, моль/л [2, 3].

Для реакций с двумя определяемыми ионами  $M_1^{m+}(опр)+M_2^{n+}(опр)+(m+n)A^-(титр)\rightleftharpoons M_1A_m\downarrow + M_2A_n\downarrow$  ( $A^-=C_2H_5OCSS^-$ ) СП' рассчитывается по уравнению (2):

$$СП' = 100 - ИП_{M_1A_m} \cdot ИП_{M_2A_n}^{\frac{m}{n}} \cdot C_{M_1^{m+}}^{-1} \cdot C_{M_2^{n+}}^{\frac{m}{n}} \cdot V_{(M_1^{m+}+M_2^{n+})}^{\frac{m-n}{n}} \cdot (V_{(M_1^{m+}+M_2^{n+})} + V_{A^-})^{\frac{n-m}{n}} \cdot 100\% \quad (2)$$

где  $\text{ИП}_{M_1A_m}$ ,  $\text{ИП}_{M_2A_n}$  – ионные произведения двух последовательно реагирующих ионов металлов;  $m$ ,  $n$  – стехиометрические коэффициенты реакции;  $V_{(M_1^{m+}+M_2^{n+})}$  – объем аликвоты;  $V_{A^-}$  – объем титранта, израсходованного к моменту достижения первой точки эквивалентности;  $C_{M_1^{m+}}$ ,  $C_{M_2^{n+}}$  – концентрации определяемых компонентов, моль/л [3].

Для прогноза индивидуальных титрований рассчитаны ионные растворимости в.к.с. по значениям ИП, известных из литературных источников [1, 2] и вычислены СП индивидуальных реакций по уравнению (1).

Таблица 1

Ионные произведения и степени протекания индивидуальных реакций различных катионов с этилдитиокарбонат ионами ( $C_M = 0,1000$  моль/л,  $C_{A^-} = 0,1000$  моль/л)

№ п/п	Опред. ион	рИП <sub>ЭДТКМ</sub>	$S_{MA_m}$ , моль/л	СП, %	№ п/п	Опред. ион	рИП <sub>ЭДТКМ</sub>	$S_{MA_m}$ , моль/л	СП, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Hg <sup>2+</sup>	19,01	$3,12 \times 10^{-10}$	100,0*	10	As(V)	28,37	$1,04 \times 10^{-4}$	99,97
2	Ag <sup>+</sup>	18,1	$8,91 \times 10^{-10}$	100,0	11	Au <sup>3+</sup>	17,25	$2,14 \times 10^{-5}$	99,91
3	Bi <sup>3+</sup>	30,44	$1,08 \times 10^{-8}$	100,0	12	In <sup>3+</sup>	16,97	$2,51 \times 10^{-5}$	99,90
4	Pd <sup>2+</sup>	20,02	$1,34 \times 10^{-7}$	100,0	13	Ni <sup>2+</sup>	11,82	$7,23 \times 10^{-5}$	99,78
5	Hg <sup>2+</sup>	19,09	$2,73 \times 10^{-7}$	100,0	14	Te (IV)	18,12	$7,84 \times 10^{-5}$	<b>99,61</b>
6	Sb <sup>3+</sup>	26,55	$1,01 \times 10^{-7}$	100,0	15	Mn <sup>2+</sup>	11,05	$1,31 \times 10^{-4}$	<b>99,61</b>
7	As <sup>3+</sup>	21,38	$1,98 \times 10^{-6}$	99,99	16	Tl <sup>+</sup>	6,87	$3,67 \times 10^{-4}$	<b>99,27</b>
8	Pb <sup>2+</sup>	13,56	$1,90 \times 10^{-5}$	99,94	17	Ga <sup>3+</sup>	10,45	$1,07 \times 10^{-3}$	<b>95,72</b>
9	Cd <sup>2+</sup>	12,5	$4,29 \times 10^{-5}$	99,87	*СП>99,995≈100%				

Как видно из табл. 1, возможно титрование первых двенадцати ионов, для которых СП реакций имеют значения больше СП<sub>пор</sub>, т.е. эти ионы будут определяться количественно и с погрешностями до 1%. Жирным шрифтом в таблице обозначены ионы, не титрующиеся по прогнозу, так как значения их степеней протекания реакций ниже предельного, составляющего 99,71%. Ионы Ni<sup>2+</sup> по прогнозу, возможно, титруются этилдитиокарбонатом калия, так как СП их реакции имеет значение, близкое к пороговому.

