

МОЛОДОЙ  
Учёный



III Международная научная конференция

# АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК



Пермь

УДК 62(01)  
ББК 30  
А43

Главный редактор: *Г. Д. Ахметова*

Редакционная коллегия сборника:

*М. Н. Ахметова, Ю. В. Иванова, А. В. Каленский, В. А. Куташов, К. С. Лактионов, Н. М. Сараева, О. А. Авдеюк, Т. И. Алиева, В. В. Ахметова, В. С. Брезгин, О. Е. Данилов, А. В. Дёмин, К. В. Дядюн, К. В. Желнова, Т. П. Жуйкова, М. А. Игнатова, В. В. Коварда, М. Г. Комогорцев, А. В. Котляров, В. М. Кузьмина, С. А. Кучерявенко, Е. В. Лескова, И. А. Макеева, Т. В. Матроскина, У. А. Мусаева, М. О. Насимов, Г. Б. Прончев, А. М. Семахин, Н. С. Сенюшкин, И. Г. Ткаченко, А. С. Яхина*

Ответственные редакторы:

*Г. А. Кайнова, Е. И. Осянина*

Международный редакционный совет:

*З. Г. Айрян (Армения), П. Л. Арошидзе (Грузия), З. В. Атаев (Россия), В. В. Борисов (Украина), Г. Ц. Велковска (Болгария), Т. Гайич (Сербия), А. Данатаров (Туркменистан), А. М. Данилов (Россия), З. Р. Досманбетова (Казахстан), А. М. Ешиев (Кыргызстан), Н. С. Игисинов (Казахстан), К. Б. Кадыров (Узбекистан), И. Б. Кайгородов (Бразилия), А. В. Каленский (Россия), О. А. Козырева (Россия), В. А. Куташов (Россия), Лю Цзюань (Китай), Л. В. Малес (Украина), М. А. Нагервадзе (Грузия), Н. Я. Прокопьев (Россия), М. А. Прокофьева (Казахстан), М. Б. Ребезов (Россия), Ю. Г. Сорока (Украина), Г. Н. Узаков (Узбекистан), Н. Х. Хоналиев (Таджикистан), А. Хоссейни (Иран), А. К. Шарипов (Казахстан)*

**Актуальные** вопросы технических наук: материалы III Междунар. науч. конф. (г. Пермь, А43 апрель 2015 г.). – Пермь: Меркурий, 2015. – vi, 178 с.

ISBN 978-5-88187-465-0

В сборнике представлены материалы III Международной научной конференции «Актуальные вопросы технических наук».

Предназначен для научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов технических специальностей, а также для широкого круга читателей.

УДК 62(01)  
ББК 30

## СОДЕРЖАНИЕ

## 1. ИНФОРМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА

<b>Бурева В.К., Стоянов Е.И.</b> Применение методов искусственного интеллекта в спорте. ....	1
<b>Бутенко В.В., Бутенко Д.С.</b> Механизмы отладки кода .....	12
<b>Захаров А.С.</b> Применение видеоусиления Эйлера для замера пульса человека .....	14
<b>Зинова О.В., Щепотьева Ю.Г., Валиева Э.И.</b> Учет успеваемости студентов вуза средствами VBA в системе Excel .....	16
<b>Кожанов Р.В., Артемова А.Д., Гягяева А.Г., Кожанова Е.Р., Сорокина Л.А.</b> Построение контрольных карт Шухарта с применением Mathcad и Matlab .....	20
<b>Магазев А.А., Тимохин С.И.</b> Применение Wolfram Mathematica для анализа работы модели безопасности Take-Grant.....	25
<b>Олейников Д.П., Бутенко Л.Н.</b> Методология системного синтеза методов принятия решений. Целеполагание.....	29
<b>Олейников Д.П., Бутенко Л.Н.</b> Использование паттерна «Инверсия результата» для синтеза методов принятия решений .....	33
<b>Пшеничный С.В.</b> Использование графов для описания модели предприятия при оценке эффективности внедрения ERP-систем.....	37

## 2. ЭЛЕКТРОНИКА, РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

<b>Бакытов А.Б., Ратахин Я.А., Ташенова Ж.К.</b> Технология широкополосного беспроводного доступа.....	41
<b>Женатов Б.Д., Аверченко А.П., Астапенко Д.В.</b> Выбор АЦП для цифрового радиоприемника.....	43
<b>Женатов Б.Д., Аверченко А.П., Садыков Ж.Б.</b> Выигрыш преобразования Хартли по коэффициенту ошибок у преобразования Фурье .....	46
<b>Зильгараева А.К., Круговых Т.В., Ненашев Е.А.</b> Применение и возможности оптоволоконного кабеля.....	49
<b>Нусупбеков С.И., Набиева А.А., Абдыкасым Д.Б.</b> Исследования технологий GPRS на основе стандарта GSM.....	52
<b>Сало А.А., Садыков Ж.Б., Цымбалова Е.И.</b> Система синхронизации по абсолютному точному времени.....	54

## 3. АВТОМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

<b>Мамелин Ю.В.</b> Аналитический обзор развития робототехники, оценка возможности применения для робототехнического зрения ПЗС-матриц .....	57
--	----

<b>Рахимов Б.С., Жуманиёзов С.П.</b> Аппаратно-ориентированный алгоритм вычисления коэффициентов в базисах J-функций . . . . .	59
<b>Рахимов Б.С., Собирова С.К., Кадилова Н.И.</b> Анализ методов вычисления коэффициентов приближения параболическими сплайнами . . . . .	62
<b>Рахимов Б.С.</b> Методы приближения функций параболическими сплайнами . . . . .	65
<b>Стаин Д.А., Часовских В.П.</b> Получение данных для построения образовательного процесса вуза в среде современных web-технологий . . . . .	67

#### 4. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

<b>Захарова Е.И., Науман О.А., Захаров И.В.</b> Расчет распределения тока в плоском индукционном нагревателе с емкостной связью . . . . .	70
<b>Ильгачёв А.Н.</b> Разностно-потенциальные коэффициенты как параметры схемы замещения электрического процесса в ванне многоэлектродных печей . . . . .	76
<b>Ромшин Я.А.</b> К вопросу контролирования тока при работе многокатушечного длинноходового электромагнита . . . . .	79

#### 5. ЭНЕРГЕТИКА

<b>Кузьмин С.Ю.</b> Создание алгоритма программы-советчика технолога СРЗА при проработке ремонтных и оперативных заявок на вывод оборудования, входящего в тракт передачи сигналов ПА . . . . .	83
<b>Уришев Б.У., Бейтуллаева Р.Х., Гайимназаров И.Х., Умиров А.П.</b> Влияние регулирования водоподдачи насосов на водноэнергетические параметры насосных станций . . . . .	85
<b>Хакимьянов А.А.</b> Энергосбережение. Презентация . . . . .	86

#### 6. МЕТАЛЛУРГИЯ

<b>Толымбеков А.М., Жунусов А.К., Толымбекова Л.Б.</b> Освоение технологии производства высокоуглеродистого феррохрома с содержанием кремния 1–2% . . . . .	88
--	----