Для расчёта избирательности титрования индивидуальных ионов, двух и многокомпонентных смесей определён ряд последовательности протекания реакций сульфидобразующих ионов с этилдитиокарбонатом калия с учётом значений СП', выраженных в процентах: Hg<sub>2</sub>A<sub>2</sub>-87,70%, AgA-100,0%, BiA<sub>3</sub>-93,70%, PdA<sub>2</sub>-88,25%, HgA<sub>2</sub>-87,70%, SbA<sub>3</sub>-100,0%, AsA<sub>3</sub>-98,55%, PbA<sub>2</sub>-91,29%, CdA<sub>2</sub>-55,97%, AsA<sub>5</sub>-82,63%, AuA<sub>3</sub>--31,55%, NiA<sub>2</sub>-23,68%, InA<sub>3</sub>-99,90%.

Располагая ионы этого ряда по горизонтали и вертикали и рассчитывая степени протекания реакций первого иона из вертикального ряда на момент начала реакции реагента со вторым ионом из горизонтального ряда в двухкомпонентных смесях по уравнению (2), получили информативную табл. 2.

По данным табл. 2 можно определить избирательность возможного титрования для каждого индивидуально титруемого иона.

Так, определению ионов Hg<sub>2</sub><sup>2+</sup> мешают ионы Ag<sup>+</sup>, так как СП' = 87,70%, что меньше порогового значения для двухкомпонентных смесей, составляющего 99,40%. Поэтому при титровании этой смеси ЭДТКК будет наблюдаться один скачок концентраций. С остальными ионами из ряда последовательности ионы Hg<sub>2</sub><sup>2+</sup> будут титроваться с двумя скачками концентраций, так как значения их СП' выше порогового. Определению ионов



$\text{Bi}^{3+}$  мешают ионы  $\text{Pd}^{2+}$  (СП' = 93,70%). Титрование ионов  $\text{Pd}^{2+}$  в двухкомпонентных смесях мешают ионы  $\text{Bi}^{3+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Sb}^{3+}$ . Определению ионов  $\text{Pb}^{2+}$  мешают ионы  $\text{As}^{3+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{As(V)}$ ,  $\text{Au}^{3+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{In}^{3+}$  из ряда последовательности. Вручную и по программе можно рассчитать возможность дифференцированного титрования всех смесей, состоящих из различных сочетаний ионов. Расчёты показали, что возможно титрование 57 двухкомпонентных смесей из приведённого ряда последовательности, трехкомпонентных смесей – 104, четырехкомпонентных смесей – 78, пятикомпонентных смесей – 20. Шестикомпонентную смесь в растворе теоретически оттитровать нельзя. Реальная возможность титрования ЭДТКК многокомпонентных смесей ограничивается 4-5 ионами, так как возрастает ионная сила раствора, увеличиваются коэффициенты разбавления, возникают конкурирующие реакции по определяемым ионам и ионам титранта и не совпадают условия протекания реакций по оптимальным значениям pH.

Таблица 2

Степени протекания реакций первого иона на момент начала реакции ЭДТКК со вторым ионом в двухкомпонентных смесях  
( $C_{M_1^{m+}} = C_{M_2^{n+}} = 0,1000$ ,  $C_{A^-} = 0,1000$  моль/л)

	$\text{Hg}_2^{2+}$	$\text{Ag}^+$	$\text{Bi}^{3+}$	$\text{Pd}^{2+}$	$\text{Hg}^{2+}$	$\text{Sb}^{3+}$	$\text{As}^{3+}$	$\text{Pb}^{2+}$	$\text{Cd}^{2+}$	$\text{As(V)}$	$\text{Au}^{3+}$	$\text{Ni}^{2+}$	$\text{In}^{3+}$
$\text{Hg}_2^{2+}$	-	<b>87,70</b>	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
$\text{Ag}^+$	<b>87,70</b>	-	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
$\text{Bi}^{3+}$	100,0	100,0	-	<b>93,70</b>	99,75	99,99	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
$\text{Pd}^{2+}$	100,0	100,0	<b>93,70</b>	-	<b>88,25</b>	<b>98,52</b>	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
$\text{Hg}^{2+}$	100,0	100,0	99,89	<b>88,25</b>	-	<b>87,70</b>	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
$\text{Sb}^{3+}$	100,0	100,0	100,0	<b>98,52</b>	<b>87,70</b>	-	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
$\text{As}^{3+}$	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	-	<b>98,55</b>	99,96	99,98	99,99	100,0	100,0
$\text{Pb}^{2+}$	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	<b>98,55</b>	-	<b>91,29</b>	<b>95,36</b>	<b>97,31</b>	<b>98,18</b>	<b>98,25</b>
$\text{Cd}^{2+}$	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,96	<b>91,29</b>	-	<b>55,97</b>	<b>71,08</b>	<b>79,11</b>	<b>80,70</b>
$\text{As(V)}$	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,98	<b>95,36</b>	<b>55,97</b>	-	<b>82,63</b>	<b>96,60</b>	<b>94,48</b>
$\text{Au}^{3+}$	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	<b>97,31</b>	<b>71,08</b>	<b>82,63</b>	-	<b>31,55</b>	<b>47,52</b>
$\text{Ni}^{2+}$	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	<b>98,18</b>	<b>79,11</b>	<b>96,60</b>	<b>31,55</b>	-	<b>23,68</b>
$\text{In}^{3+}$	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	<b>98,25</b>	<b>80,70</b>	<b>94,48</b>	<b>47,52</b>	<b>23,68</b>	-

Проведены потенциометрические титрования ионов  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  и  $\text{Pb}^{2+}$  на электродах из серебра, ртути и платины этилдитиокарбонатом калия и определены оптимальные условия титрования этих ионов [4].