#### 7. МАШИНОСТРОЕНИЕ

<b>Васильева Н.В.</b> Применение режущих инструментов из синтетических сверхтвердых материалов для повышения экологичности и качества механической обработки . . . . .	91
<b>Водин Д.В.</b> Лазерная обработка как перспективный метод повышения износостойкости металлорежущего инструмента . . . . .	95
<b>Попов К.С., Юнусов А.Ф., Кашапов Р.Р., Никишин В.Н.</b> Исследование эффективности использования биотоплива в дизельных двигателях . . . . .	97
<b>Юрьев Д.Р., Дьяковский В.Г., Рогова О.С.</b> Защита автомобиля от посягательств злоумышленника многомодульным охранным устройством посредством встроенной CAN-шины . . . . .	99

#### 8. СТРОИТЕЛЬСТВО

<b>Буренина О.Н., Давыдова Н.Н., Андреева А.В., Даваасенгэ С.С., Саввинова М.Е.</b> Исследование влияния комплексных минеральных модифицирующих добавок, включая нанодобавки, на свойства мелкодисперсного бетона . . . . .	101
--	-----

<b>Буренина О.Н., Давыдова Н.Н., Андреева А.В., Даваасенгэ С.С., Саввинова М.Е.</b> Влияние наполнителей на структуру мелкозернистых бетонов .....	104
<b>Ким А.Ю., Харитонов С.П.</b> Перспективы применения мембранно-стержневых и пневматических покрытий сооружений в Российской Федерации .....	106
<b>Морозов Р.В., Клёнов Ю.В.</b> Оценка эффективности использования низкоэмиссионного энергосберегающего остекления .....	109
<b>Фетисова М.А., Маренков А.Г.</b> Применение технологии навесных фасадов в реконструкции зданий .....	114
<b>Чалкова Н.Л., Ризатдинова А.Р.</b> Сравнительная характеристика современных отопительных систем .....	115

## 9. ТРАНСПОРТ

<b>Еременко Е.А., Широков А.П.</b> Технология работы припортовой станции с местными вагонами .....	118
<b>Михеев В.А.</b> Оценка технического состояния функциональных элементов системы охлаждения дизельной энергетической установки .....	122
<b>Павловская С.С.</b> Обзор существующих средств оценки состояния дорожного покрытия после применения реагентов и способов борьбы с зимней скользкостью .....	125
<b>Селезнев А.В., Соколов А.В.</b> Определение поисковых характеристик перспективных воздушных судов в системе поисково-спасательного обеспечения полетов .....	128
<b>Тюфанова А.А.</b> Радиолокационный мониторинг судопотока на основе анализа конфигураций зоны навигационной безопасности .....	130
<b>Чабанный А.А.</b> Обоснование выбора гидравлического привода для стенда проверки рулевого привода легковых автомобилей .....	132
<b>Юнусов А.Ф., Попов К.С., Никишин В.Н.</b> Оценка тормозных свойств грузового автомобиля вагонной и капотной компоновки .....	141

## 10. АРХИТЕКТУРА

<b>Морозова Я.С., Максимов Н.Э.</b> Применение геоинформационных систем при разработке стратегии развития территории .....	147
---	-----

## 11. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

<b>Белоусов С.В., Трубилин Е.И., Лепшина А.И.</b> Связь науки и техники в возделывании сельскохозяйственных культур при проектировании лемешного плуга .....	150
<b>Гордеева А.В.</b> Создание микро- и наносистем с помощью электрохимических разрядов .....	155
<b>Каленский А.В., Никитин А.П.</b> Оптические свойства наночастиц алюминия в матрице гексогена при различных температурах .....	159
<b>Ложкин К.И., Добриков В.А.</b> Исследование прочности паяных соединений «металлокерамика – лемешная сталь» .....	163
<b>Маковкина Л.Н.</b> Автоматизация подачи заданных расходов воды с двумя системами регулирования на открытых каналах оросительных систем .....	169

**Сытин А.В., Тюрин В.О., Антонов С.Д.**

Совместная задача газовой динамики и теории упругости применительно к расчету многолепестковых газодинамических подшипников с активным управлением .....171

**Эрдэнэ-Очир М.У.**

Исследование динамики машин .....174

# 1. ИНФОРМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА

## Применение методов искусственного интеллекта в спорте

Бурева Веселина Кунчева, кандидат технических наук, ассистент;  
Стоянов Ефтим Иванов, главный ассистент  
Университет «Проф. Асен Златаров» (г. Бургас, Болгария)

*В работе дается краткий обзор основных направлений применения методов искусственного интеллекта в соревновательном спорте. На примере конкретных работ иллюстрированы их возможности как средство помощи для оптимизации тренерской работы, предупреждения травматизма, идентификации талантов, селекции игроков и управления клубами.*

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, интеллектуальный анализ данных, машинное обучение, спортивная биомеханика, стратегия матчей, травматизм

### Введение

Искусственный интеллект (artificial intelligence-AI) разрабатывает различные методы использования компьютеров для выполнения творческих задач, свойственных людям. Тесно связанные с AI понятия — машинное обучение и интеллектуальный анализ данных (data mining-DM). Машинное обучение (machine learning-ML) — это обширный подраздел AI, изучающий методы построения самообучающихся моделей. Интеллектуальный анализ данных использует методы ML для извлечения нетривиальной и потенциально полезной информации из огромных наборов данных, доступных в различных областях науки и человеческой деятельности. Используя более сложные инструменты, которые могут работать непосредственно с данными, DM указывает тенденции в данных, которые выходят за рамки простого статистического анализа. Современные методы AI (ассоциативные правила, деревья решений, модель гауссовых смесей, алгоритмы регрессии, нейронные сети, векторные машины поддержки, байесовские сети и т. д.) используются во многих областях для решения проблем ассоциации, классификации, сегментации, диагностики и прогнозирования.

Вполне логично, что методы AI находят применение в такой экстремальной человеческой деятельности, как спорт уровня высоких достижений и все сопутствующие процессы. В материалах семинара по машинному обучению и интеллектуальному анализу данных в спортивной аналитике [1] отмечается нарастающее использование методов AI для поддержки принятия решений по всем аспектам профессионального спорта: приобретение игроков и расходы команды, моделирование тренировочного процесса и стратегий матчей, прогнозирование и профилактика травматизма, прогнозирование исходов матчей, расчет коэффициентов ставок и многое другое.

Цель данной работы — сделать краткий обзор приложений AI в различных аспектах спортивной деятельности.

### **Технический анализ исполнения и оптимизация тренировочного процесса**

Оценка эффективности исполнения спортивных упражнений — это важный элемент занятий спортом и является предметом биомеханики спорта. Биомеханика спорта, как правило, определяется как изучение и применение физики и техники к спортивным тренировкам и выступлениям [2]. В работах [3,4] рассматриваются отдельные исследования по применению вычислительных моделей и технологий AI в спортивной биомеханике, в частности для оценки правильности спортивной техники. Owusu [3] утверждает, что с вычислительной точки зрения оценка эффективности предполагает моделирование в специфическом спортивном домене и моделирование процесса её оценки. Модель процесса оценки эффективности является предметнонезависимой, поскольку она описывает механизмы для манипулирования моделями, специфическими для данного спорта. Owusu рассматривает модель оценки эффективности процесса как трехэтапный линейный процесс: (I) *распознавание*, (II) *критика*, и (III) *рекомендации*. С вычислительной точки зрения, *распознавание* выполненного двигательного навыка (т.е. движения) предполагает приобретение и интерпретации биомеханических данных, достаточных для описания рассматриваемого умения (мастерства). Для целей автоматизации процесса оценки эффективности можно выделить два уровня *распознавания* движений. Этап распознавания на низком уровне касается автоматизации количественной оценки биомеханических данных. Автоматизация на низком уровне стала возможной с изобретением систем визуального анализа движения. Распознавание высокого

уровня присваивает смысл биомеханическим данным, полученным на низком уровне. Ключевым вопросом распознавания на высоком уровне является построение соответствующего классификатора для изучаемого спорта. С вычислительной точки зрения этап «критика» может быть грубо классифицирован как диагностика и прогностическое моделирование. Диагностика выявляет любые несоответствия между ожидаемой эффективностью выполняемых двигательных навыков и тем, что спортсмен выполняет фактически, и исследует причины этих расхождений. Современные подходы к *диагностике* в контексте оценки эффективности спортивной техники включают разработку систем, основанных на знаниях (knowledge-based systems-KBS). В *прогностическом моделировании* акцент делается на анализ того, чего спортсмен может добиться. Наконец, на этапе *рекомендаций* с помощью AI предлагаются решения об исправлении выявленных недостатков.

Рассмотренные ниже конкретные примеры реализуют один или нескольких этапов описанной модели процесса оценки эффективности для кластеризации, классификации, распознавания и прогнозирования конкретных спортивных данных, таких, как последовательности движений.

Sands [5] описывает KBS для мониторинга гимнастических тренировок. Система идентифицирует неадекватные физиологические и психологические параметры и предупреждает о них. В качестве преимуществ экспертной системы автор назвал ее способность выявлять тенденции к получению травм, идентифицировать перетренированность, сигнализировать о заболеваниях до появления яркой симптоматики и о всплесках роста у спортсменов-подростков. Sands [6] предлагает базированную на кинезиологии экспертную систему. Кинезиология использует анатомическую информацию для определения того, какие мышцы осуществляют движение человека и в какой степени. С помощью предложенной автором кинезиологической экспертной системы движения (KMES) студенты, определяя суставы, действия и типы напряжений, могут получить список мышц, которые будут способствовать запрошенному движению. Кроме того, студент может выбрать конкретную мышцу и тип напряжения, и система вернет все движения, в которых задействована данная мышца. KMES была написана в PDC PrologTM и имеет базу знаний из 1583 движений. В [7] Sands и сопр. предлагают использовать нейронные сети для распознавания всех аспектов исполнения гимнастических упражнений и обеспечения обратной связи. Перспективность применения искусственных нейронных сетей (ANNs) в области спортивной биомеханики обсуждается в ряде работ [7–11].

В работе Васа и сопр. [12] самоорганизующаяся нейронная сеть (Self Organizing Maps — SOM) состоящая из 400 нейронов, обучалась для кластеризации стабильности процесса прицеливания элитными биатлонистами. В [13] анализировали временную динамику моторного об-

учения в плавании брассом. Обработка множества данных осуществлялась двухуровневой кластеризацией с помощью алгоритма Fisher-EM [14]. С точки зрения спортивных наук конкретной целью исследования была оценка динамики обучения и оценка влияния различных условий на динамику обучения, и далее использование результатов анализа для оптимизации процесса обучения.

Цель Silva и сопр. [15] — выявить факторы, которые могут объяснить эффективность (достигнутый результат) юных пловцов в индивидуальном плавании на дистанциях 200 метров смешанным стилем и 400 метров кролем, а также моделировать достижения в этих дисциплинах с помощью искусственных нейронных сетей (многослойные перцептроны-MLP), и оценить возможности нейронных сетевых моделей для предсказания эффективности. В исследовании используются данные 138 пловцов (65 мужчин и 73 женщины) национального уровня. В качестве факторов учитывались переменные четырех областей: кинатропометрические (антропометрические показатели, композиция тела и соматотип), функциональные оценки (сила, гибкость), специфические функции (гидродинамические, гидростатические и биоэнергетические характеристики) и плавательная техника. На основе результатов нелинейного анализа с использованием нейронной сети с прямой связью (feed-forward) созданы четыре модели эффективности. Разница между прогнозируемым и действительным результатом для тестового множества данных менее 0.8%. Аналогичные результаты докладывались в работах [16–19]. На основании своего и аналогичных исследований авторы заключают, что инструмент нейронных сетей является удачным подходом решения сложных задач, какими являются моделирование эффективности и выявление талантов в широком разнообразии видов спорта и в частности, в плавании.

В [20] иллюстрируются возможности методов искусственного интеллекта в спорте на примере силовых тренировок. Исследователи применяли метод распознавания образов (pattern recognition) для оценки упражнений, выполненных на тренажерах. Сбор данных осуществлялся с использованием датчиков, прикрепленных к тренажерам. С их помощью непосредственно измерялись основные данные — действующие силы и перемещения во время тренировки, на основании которых определялись дополнительные характеристики, такие, как периоды времени, скорости движения, ускорения. Эти параметры применялись для автоматической оценки исполняемого упражнения. Моделирование осуществлялось с помощью искусственной нейронной сети и ее обучения на основе накопленных данных. Применялся метод обучения с учителем (supervised learning). Предварительно обработанный сенсорный вход был использован для классификации и оценки исполнений. Разработанные методики показали удовлетворительные результаты. В практике такие методы могут иметь решающее значение для исследования качества исполнения, для оказания помощи спортсменам и тренерам, для обучения с целью оптими-



зации и для профилактических целей. Конечная цель разработчиков — применение данной методики в мобильных системах коучинга [21], предоставляющих спортсменам автоматическую мгновенную оценку их исполнения для осуществления обратной связи.

В исследовании [22] использовались самоорганизующиеся карты (self-organizing maps — SOM) для классификации модели координации по данным четырех баскетболистов, выполняющих три различных вида бросков с разных расстояний. Авторы отмечают, что SOM является более объективным методом для объяснения координации движений по сравнению с более традиционными подходами, такими как визуальный анализ или анализ временных рядов данных.

Schmidt [23] исследовал кинематическую цепь штрафного броска баскетболистов разных уровней мастерства. Автор поставил перед собой цели (1) исследовать, какую информацию можно получить из паттерна движения и (2) изучить методологические возможности анализа образов (pattern analysis). Он выполнил триангуляцию полученных данных и анализировал их с помощью одной из разновидностей нейронных сетей — динамические контролируемые сети (Dynamically Controlled Networks — DuCoN) [9,10]. В ходе анализа были выявлены индивидуальные особенности спортсменов, а также фазы движений броска. Успешно классифицированы паттерны бросков и определена их стабильность и изменчивость. Как можно было предположить на основании предыдущих исследований [24, 25], подтвердилась индивидуальность человеческого движения и с помощью распознавания образов — найденные паттерны движения имели четко индивидуальную структуру, а также формировались уровнем мастерства. В работе [26] сравниваются возможности нейронных сетей (ANN) и метода опорных векторов (SVM) для моделирования сложных кинематических данных при анализе структуры человеческой ходьбы и бега. Тестовое множество включает данные, собранные при выполнении этих движений на бегущей дорожке при трех различных скоростях. В эксперименте участвовали восемь мужчин — профессиональные бегуны на средние и длинные дистанции. Результаты показывают, что SVM дает более высокую точность классификации, что можно объяснить выполнением оптимизации при разделении данных. В [27] предлагается использовать имитационные игры в настольном теннисе при подготовке спортсменов.