Использованные электроды являются наилучшими, так как ионы серебра, ртути образуют наиболее прочные внутрикомплексные соединения с этилдитиокарбонатом калия, а чем прочнее эти соединения, тем больше величина скачка потенциала. Определяемые ионы и соответствующие им электроды образуют различные электрохимические системы. Так, при титровании ионов  $\text{Ag}^+$  ( $\text{Hg(I, II)}$ ) реагентом (А) с индикаторным электродом из  $\text{Ag}$  ( $\text{Hg}$ ) до начала титрования и до точки эквивалентности (т.э.) возникает электрохимическая система электрода I рода –  $\text{Ag}^+/\text{Ag}$ . В процессе титрования образуются наиболее прочные соединения с ионами материала электрода ( $\text{AgA}$ ,

HgA<sub>2</sub>). На электродах протекают реакции:  $Ag^+ (Hg_2^{2+}, Hg^{2+}) + e \leftrightarrow Ag (Hg)$ . Потенциалы электродов для ионов, одноимённых с материалом электрода, рассчитывают по уравнению:  $E_{Ag^+/Ag} = E_{Ag^+/Ag}^\circ + \lg a_{Ag^+}$  и т.д. [4, 6]. За т.э. в растворе имеется избыток ионов титранта (A<sup>-</sup>) и возникают электрохимические системы электродов II рода: A<sup>-</sup>, AgA, Ag<sup>+</sup>/Ag; (A<sup>-</sup>, HgA<sub>2</sub>, Hg<sup>2+</sup>/Hg) [5]. Протекают следующие электрохимические реакции:  $AgA + e \leftrightarrow Ag \downarrow + A^-$  и т.д. Потенциалы рассчитываются по уравнениям:  $E_{A^-, AgA, Ag^+/Ag} = E_{Ag^+/Ag}^\circ + 0,059 \cdot \lg ИП_{AgA} - 0,059 \cdot \lg a_{A^-}$  и т.д. [3, 5]. Скачок потенциала происходит вследствие смены электродных электрохимических реакций. Величина скачка потенциала зависит от ИП в.к.с. реагента с ионами материала электрода. Чем меньше ИП в.к.с. реагента с ионами материала электрода, тем больше величина скачка потенциала. При смене систем электродов происходят наибольшие скачки потенциалов.

При титровании «чужих» ионов, например Cu<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, и Pb<sup>2+</sup>, относительно материала электрода до начала титрования электрод из Ag действует как электрод I рода – Ag<sup>+</sup>/Ag. С момента начала титрования и до т.э., как электрод III рода – Me<sup>n+</sup>, MeA<sub>n</sub>, AgA, Ag<sup>+</sup>/Ag, на нём протекает электродная реакция, обеспечивающая переход менее растворимого (более прочного) в.к.с. в более растворимое (менее прочное):  $Me^{n+} + ne + nAgA \leftrightarrow MeA_n + nAg$ , потенциал рассчитывают по уравнению:  $E_{Me^{n+}, MeA_n, AgA, Ag^+/Ag} = E_{Ag^+/Ag}^\circ + 0,059 \lg ИП_{AgA} - \frac{0,059}{n} \lg ИП_{MeA_n} + \frac{0,059}{n} \lg a_{Me^{n+}}$  [3, 5]. За т.э. возникает электрохимическая система A<sup>-</sup>, AgA, Ag<sup>+</sup>/Ag – электрод II рода. Скачок потенциала также происходит вследствие смены систем электродов. Величина скачка потенциала зависит от ИП малорастворимого в.к.с. реагента с определяемыми ионами – MeA<sub>n</sub>. Чем меньше ИП<sub>MeA<sub>n</sub></sub>, тем больше величина скачка потенциала. Смена электродных электрохимических реакций при титровании «чужих» ионов происходит только при определении наиболее реакционноспособных ионов ряда последовательности.

Приведённые в табл. 1, 2 степени протекания реакций рассчитаны по программе [6], разработанной авторами.