### **Стратегии матчей**

Игровые виды спорта из-за сложности анализа и большого числа влияющих факторов являются важной сферой применения искусственного интеллекта (AI). Оценка спортивного исполнения в командных видах спорта с точки зрения больших передвижений и двигательных паттернов, стратегии и тактики является предметом уже хорошо разработанной дисциплины — символического анализа (nota-

tional analysis) в спорте [28–30]. Анализ стратегии и тактики решается разнообразными подходами AI.

Авторы [31] предлагают эффективные методы для обнаружения похожих движений в позиционных потоках данных, чтобы обеспечить основу для анализа часто встречающихся движений и тактических моделей. Они используют записи матчей, которые немецкая Бундеслига осуществляет с помощью специальных камер с высоты птичьего полета (при котором открывается вид на поле), чтобы лучше анализировать движения игроков и тактику игры. Запись футбольного матча продолжительностью 90 минут преобразуется в позиционный поток данных. При стандартной скорости записи 25 кадров в секунду матч представляет собой последовательность из 135000 снимков. Каждый снимок состоит из 23 позиций (22 позиции игроков двух команд и позиция мяча). В целом, игра описывается более чем тремя миллионами координат. Для эффективной обработки столь большого объема данных исследователи предлагают алгоритм с использованием методов Angle/Arc-Lengths [32], Dynamic Time Warping [33] Locality Sensitive Hashing [34].

Bedford и сопр. [35] разработали три уровня стратегии в качестве потенциальных возможностей повышения эффективности игры в бадминтоне. Третья, наиболее продвинутая стратегия использует байесовский анализ для обновления начальных оценок на основании текущей информации о развитии матча и для оптимизации оценки риска при выполнении начальных ударов. Эти стратегии могут быть реализованы в живой игре, поскольку правила игры в бадминтоне позволяют вмешательство тренера во время игры.

Glöckner и сопр. предлагают использовать эвристические методы распознавания [36–40] при разработке стратегий спортивных игр. В статье [40] рассматриваются модели выбора игрока в гандболе, основанные на «поведении взгляда». По данным лабораторного эксперимента авторы протестировали два класса моделей задачи принятия решения: нейронную сетевую модель с параллельным удовлетворением ограничений (Parallel constraint satisfaction — PCS) [41] и аккумуляторную модель [42]. Оба класса моделей реализованы как детерминированные и как вероятностные. Модели предсказывают действия в задаче выбора с точки зрения плеймейкера по гандболу — подать мяч другому игроку или бросать в ворота. Авторы использовали данные по поведению взгляда и по генерированному варианту с помощью 74 участников (гандболистов), набранных из государственного учебного центра и из клубов Северной Германии. Задача участников была перечислить возможные варианты в реальных игровых ситуациях по гандболу. Использованная методика подробно описана в работе [43]. В целом, данные включали информацию о длительности фиксации глаз плеймейкера к левой, средней или правой части игрового поля и предположение других участников о направлении действия плеймейкера — то, что должно быть предсказано моделями. Результаты показали, что оба класса моделей

одинаково хорошо прогнозируют изначально сгенерированные варианты участников, основанные на данных о поведении взгляда. Таким образом, фиксация взгляда имеет прогностическое значение. Авторы заключают: сетевые модели могут быть успешно применены для принятия решений экспертов в области спорта и предлагают использовать полученные результаты для разработки обучающих тренерских программ при подготовке спортсменов.

Pfeiffer и сопр. [44] отмечают, что использование нелинейных методов, в частности нейронных сетей, для анализа данных в области соревновательного спорта, представляется особенно перспективным. На примере трех конкретных задач они показали, как сетевые подходы могут быть успешно применены для решения сложных проблем в области спортивной науки. Первое исследование — в области выявления талантов, где самоорганизующаяся карта Кохонена (Self-Organizing Kohonen Feature Map) была использована для выявления различных паттернов характеристик качеств подростков, в последствии успешных или неуспешных пловцов. Во втором примере динамично контролируемая сеть (Dynamically Controlled Network — DyCoN) — дальнейшее развитие самоорганизующейся карты Кохонена [45] — применялась для выявления тактических моделей поведения в команде гандболистов. Наконец, искусственная нейронная сеть — многослойный перцептрон (Multi-Layer-Perceptron) — использовалась для прогнозирования конкурентноспособности элитных пловчих на Олимпийских играх 2004 в Афинах на основе характеристик их тренировочных нагрузок.

Grunz и сопр. [46] использовали динамично контролируемую сеть (Dynamically Controlled Network — DyCoN) для обнаружения тактических моделей в позиционных данных по футболу. Классификация с использованием сети сравнивалась с результатами, полученными экспертами при классификации вручную. Показано, что выбранная архитектура нейронных сетей в основном способна обнаруживать категории тактических моделей. Предварительные результаты показали высокую точность классификации. В работе [47] использовались две нейронные сети — многослойные перцептроны (MLP) для классификации тактического поведения волейбольных команд в зависимости от формы их оборонительных позиций. Исследователи сделали вывод, что схемы защиты в командных видах спорта высоко индивидуальны и различаются даже в стандартных ситуациях. Искусственные нейронные сети могут быть использованы для распознавания команд по форме схемы выстраивания игроков. В работе [48] используется Байесовская сеть для выявления взаимосвязей между 22 психологическими характеристиками игроков в полупрофессиональном футболе и их влияние на эффективность коллективной игры.

### **Травматизм**

Травмы являются распространенной проблемой в профессиональном спорте. От профилактики травм и полного

восстановления в случае их получения в значительной степени зависит успешная карьера спортсмена. В связи с этим, добыча дополнительных знаний из имеющейся информации о травмах крайне необходима тренерским и медицинским бригадам для анализа, профилактики и прогнозирования травм.

Kamprakis [49], оценивая время восстановления футболистов после травмы на основе информации об их состоянии в момент травмы, использует три метода: машины опорных векторов (vector machines), гауссовские процессы (Gaussian processes) и нейронные сети (neural networks). Тесты проводились по результатам исследований профессионального футбольного клуба Тоттенхэм Хотспур. Результаты показывают, что возможно прогнозировать время, необходимое для восстановления игрока. Ни один из трех методов не превосходит другие. На данном этапе точность прогноза невысока, что можно объяснить небольшим размером использованной базы данных, а также набором использованных переменных. Для повышения точности прогнозирования автор намерен включить в последующие исследования больше данных а также протоколы, объединяющие мнения экспертов.

В работах [50–52] были использованы различные алгоритмы машинного обучения для извлечения диагностических знаний, необходимых для подтверждения диагноза спортивной травмы. Применялись варианты алгоритмов разбора сверху-вниз, создания дерева принятия решений и варианты байесовского классификатора. Ввиду недостаточного набора данных для более надежной диагностики всех включенных в систему спортивных травм, в качестве генераторов дополнительных экземпляров учебных диагнозов использовались определенные экспертами диагностические правила. Авторы утверждают, что по точности классификации и объяснительным возможностям наивный байесовский классификатор с нечеткой дискретизацией численных признаков превосходит другие методы и поэтому является наиболее подходящим для практического использования в созданном приложении. Система разработана с целью поддержки принятия решения специалистами, а также для обучения студентов-медиков и врачей-неспециалистов в области спортивной травматологии.