### Список литературы

1. Чеботарев, В.К. Ионные произведения металлов с производными дитиоугольной кислоты / В.К. Чеботарев, И.В. Воронкина, Л.Г. Нисковских // Известия вузов. Химия и химическая технология. 1995. Т. 38. №3. С. 45-49.
2. Chebotarev, V.K. Prognostication criterion of potential and practical use of analytical reagents in titrimetria of individual substances / V.K. Chebotarev, Y.K. Kraev, I.V. Voroncina and other // Talanta. Elsevier, 1998. Vol. 47 P. 1043-1051.
3. Чеботарев, В.К. Прогнозирование в титриметрических методах анализа с использованием реакций комплексообразования и осаждения: Монография / В.К. Чеботарев. – Барнаул: Изд-во Алтайского университета, 1999. – 114 с.

4. Чеботарев, В.К. Исследование в области применения некоторых производных ксантогеновой и дитиокарбаминовой кислот для потенциометрического определения никеля, меди, цинка и свинца: дис. ... канд. хим. наук : 02.00.02 : защищена 20.02.1971 / утв. 21.05.1971 / Чеботарёв Виктор Константинович. - Ростов-на-Дону, 1970. – 148 с.

5. Чеботарев, В.К. Прогнозирование выбора индикаторных электродов в потенциометрических титрованиях / В.К. Чеботарев, А.Е. Пасека, Р.А. Терентьев // Известия АлтГУ. 2010. № 3/2. С. 178-183.

6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2012618928. Программа расчета критериев возможности титриметрического анализа «Gnose» / Терентьев Р.А., Чеботарев В.К. (РФ). – № 2012616720; заявл. 07.08.12; зарег. 03.10.12. – 2 с.

### **ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ 8-МЕРКАПТОХИНОЛИНА В ТИТРИМЕТРИИ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СМЕСЕЙ**

В.К. Чеботарев, А.Е. Пасека, Р.А. Терентьев, Н.Н. Аветисян, А.Е. Пяткова,  
А.О. Питайкина, Т.С. Малюкова

*ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет»,  
Рубцовский индустриальный институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский  
государственный технический университет им. И.И. Ползунова»*

**Аннотация.** В работе с использованием пороговых значений степеней протекания реакций ( $СП_{\text{пор}}$  и  $СП'_{\text{пор}}$ ) оценена возможность титрования сульфидобразующих ионов в двух- и многокомпонентных смесях 8-меркаптохинолином. Спрогнозирована избирательность определений.

**Ключевые слова:** 8-меркаптохинолин, титриметрия, многокомпонентные смеси, сульфидобразующие ионы, степени протекания реакций.

### **EVALUATION OF POSSIBILITY USE OF 8 - MERCAPTOQUINOLIN IN TITRIMETRY OF MULTICOMPONENT MIXTURES**

V.K. Chebotarev, A.E. Paseka, R.A. Terentjev, N.N. Avetisyan, A.E. Pyatkova,  
A.O. Pitaykina, T.S. Malyukova

*Altai State University,  
Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of Polzunov  
Altai State Technical University*

**Annotation.** The article, using cut-degree reactions, calculated possibilities of individual sulfide ions titration and their two- and multi-component mixtures with 8-mercaptoquinoline. The selectivity of these definitions is predicted.

**Key words:** 8 - mercaptoquinoline, titrimetry, multicomponent mixtures, sulfide forming ions, proceeding degrees of reactions

8-меркаптохинолин (тиооксин) – это гетероциклическое ароматическое соединение, в положении 8 содержащее тиольную группу, взаимодействующую с сульфидобразующими ионами с образованием малорастворимых внутрикомплексных соединений (в.к.с.). Благодаря чему широко используется в титриметрических методах анализа, визуальной и электрохимической

титриметрии. Бабко и Целинский [1, 2] предложили титриметрический метод определения золота с внутренним индикатором – дитизоном в водно-этанольной среде в интервале рН 0,5 – 3,0. В конечной точке титрования красно-коричневая окраска переходит в изумрудно-зелёную.

Более широкое распространение 8-меркаптохинолин получил в потенциометрическом и амперометрическом титрованиях, так как этими методами возможно определение двух- и многокомпонентных смесей, а не только индивидуальных веществ. Потенциометрическим титрованием определяли ртуть [3], железо в силикатах и сплавах [4], галлия в магниевых и алюминиевых сплавах [5], ванадия и железа в феррованадии [6], никеля [7]. Как видно, потенциометрическим титрованием определяли только пять ионов из 37 возможных.

Более широко 8-меркаптохинолин используется в качестве амперометрического титранта. Основой использования 8-меркаптохинолина в амперометрии является его способность окисляться только до дисульфидов. При этом наблюдается площадка предельного диффузионного тока при потенциалах от +0,8 до +1,2 В. Усатенко и Супрунович с сотрудниками разработали амперометрические методы определения железа, меди, палладия, иридия, цинка, индия, кадмия, молибдена, церия, ванадия, ртути, хрома в продуктах металлургического производства [8-17]. Разработаны методы дифференцированного определения ванадия в сталях и сплавах при титрованиях смесей:  $\text{Au}^{3+} - \text{V}(\text{V})$ ,  $\text{Hg}^{2+} - \text{V}(\text{V})$ ,  $\text{Ag}^+ - \text{V}(\text{V})$ ,  $\text{Pd}^{2+} - \text{V}(\text{V})$ ,  $\text{Au}^{3+} - \text{V}(\text{V}) - \text{Fe}^{3+} - \text{Cu}^{2+}$  [18]. Павлова и Сонгина с сотрудниками разработали определение ванадия в феррованадии и других сплавах [19], молибдена в ферромolibденах, сталях, алюминиевых, титановых и никелевых сплавах [20], показали возможность определения галлия, индия и таллия без их разделения [21]. Таким образом, амперометрическим методом определяются 20 сульфидобразующих ионов из 37 возможных. Однако в литературе [22] известно только 14 ионных произведений, по которым можно оценить возможность использования 8-меркаптохинолина в титровании сульфидобразующих ионов.

Для оценки возможности использования 8-меркаптохинолина в титровании двух- и многокомпонентных смесей сульфидобразующих ионов необходимо рассчитать степени протекания реакций первого компонента на момент начала реакции реагента со вторым компонентом в двухкомпонентных смесях (СП'). Но титрование двухкомпонентной смеси, возможно, только в том случае, если каждый из её компонентов титруется индивидуально. То есть значение степени протекания индивидуальной реакции (СП) каждого компонента должно быть больше порогового значения СП, составляющего 99,80%. Значения степеней протекания индивидуальных реакций различных катионов с тиооксинат ионами приведены в [23], и так как все эти значения больше  $\text{СП}_{\text{пор}}$ , то все 14 катионов можно использовать для расчета СП'.

Для реакций с двумя определяемыми ионами  $M_1^{m+}(\text{опр}) + M_2^{n+}(\text{опр}) + (m+n)A^-(\text{титр}) \rightleftharpoons M_1A_m \downarrow + M_2A_n \downarrow$  ( $A^- = C_9H_6NS^-$ ) СП' рассчитывается по уравнению (1):

$$СП' = 100 - ИП_{M_1A_m} ИП_{M_2A_n}^{\frac{m}{n}} C_{M_1^{m+}}^{-1} C_{M_2^{n+}}^{\frac{m}{n}} V_{(M_1^{m+}+M_2^{n+})}^{\frac{m-n}{n}} (V_{A^-})^{\frac{n-m}{n}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $ИП_{M_1A_m}$ ,  $ИП_{M_2A_n}$  – ионные произведения двух последовательно реагирующих ионов металлов; m, n – стехиометрические коэффициенты реакции;  $V_{(M_1^{m+}+M_2^{n+})}$  – объем аликвоты;  $V_{A^-}$  – объем титранта, израсходованного к моменту достижения первой точки эквивалентности;  $c_{M_1^{m+}}$ ,  $c_{M_2^{n+}}$  – концентрации определяемых компонентов, моль/л [24].

Погрешность определения объемов титранта в точках эквивалентности при титровании смесей лимитирована значением  $СП'_{\text{пор}} = 99,40\%$ , при этом погрешность определений менее 5,0 %. При этом вблизи точек эквивалентности возникают достаточные по величине скачки на кривых титрования.

Для оценки возможности титрования ионов в двух- и многокомпонентных смесях рассчитан ряд последовательности протекания реакций сульфидобразующих ионов с 8-меркаптохинолином с учётом значений СП', выраженных в процентах:

AuA-97,27 %, AuA<sub>3</sub>-100,0%, HgA<sub>2</sub>-95,93 %, PdA<sub>2</sub>-100,0 %, AgA-99,20 %, CuA<sub>2</sub>-100,0%, MoOA<sub>2</sub>-95,53 %, FeA<sub>2</sub>-82,96 %, InA<sub>3</sub>-97,18 %, FeA<sub>3</sub>-91,62 %, CdA<sub>2</sub>-14,89 %, GaCH<sub>3</sub>COOA<sub>2</sub>-30,82 %, ZnA<sub>2</sub>-98,83 %, VOA<sub>2</sub>-100,0 %.

Располагая ионы этого ряда по горизонтали и вертикали и рассчитывая степени протекания реакций первого иона из вертикального ряда на момент начала реакции реагента со вторым ионом из горизонтального ряда в двухкомпонентных смесях по уравнению (1), получили информативную табл. 1.