В работах [53–56] механизмы возникновения и оценка риска травм в художественной гимнастике на уровне клубов и национальных команд моделировались с помощью байесовских сетей. Анализ чувствительности применялся для оценки тяжести различных факторов риска. В [57, 58] тот же подход применялся для оценки вероятности получения хронической или острой травмы в женской спортивной гимнастике. Авторы предлагают использовать предложенные модели при планировании тренировочного и соревновательного режима гимнасток. В [59] рассматриваются возможности интеллектуального анализа данных (data mining) как исключительно важного компонента для анализа и предупреждения детского травматизма. Автор утверждает, что использование возможностей data mining для сбора информации, интеграции,

анализа и прогнозирования позволяет создать систему, которая приведет к снижению заболеваемости путем более целенаправленной профилактики, а также к совершенствованию неотложной помощи травмированным. Сделанные выводы вполне относимы и к спортивным травмам. Работа [60] рассматривает возможности искусственной нейронной сети для прогнозирования последствий перелома ребер — травмы, часто встречающейся в таких видах спорта, как хоккей, бокс, в различных видах боевых искусств [61]. Используемая для обучения сети база данных содержала 580 историй болезни. Созданные 9 нейронных сетей обратного распространения обучались при разных начальных условиях. Эти сети прогнозировали тестовый набор выходных переменных с точностью около 98% при уровне тестирования 80%.

В [62] описана медицинская система оценки функции мышц на основе данных изокинетической машины с использованием экспертной системы и методов data mining (DM). Изокинетическая машина (IM) может быть описана как аппарат, на котором пациенты выполняют силовые упражнения. Особенность IM — ограничение диапазона движений и интенсивности усилий при постоянной скорости. Данные о мышечной силе пациента в течение всего упражнения регистрируются и хранятся в машине. Экспертная система на базе знаний специалистов в области изокинетики фильтрует и предварительно обрабатывает данные и проводит интеллектуальный анализ параметров и морфологии изокинетических кривых с целью обнаружения моделей травматизма в изокинетических упражнениях. Процесс разработки алгоритма DM для выявления закономерностей, которые потенциально характеризуют какую-то травму, был разделен на два этапа: (а) — алгоритм, который определяет похожие модели в упражнениях и (б) — алгоритм, который использует алгоритм (а) для обнаружения любых моделей, которые проявляются в упражнениях, выполняемых пациентами с травмами и не проявляются в упражнениях, выполненных здоровыми пациентами. Одно из приложений экспертной системы — для интерпретации изокинетики в спорте (ISODEPOR), используется в национальном High Performance Centre в Испании для оценки силы мышц испанских элитных спортсменов.

В [63] отмечается, что большинство травм зубов и полости рта активных спортсменов могут быть предотвращены с помощью правильно выбранного защитного спортивного оборудования. Прогнозирование травм может помочь практическому врачу заранее выявить спортсменов с высоким риском челюстно-лицевых травм, чтобы затем сделать соответствующие рекомендации по использованию правильно установленных защитных средств. Для этой цели предлагается использовать прогностический индекс [64], определяющий вероятность связанных со спортом травматических повреждений зубов у детей и подростков. Этот индекс основан на байесовской вероятностной модели с использованием априорных отношений шансов и правдоподобия

для выявления и определения приоритетности 14-ти категорий факторов риска.

В [65] сообщается о масштабном проекте по анализу множества факторов подготовки игроков спортивной команды, а также по анализу основных причин травм с целью их прогнозирования и предотвращения. В исследовании участвовало 20 игроков команды на протяжении одного сезона. Рассмотрено более 2000 измерений с 150 параметрами антропометрических, физиологических характеристик, тренировочной нагрузки и характера травм. Проводился мониторинг состояния центральной нервной системы (ЦНС), сердечно-сосудистой системы (ССС) и системы энергоснабжения тканей организма с помощью аппарата OMEGAWARE. Интеллектуальный анализ данных, включающий анализ главных компонент, методы линейной регрессии и Байесовское моделирование, проводился в средах RapidMiner 5.3 и BayesiaLab 5.2. Обучение с учителем (Supervised Learning) и Augmented Naïve Bayes (ANB) использовались для построения прогностических моделей 3-х концепций: (1) эффективность деятельности команды в целом; (2) эффективность деятельности команды с точки зрения победы или проигрыша; (3) эффективность индивидуальной деятельности игроков. Для этих моделей было использовано около 50 параметров. Точность моделей была подтверждена ROC-кривой и матрицей неточностей. Для каждой из трех моделей эффективности факторы готовности ССС и ЦНС являются самыми важными для предсказания. Результаты анализа могут быть использованы для улучшения управления процессом подготовки команды, в частности — для прогноза рисков травматизма и их предупреждения.

### **Анализ спортивного видео**

DM традиционно применяется для хорошо структурированных данных. При лавинообразном росте числа мультимедийных данных внимание ряда исследователей обратилось к решению задачи обнаружения паттернов в неструктурированных данных [66, 67]. Ряд работ посвящен анализу спортивного видео.

Duan и сотр. [68] предложили единую методику для семантической классификации кадров в спортивном видео. В отличие от большинства существующих подходов, при которых кластеризация осуществляется путем агрегирования кадров с аналогичными характеристиками низкого уровня, предлагаемая методика использует обучение с учителем для выполнения классификации кадров сверху вниз. Обучение строится на основе эффективного представления среднего уровня. Методика состоит из трех основных этапов: (1) определение классов кадров для каждого вида спорта; (2) разработка общего набора движений, цвета, представлений среднего уровня; (3) обучение с учителем спортивных видео кадров для данного спорта из пяти видов спорта с мячом (теннис, баскетбол, волейбол, футбол, настольный теннис). С помощью этой

методики авторы добились 85–95 процентной точности классификации видео игровых видов спорта.

Wang и сотр. [69] предлагают методику для семантического анализа спортивного видео, основанную на двух особенностях представления знаний в предметной области спортивного видеоанализа. Во-первых, спортивное видео состоит из повторяющихся событий, которые по своей природе мультимодальны [70] — для передачи их смысла вещателями используются различные информационные источники: текст, речь, звук, движение камеры, визуальные сцены. Во-вторых, большинство спортивных игр имеют древовидные структуры, т.е. соотношения между событиями следуют набору правил. Например, игра в теннис разделяется на сет, геймы и начальные удары. Следуя этим семантическим характеристикам спортивного видео, авторы предлагают для его анализа мультимодальную многослойную вероятностную модель с использованием динамических сетей Байеса (DBNs). Мультимодальный анализ с применением методов машинного обучения приводит к более надежной и точной системе, в которой интегрируются данные различных модальностей. Многоуровневый анализ на основе DBNs дает общее графическое представление событий и возможность использования эффективных методов логического вывода и алгоритмов обучения. На основе представленной модели авторы разработали и сравнили три ее реализации — разновидности иерархической скрытой марковской модели (ННММ): ГННММ, СННММ и РННММ [71]. Экспериментальные результаты показывают, что РННММ является наиболее привлекательным выбором для семантического анализа спортивных видео.