Таблица 1

Степени протекания реакций первого иона на момент начала реакции тиооксина со вторым ионом в двухкомпонентных смесях ( $C_{M_1^{m+}} = C_{M_2^{n+}} = 0,1000$ ,  $C_{A^-} = 0,1000$  моль/л)

	Au <sup>+</sup>	Au <sup>3+</sup>	Hg <sup>2+</sup>	Pd <sup>2+</sup>	Ag <sup>+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	MoO <sub>2</sub> <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	In <sup>3+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	Cd <sup>2+</sup>	Ga <sup>3+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	VO <sup>2+</sup>
Au <sup>+</sup>	-	<b>97,27</b>	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Au <sup>3+</sup>	<b>97,27</b>	-	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Hg <sup>2+</sup>	100,0	100,0	-	<b>95,93</b>	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Pd <sup>2+</sup>	100,0	100,0	<b>95,93</b>	-	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Ag <sup>+</sup>	100,0	100,0	100,0	100,0	-	<b>99,20</b>	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Cu <sup>2+</sup>	100,0	100,0	100,0	100,0	<b>99,20</b>	-	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
MoO <sub>2</sub> <sup>2+</sup>	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	-	<b>95,53</b>	<b>99,21</b>	99,93	99,98	99,99	99,99	100,0
Fe <sup>2+</sup>	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	<b>95,53</b>	-	<b>82,96</b>	<b>98,36</b>	99,66	99,71	99,80	100,0
In <sup>3+</sup>	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	<b>99,21</b>	<b>82,96</b>	-	<b>97,18</b>	99,77	99,82	99,90	100,0
Fe <sup>3+</sup>	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,93	<b>98,36</b>	<b>97,18</b>	-	<b>91,62</b>	<b>93,47</b>	<b>96,28</b>	100,0
Cd <sup>2+</sup>	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,98	99,66	99,77	<b>91,62</b>	-	<b>14,89</b>	<b>41,12</b>	99,31
Ga <sup>3+</sup>	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,99	99,71	99,82	<b>93,47</b>	<b>14,89</b>	-	<b>30,82</b>	<b>99,19</b>
Zn <sup>2+</sup>	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,99	99,80	99,90	<b>96,28</b>	<b>41,12</b>	<b>30,82</b>	-	<b>98,83</b>
VO <sup>2+</sup>	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,31	<b>99,19</b>	<b>98,83</b>	-

По данным табл. 1 можно определить избирательность возможного титрования для каждого индивидуально титруемого иона. Так, определению ионов  $\text{Au}^+$  мешают ионы  $\text{Au}^{3+}$ , так как  $\text{СП}' = 97,27\%$ , что меньше порогового значения для двухкомпонентных смесей, составляющего  $99,40\%$ . Поэтому при титровании этой смеси тиооксином будет наблюдаться один скачок концентраций. С остальными ионами из ряда последовательности ионы  $\text{Au}^+$  будут титроваться с двумя скачками концентраций, так как значения их  $\text{СП}'$  выше порогового. Определению ионов  $\text{Hg}^{2+}$  мешают ионы  $\text{Pd}^{2+}$  ( $\text{СП}' = 95,93\%$ ). Титрованию ионов  $\text{Ag}^+$  в смеси мешают ионы  $\text{Cu}^{2+}$  ( $\text{СП}' = 99,20\%$ ). Определению ионов  $\text{MoO}_2^{2+}$  мешают ионы  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{In}^{3+}$  ( $\text{СП}' = 95,53$  и  $99,21\%$ ). Титрованию ионов  $\text{Fe}^{2+}$  в смесях мешают ионы  $\text{MoO}_2^{2+}$ ,  $\text{In}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  ( $\text{СП}' = 95,53$ ;  $82,96$  и  $98,36\%$  соответственно). Определению ионов  $\text{In}^{3+}$  мешают ионы  $\text{MoO}_2^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$  ( $\text{СП}' = 99,21$ ;  $82,96$  и  $97,18\%$ ). Титрованию ионов  $\text{Fe}^{3+}$  в смесях мешают ионы  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{In}^{3+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Ga}^{3+}$  и  $\text{Zn}^{2+}$  ( $\text{СП}' = 98,36$ ;  $97,18$ ;  $91,62$ ;  $93,47$  и  $96,28\%$  соответственно). Определению ионов  $\text{Cd}^{2+}$  мешают ионы  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Ga}^{3+}$  и  $\text{Zn}^{2+}$  ( $\text{СП}' = 91,62$ ;  $14,89$  и  $41,12\%$  соответственно). Титрованию ионов  $\text{Ga}^{3+}$  в смесях мешают ионы  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  и  $\text{VO}^{2+}$  ( $\text{СП}' = 93,47$ ;  $14,89$ ;  $30,82$  и  $99,19\%$  соответственно). Определению ионов  $\text{Zn}^{2+}$  в смесях мешают ионы  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Ga}^{3+}$ ,  $\text{VO}^{2+}$  ( $\text{СП}' = 96,28$ ;  $41,12$ ;  $30,82$ ;  $98,83\%$  соответственно). Титрованию ионов  $\text{VO}^{2+}$  в смесях мешают ионы  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Ga}^{3+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  ( $\text{СП}' = 99,31$ ;  $99,19$ ;  $98,83\%$ ). Вручную и по программе можно рассчитать возможность дифференцированного титрования всех смесей, состоящих из различных сочетаний ионов. Расчеты показали, что возможно титрование 74 смесей из двух различных ионов, из трех ионов – 189, из четырех ионов – 238, из пяти ионов – 124, из шести ионов – 8 смесей. Семикомпонентную смесь в растворе теоретически оттитровать нельзя.