### **Прогнозирование исходов матчей**

К прогнозированию результатов проявляет интерес множество любителей ставок на спорт. Оно является и предметом спортивной аналитики. Так как для максимально достоверного прогноза нужно учесть и правильно проанализировать большой комплекс спортивных характеристик, использование разнообразных методов AI вполне логично.

Sinha и сотр. [72] методами машинного обучения и data mining исследовали связь между записями в твиттере и исходами матчей в Национальной футбольной лиге (NFL) США. С этой целью авторами была создана база данных, содержащая прогностические сообщения твиттера о матчах 2010–2012 сезонов, а также статистику результатов матчей НХЛ [www.ark.cs.cmu.edu/football]. Авторы экспериментировали с несколькими наборами характеристик сообщений и установили, что простые наборы, использующие большой объем твиттов, дают прогнозы, сопоставимые с прогнозами, сделанными на базе традиционных характеристик игровой статистики, или даже превосходящие их по точности. Авторы [73] предлагают использовать методы машинного обучения для предсказания результатов матчей Национальной хоккейной лиги. Они

построили несколько моделей классификации с использованием классической статистики, показателей производительности (performance metrics) и обоих подходов. Использовались возможности машинного обучения WEKA [92]. Результаты показывают, что нейронные сети позволяют построить наиболее надежные модели классификации.

Авторы [74] прогнозировали результаты матчей в баскетбольной ассоциации национального атлетического колледжа (NCAAB), используя методы: деревья решений (decision trees), поиск ассоциативных правил (association rules learning), нейронные сети (neural networks), наивный байесовский классификатор (Naive Bayes). Они установили, что верхний предел точности прогноза для результатов матчей находится на уровне около 74% — 75%. При этом вместе с усложнением метода точность прогноза не повышается, Naive Bayes — простейший из классификаторов, выполняет задачу с таким же успехом. В работе утверждается, что не модели, а использованные атрибуты являются лимитирующим фактором при прогнозировании.

В [75] предлагается система прогнозирования результатов футбольных матчей NFL с использованием нейронной сети (ANN) и линейной регрессии (LR). Интеллектуальный анализ данных выполнен в среде Rapid Miner [93]. Авторы утверждают, что использованный ими гибридный подход дает точность предсказания 90.32%.

Smith и сотр. [76] применили байесовский классификатор для предсказания призов Сая Янга (Cy Young award) в американском бейсболе. Эта модель использовалась параллельно с двумя статистическими моделями [77,78], выполняющими ту же задачу. Все три модели дают прогнозируемые результаты, близкие к статистическим данным периода с 1967–2006. При использовании моделей со стартовым питчером точность прогноза более 80%. Ruiz и сотр. [79] разработали вероятностную модель, которая, в отличие от традиционных статистических моделей, дает более точные прогнозы и дополнительную информацию, которая объясняет ход матча и позволяет анализировать игру баскетбольной команды. Hoegh и сотр. [80] предлагают фреймворк для прогнозирования и оценки характеристик баскетбольных матчей, основанный на методе k ближайших соседей (k nearest neighbor, kNN). Их подход связывает предсказания модели с процедурой кластеризации, использующей информацию из игр, похожих на текущий матч. Saikia и сотр. [81] применили нейронную сеть — многослойный перцептрон (MLP) для прогнозирования эффективности действий подающих в индийской премьер-лиге (IPL) по бейсболу. С помощью MLP эффективность подающих в четвертом сезоне оценивалась на базе информации статистики прошедших трех сезонов. Валидность модели нейронной сети проверена на другом множестве подающих. Полученную относительно низкую точность модели — 66.67%, можно объяснить тем, что обучающая выборка из-за небольшого «возраста» лиги на данном этапе состоит всего из 75 подающих. Результаты исследования могут быть полезны тре-

нерам и руководству команд при приобретении игроков на следующий сезон.

### **Селекция игроков**

Селекции игроков для командных видов спорта является решающим моментом для конечного успеха. Процесс отбора игроков и формирования команды — мультикритериальная проблема принятия решений, где конечный успех определяется тем, насколько набор отдельных игроков образует эффективную команду.

Для решения проблемы оптимальной селекции игроков баскетбольной команды авторы [82] предлагают алгоритм, основанный на известном мультикритериальном методе поддержки принятия решений — data mining метод TOPSIS (technique for order preference by similarity to ideal solution [83]). Методы, используемые авторами, помогают обеспечить большую эффективность игрока и лучший рейтинг команды, более точные прогнозы спортивных результатов, успешное формирование команды, оптимизацию учебного процесса с учетом индивидуальности игроков в команде, поощряя их универсальность, т. е. соответствие общей норме физической готовности команды. Предложенные методы исследования могут быть использованы в других видах спорта. Кроме того, эти принципы могут быть использованы в управлении процессом формирования команды.

В [85] предлагается методика селекции человеческих ресурсов в спорте с помощью индексов, разработанных на основе OWA операторов с различными мерами схожести: расстояние Хэмминга (Hamming's distance), коэффициент адекватности (adequacy coefficient), индекс максимального и минимального уровня (index of maximum and minimum level). Главное преимущество использования OWA операторов — возможность учесть поведенческий характер лица, принимающего решения выбора человеческих ресурсов в спорте. Эта проблема приобретает важное значение в ситуации, когда менеджер хочет принять более или менее рискованное решение по отношению к неопределенным факторам в будущем. Эти индексы известны как OWAD, OWAAC и OWAIMAM операторы. Кроме того, авторы представили дополнительно обобщение этих индексов — Quasi-OWAD, Quasi-OWAAC and the QuasiOWAIMAM. Они разработали иллюстративный пример, на котором показали, что в зависимости от конкретного типа используемого индекса могут получиться различные результаты, приводящие к различным решениям.

Для решения задачи селекции в [86] применяется теория нечетких множеств и нечеткой логики. Авторы предлагают систему нечеткого вывода (fuzzy inference system — FIS) для выбора игроков и формирования команды в футболе. В работе игроки оцениваются по 18 критериям с помощью лингвистических переменных: «Poor (P)», «Fair (F)», «Good (G)» и «Very Good (VG)». Лингвистические переменные применяются для прео-

доления трудностей в выражении уровня квалификации игроков через дискретные значения. Они используются также для оценки эффективности каждого кандидата-игрока в различных позициях. Нечеткие множества используются для преобразования лингвистических переменных в тройки чисел. Нечеткие числа дают возможность для обработки информации в нечеткой среде. В предложенном подходе задача селекции команды решается на двух этапах. Первый этап оценивает альтернативных игроков методом ранжирования с учетом свойств нечетких систем и выбирает лучших исполнителей для включения в команду. Второй этап оценивает альтернативные комбинации выбранных игроков с помощью FIS и выбирает оптимальную комбинацию при формировании команды. Для иллюстрации эффективности предложенного подхода рассмотрены конкретные примеры.