Спрогнозирован выбор индикаторных электродов, которые можно использовать в потенциометрических титрованиях сульфидобразующих ионов 8-меркаптохинолином. Это электроды из Hg, Ag, Au, Pd [23]. Эти индикаторные электроды для определения одноимённых ионов до точки эквивалентности (т.э.) действуют как электроды I рода –  $\text{Hg}^{2+}/\text{Hg}$  ( $\text{Ag}^+/\text{Ag}$  и т.д.), при определении чужих ионов относительно материала электрода до точки эквивалентности возникает электрохимическая система  $\text{Me}^{n+}$ ,  $\text{MeR}_n$ ,  $\text{HgR}_2/\text{Hg}$  – электрод III рода [24]. При определении и одноимённых, и чужих ионов за т.э. возникает электрохимическая система электрода II-го рода –  $\text{A}^-$ ,  $\text{HgA}_2$ ,  $\text{Hg}^{2+}/\text{Hg}$  ( $\text{A}^-$ ,  $\text{AgA}$ ,  $\text{Ag}^+/\text{Ag}$  и т.д.), т.е. происходит смена электродных реакций.

Для прогнозирования возможности титрования двух- и многокомпонентных смесей сульфидобразующих ионов, избирательности их титрований по уравнению 1 разработана программа [25]. В таблице 1 приведены степени протекания реакций, рассчитанные по этой программе.

### Список литературы

1. Бабко, А.К. Титриметрическое определение золота (III) 8-меркаптохинолином с цветными индикаторами / А.К. Бабко, Ю.Х. Целинский // Укр. хим. журнал. 1969. Т. 35. №9. С. 984-985.
2. Целинский, Ю.Х. Применение 8-меркаптохинолина для титриметрического определения золота с внутренним индикатором/Ю.Х. Целинский//Методы контроля неорганических и органических продуктов: тезисы докладов / Куйбышев, 1967. – С. 52.
3. Супрунович, В.И. Электрохимические методы исследования процесса комплексообразования ртути (II) с 8-меркаптохинолином/В.И. Супрунович, Ж.Б. Куликовская, Ю.И. Усатенко//Химическая технология. 1971. №17. С. 191-197.
4. Захарова, Э.П. Применение 8-меркаптохинолина для потенциометрического определения железа/Э.П. Захарова, П.Н. Коваленко, З.И. Иванова // Заводская лаборатория. 1969. Т. 35. №4. С. 407-409.
5. Супрунович, В.И. Амперометрическое и потенциометрическое титрование галлия 8-меркаптохинолином (тиооксином) / В.И. Супрунович, Ю.И. Усатенко, В.В. Величко // Укр. хим. журнал. 1973. Т. 39. №5. С. 488-493.
6. Докунина, Л.Г. Потенциометрический метод анализа феррованадия / Л.Г. Докунина, К.Н. Багдасаров, В.А. Кимстач // Физико-химические методы контроля производства: кн. / Ростов-на-Дону.: изд-во Ростовского университета, 1975. С. 16-17.
7. Чеботарев, В.К. Исследование в области применения некоторых производных ксантогеновой и дитиокарбаминовой кислот для потенциометрического определения никеля, меди, цинка и свинца: дис. ... канд. хим. наук: 02.00.02: защищена 20.02.1971/утв. 21.05.1971/Чеботарёв Виктор Константинович. - Ростов-на-Дону, 1970. – 148 с.
8. Усатенко, Ю.И. Дифференциальное амперометрическое титрование Pd, Fe и Cu 8-меркаптохинолином / Ю.И. Усатенко, В.И. Супрунович // Известия АН ЛатвССР. Серия химическая. 1963. №1. С. 25-28.
9. Усатенко, Ю.И. Амперометрическое титрование палладия и иридия 8-меркаптохинолином / Ю.И. Усатенко, В.И. Супрунович // Известия АН ЛатвССР. Серия химическая. 1963. №1. С. 18-24.
10. Усатенко, Ю.И. Комплексы Au с 8-меркаптохинолином. Состав и амперометрическое титрование / Ю.И. Усатенко, В.И. Супрунович // Известия АН ЛатвССР. Серия химическая. 1963. №2. С. 181-186.
11. Усатенко, Ю.И. Амперометрическое определение железа, меди и цинка в алюминиевых сплавах титрованием 8-меркаптохинолином/Ю.И. Усатенко, В.И. Супрунович//Заводская лаборатория. 1964. Т. 30. № 6. С. 662-663.
12. Усатенко, Ю.И. Комплексы индия с 8-меркаптохинолином. Амперометрическое определение индия / Ю.И. Усатенко, В.И. Супрунович // Известия АН ЛатвССР. Серия химическая. 1963. №5. С. 557-566.