### **Идентификация спортивных талантов**

Статья [87] представляет экспертную систему для идентификации молодых спортивных талантов на основе нечеткой логики. При оценке таланта учитываются: знания спортивных экспертов, различные тесты на двигательные навыки, морфологические и функциональные характеристики. Эти данные «квантуются» по степени их важности для выбранного набора видов спорта. Полученные значения заносятся в базу знаний вместе результатом измерений для каждого теста. Нечеткая логика применяется для того, чтобы сделать систему более гибкой и надежной. Система веб-ориентирована и доступна по адресу <http://politehnika.pmfst.hr/talent/login.aspx>. Разработанная экспертная система дает прогноз приемлемости выбранного спорта и предлагает наиболее подходящие виды спорта для испытуемого. Результаты на выходе системы были оценены 4 экспертами с использованием реальных данных, собранных в течение нескольких лет. Все тесты показали высокую надежность и точность разработанной системы. В [88] использована классификация данных методом опорных векторов (SVM) для предсказания приема кандидата в училище физической культуры и спорта при университете Чукурова (Cukurova) в Турции. Точность предсказания 97,17 % и 90,51 %, полученная для наборов данных 2006 и 2007 годов соответственно, показывает, что SVM классификация является эффективным инструментом в этой области.

### **Управление клубами**

Авторы [89] использовали data mining для анализа четырех основных проблем в немецких спортивных клубах: привлечение и приобретение волонтеров, спортсмен-подростков для участия в соревнованиях, тренеров и членов клуба. Так как эти проблемы очень важны для развития спортивных клубов, представляет интерес вопрос, какие спортивные клубы имеют меньшие

или большие проблемы в этих областях и какие факторы играют решающую роль в усугублении этих проблем. Так как спортивные клубы имеют много различных характеристик (более 200), использование регрессионного анализа неприемлемо. Для выявления определяющих факторов перечисленных выше проблем авторы используют метод data mining дерева решений. Источник данных — отчет развития спорта 2008/2009, который представляет результаты государственного обследования некоммерческих спортивных клубов в Германии. Анкета включает вопросы о членах и членских взносах, о спортивных предложениях, о спортивных сооружениях, о волонтерах, об оплачиваемом персонале, о сотрудничестве с другими учреждениями, о собраниях приверженцев, о финансах, о проблемах и о важности поддержки. В опросе спортивные клубы отмечали серьезность каждой проблемы согласно своим восприятиям по пяти-балльной шкале (от 1 = нет проблем до 5 = очень большая проблема). В опросе приняли участие 13068 спортивных клубов. Выборка является представительной для некоммерческих спортивных клубов в отношении размера, года основания и региона Германии. Интеллектуальный анализ выполнялся с помощью программного продукта Clementine 12.0. Для каждой из четырех проблем построены C&RT регрессионные деревья решений, в которые вошли факторы с наибольшей значимостью для данной проблемы. Размер клуба (количество членов) является очень важным фактором по отношению к четырем основным проблемам, но есть и другие факторы, которые имеют важное значение, например, виды спорта. Некоторые факторы не являются частью деревьев решений и, таким образом, не имеют значения.

#### Литература:

1. Machine Learning and Data Mining for Sports Analytics ECML/PKDD 2013 workshop, 27 September 2013, Prague, Czech Republic <https://dtai.cs.kuleuven.be/events/MLSA13/>
2. Lees, A., Biochemical assessment of individual sports for improved performance. *Sports Medicine*. 1999;28 (5): 299–305
3. Gilbert Owusu, G. AI and computer-based methods in performance evaluation of sporting feats: an overview *Artificial Intelligence Review*, 2007, 27 (1): 57–70
4. Bartlett, R. Artificial intelligence in sports biomechanics: New dawn or false hope? *Journal of Sports Science and Medicine*, 2006, 5 (4), 474–479
5. Sands, W.A. AI and athletes. *PC AI* 1992, 6 (1):52–54
6. Sands, W.A. Kinesiological motion expert system. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 1994, 45 (4):261–263
7. Sands, W.A., B.B. Shultz, D. D. Paine, Neural nets and gymnastics: recognizing errors in athletic performance, *PC AI*, 1994, 8 (1):42–43
8. Perl, J. Artificial neural networks in motor control research. *Clinical Biomechanics*, 2004, 19 (9), 873–875.
9. Perl, J. A neural network approach to movement pattern analysis. *Human Movement Science*, 2004, 23 (5), 605–620
10. Perl, J. Neural network-based process analysis in sport. In J. R. R. Dopico, J. Dorado de la Calle & A. P. Sierra (Eds.), *Encyclopedia of artificial intelligence*, III, 2008: 1212–1218
11. McCullagh, J. Data Mining in Sport: A Neural Network Approach. *International Journal of Sports Science and Engineering*, 2010, 4 (3): 131–138.
12. Baca, A., P. Kornfeind. Stability analysis of motion patterns in biathlon shooting. *Human Movement Science* 31 (2), 295–302.

Авторы заключают, что интеллектуальный анализ — полезный метод для анализа проблем спортивных клубов.

#### Другие применения AI, связанные со спортом

В работе [90] предлагается использовать алгоритм Apriori поиска ассоциативных правил и кластеризацию на основе онтологий для извлечения знаний из базы данных для покупателей спортивных товаров. Результаты интеллектуального анализа данных представлены как знания структуры (knowledge patterns), ассоциативные правила и карты, с помощью которых фирма производитель спортивных товаров может принять решение о возможном продвижении товара и о спортивном маркетинге. Deli & Jun [91] используют байесовскую сеть для оценки всех факторов риска при проведении масштабных спортивных мероприятий. Комплексная оценка рисков с помощью предложенной модели может способствовать принятию решения по обеспечению эффективных превентивных мер.

#### Заключение

В работе рассмотрены примеры приложения методов искусственного интеллекта для решения разнообразных задач повышения эффективности в профессиональном спорте. Они свидетельствуют о том, что искусственный интеллект является незаменимым помощником спортсменам, тренерам и спортивным руководителям на пути достижения высоких результатов.