13. Усатенко, Ю.И. Амперометрическое определение кадмия 8-меркаптохинолином / Ю.И. Усатенко, В.И. Супрунович // Известия АН ЛатвССР. Серия химическая. 1963. №5. С. 549-556.
14. Супрунович, В.И. Амперометрическое титрование ванадия, меди и молибдена тиооксином / В.И. Супрунович, Ю.И. Усатенко, В.В. Величко // Заводская лаборатория. 1970. Т. 36. №6. С. 652-656.
15. Боговина, В.И. Дифференциальное амперометрическое определение церия и ванадия в чугунах, сталях и сплавах/В.И. Боговина, Ю.И. Усатенко, В.Ф. Мальцев // Заводская лаборатория. 1966. Т. 32. №4. С. 412-413.
16. Усатенко, Ю.И. Последовательное амперометрическое титрование ртути (II) и некоторых катионов группы сероводорода и сульфида аммония/Ю.И. Усатенко, В.И. Супрунович, Ж.Б. Куликовская // Журнал аналитической химии. 1970. Т. 25. №10. С. 1890-1893.
17. Величко, В.В. Определение хрома и ванадия в сталях и сплавах при помощи 8-меркаптохинолина/В.В. Величко, Ю.И. Усатенко, В.И. Супрунович // Повышение эффективности контроля химического состава материалов: кн./Москва: М., 1972. С. 123-130.
18. Усатенко, Ю.И. Амперометрическое титрование четырёх- и пятивалентного ванадия 8-меркаптохинолином/Ю.И. Усатенко, В.И. Супрунович, В.В. Величко, В.С. Аксенов // Химическая технология. 1971. №17. С. 183-190.
19. Павлова, И.М. Изучение взаимодействия ванадия с тиооксином (8-меркаптохинолином) методом амперометрического титрования / И.М. Павлова, О.А. Сонгина // Известия АН КазССР. Серия химическая. 1967. №2. С. 33-37.
20. Павлова, И.М. Амперометрическое титрование молибдена 8-меркаптохинолином (тиооксином) / И.М. Павлова, О.А. Сонгина // Химия и химическая технология. Сборник статей аспирантов и соискателей. 1965. №3-4. С. 218-224.
21. Захаров, В.А. Амперометрическое титрование таллия (III), индия и галлия тиооксином/В.А. Захаров, О.А. Сонгина, И.М. Бессарабова, Л.Н. Лебедева // Журнал аналитической химии. 1970. Т. 25. №5. С. 879-884.
22. Величко, В.В. О прочности тиооксинатов некоторых металлов/В.В. Величко, В.И. Супрунович, Ю.И. Усатенко // Журнал неорганической химии. 1974. Т. 19. №4. С. 1004-1008.
23. Малюкова, Т.С. Обоснование возможности использования 8-меркаптохинолина в титриметрии сульфидобразующих ионов / Т.С. Малюкова, В.К. Чеботарёв, А.Е. Пасека, Р.А. Терентьев, А.Е. Пяткова, А.О. Питайкина//Теоретическая и экспериментальная химия глазами молодежи – 2015: тез. докл. Междунар. науч. конф., посвящ. 70-летию Победы в Великой Отечеств. войне. Иркутск, 18–22 мая 2015 г.
24. Чеботарев, В.К. Прогнозирование в титриметрических методах анализа с использованием реакций комплексообразования и осаждения: Монография / В.К. Чеботарев. – Барнаул: изд-во Алтайского государственного университета, 1999. – 114 с.
25. Св-во о гос. рег. программы для ЭВМ 2012618928. Программа расчета критериев возможности титриметрического анализа «Gnose» / Терентьев Р.А., Чеботарев В.К. (РФ). – №2012616720; заявл. 07.08.12; зарег. 03.10.12. – 2 с.







Научное издание

СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ: ПРОБЛЕМЫ,  
СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Материалы V Всероссийской научно-практической конференции  
26-27 ноября 2015 г.

Редактор Е.Ф. Изотова

Подписано в печать 29.12.15. Формат 60x84/16.

Усл. печ. л. 33,56. Тираж 100 экз. Заказ 151499. Рег. №129.

Отпечатано в ИТО Рубцовского индустриального института  
658207, Рубцовск, ул. Тракторная, 2/6.