13. Komar, J., R. Herault, L. Seifert. Key point selection and clustering of swimmer coordination through Sparse Fisher-EM. ECML/PKDD 2013 Workshop on Machine Learning and Data Mining for Sports Analytics
14. Fisher, E.M., C. Bouveyron, C. Brunet. Simultaneous model-based clustering and visualization in the fisher discriminative subspace. *Statistics and Computing*, 2012, 22 (1):301–324
15. Silva, A. J., A. M. Costa, P.M. Oliveira, V.M. Reis, J. Saavedra, J. Perl, A. Rouboa, D.A. Marinho. The use of neural network technology to model swimming performance *Journal of Sports Science and Medicine* 2007, 6 (1), 117–125
16. Lees, A. Technique analysis in sports: a critical review. *Journal of Sports Science*, 2002, 20 (10), 813–828.
17. Linder, R., E.I. Mohamed, A. De Lorenzo, S. J. Poppl. The capabilities of artificial neural networks in body composition research. *Acta Diabetol*, 2003, 40 (Suppl 1): S9-S14
18. Hahn, M. E. Feasibility of estimating isokinetic knee torque using a neural network model. *Journal of Biomechanics*, 2007, 40 (5):1107–1114
19. Hohmann, A., J. Edelmann-Nusses, B. Hennerberg. Modeling and prognosis of competitive performance in elite swimming. XIX International Symposium on Biomechanics in Sports, 2001, San Francisco, Proceedings:54–57
20. Novatchkov, H. and A. Baca. Artificial Intelligence in Sports on the Example of Weight Training. *Journal of Sports Science and Medicine*. 2013, 12 (1): 27–37
21. Baca, A., P. Kornfeind, E. Preuschl, S. Bichler, M., Tampier, H. Novatchkov. A server-based Mobile Coaching system. 2010, 10 (12): 10640–10662
22. Lamb, P., R. Bartlett, A. Robins. Self-Organising Maps: An Objective Method for Clustering Complex Human Movement. *International Journal of Computer Science in Sport*, 2010, 9 (1): 20–29.
23. Schmidt, A. Movement pattern recognition in basketball free-throw shooting. *Human Movement Science*. 2012, 31 (2):360–382
24. Schöllhorn, W. I., B. Nigg, D. J. Stefanyshyn, W. Liu. Identification of individual walking patterns using time discrete and time continuous data sets. *Gait and Posture*, 2002, 15 (2), 180–186.
25. Chow, J. Y., K. Davids, C. Button, M. Koh, Coordination changes in a discrete multi-articular action as a function of practice. *Acta Psychologica*, 2008, 127 (1):163–76
26. Fischer, A., M. Do, T. Stein, T. Asfour, R. Dillmann, H. Schwameder. Recognition of individual kinematic patterns during walking and running — A comparison of artificial neural networks and support vector machines. *International Journal of Computer Science in Sport*. 2011, 10 (1): 63–67.
27. Khantanapoka, K. and P. Nilsook. New concept of strategy instructional design in sport science education using statistic analysis together with game simulation. The 9th International Conference on Developing Real-Life Learning Experience: Innovation and Technology Education.
28. Hughes, M., Franks, I.M. *Notational Analysis of Sport: Systems for Better Coaching and Performance in Sport*. Psychology Press, 2004
29. Hughes, M., I.M. Franks, I.M. Notational analysis — a review of the literature. In M.D. Hughes & I.M. Franks (Eds.), *Notational analysis of sport* (2nd ed., pp. 59–106). 2004, London: Routledge
30. Hughes, M. Examples of notation systems. In M. Hughes & I.M. Franks (Eds.), *The essentials of performance analysis. An introduction* (pp. 111–149). 2008, London: Routledge.
31. Haase, J., U. Brefeld. Finding Similar Movements in Positional Data Streams. *Machine Learning and Data Mining for Sports Analytics ECML/PKDD 2013 workshop*, 27 September 2013, Prague, Czech Republic
32. Vlachos, M., D. Gunopulos, G. Das. Rotation invariant distance measures for trajectories. In *Proceedings of the International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 2004: 707–712
33. Rabiner, L., B.H. Juang. *Fundamentals of speech recognition*. PrenticeHall, Inc., Upper Saddle River, NJ, USA, 1993
34. Gionis, A., P. Indyk, R. Motwani. Similarity search in high dimensions via hashing. In *Proceedings of the 25th International Conference on Very Large Data Bases*, 1999: 518–529
35. Bedford, A., T. Barnett, M. Ladds. Risk Taking in Badminton to Optimize in-therun Performance. In *Proceedings of the Second International Conference on Mathematics in Sport*, IMA Sport, 2009
36. Glöckner, A., A. Bröder Processing of recognition information and additional cues: A model-based analysis of choice, confidence, and response time. *Judgment and Decision Making*, 2001, 6 (1): 23–42
37. Glöckner, A., T. Betsch, Modeling option and strategy choices with connectionist networks: Towards an integrative model of automatic and deliberate decision making. *Judgment and Decision Making*, 2008, 3 (3):215–228.
38. Glöckner, A., A.K. Herbold. An eye-tracking study on information processing in risky decisions: Evidence for compensatory strategies based on automatic processes. *Journal Of Behavioral Decision Making* 2001, 24 (1):71–98
39. Glöckner, A., T. Betsch, N. Schindler. Coherence shifts in probabilistic inference tasks. *Journal of Behavioral Decision Making*, 2010, 23 (5):439–462.

40. Glöckner, A., T. Heinen, J.G. Johnson, M. Raab. Network approaches for expert decisions in sports. *Human Movement Science*, 2012, 31 (2):318–333
41. Buscema, M.. Theory of Constraint Satisfaction Neural Networks. *Intelligent Data Mining in Law Enforcement Analytics*. 2013, 215–229
42. Van Maanen, L., H. Van Rijn, H. An accumulator model of semantic interference. *Cognitive Systems Research* 2007, 8 (3), 174–181.
43. Raab, M., J. Johnson, Expertise-based differences in search and option-generation strategies. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 2007, 13 (3):158–170
44. Pfeiffer, M., A. Hohmann. Applications of neural networks in training science. *Human Movement Science*, 2012, 31 (2):344–359
45. Kohonen, T. Self-Organized Formation of Topologically Correct Feature Maps, *Biological Cybernetics*, 1982, 43 (1): 59–69
46. Grunz, A., D. Memmert, J. Perl. Tactical pattern recognition in soccer games by means of special self-organizing maps, *Human Movement Science*, 2012, 31 (2):334–343
47. Jäger, J.M., W.I. Schöllhorn., Identifying individuality and variability in team tactics by means of statistical shape analysis and multilayer perceptrons. *Human Movement Science*, 2012, 31 (2):303–317.
48. Fuster-Parra, P., A. García-Mas, F.J. Ponseti, F.M. Leo. Team performance and collective efficacy in the dynamic psychology of competitive team: A Bayesian network analysis. *Human Movement Science*, 2015, 40: 98–118
49. Kampakis, S.. Comparison of machine learning methods for predicting the recovery time of professional football players after an undiagnosed injury. *Machine Learning and Data Mining for Sports Analytics ECML/PKDD 2013 workshop*, Prague, Czech Republic
50. Lavrač, N. Selected techniques for data mining in medicine. *Artificial Intelligence in Medicine*, 1999, 16 (1):3–23
51. Zelič I, I. Kononenko, N. Lavrac, V. Vuga. Induction of decision trees and Bayesian classification applied to diagnosis of sport injuries. *J Med Syst* 1997;21 (6):429–44
52. Zelic I, I. Kononenko, N. Lavrac, V. Vuga. Machine learning applied to diagnosis of sport injuries. · *Artificial Intelligence in Medicine · Lecture Notes in Computer Science*, 1997, 1211:138–141.
53. Dimitrova, L., K. Petkova, Modeling injury risk for pre-elite rhythmic gymnasts: Bayesian network approach, *EIIC — The 2nd Electronic International Interdisciplinary Conference*, Volume: 2, 2013
54. Dimitrova, L., K. Petkova, A Bayesian network application for estimating the injury risk for pre-elite rhythmic gymnasts», *Informatics & IT Today*, 2014, 2 (1):1–11
55. Dimitrova, L., K. Petkova. Estimating injury risk for elite rhythmic gymnasts with a Bayesian network model», *ICTIC — Proceedings in conference of informatics and management sciences*, 2014, Vol. 3
56. Dimitrova, L., K. Petkova, Modeling injury rate in women artistic gymnastics with a Bayesian network, *Proceedings in GV — Global Virtual Conference*, 2014, Vol. 2
57. Dimitrova, L., K. Petkova, Bayesian network-based causal analysis of injury risk in elite rhythmic gymnastics, *International Journal of Computer Science and Software Engineering (IJCSSE)*, 2014, 2 (1): 50–61
58. Dimitrova, L., K. Petkova, Analysis and assessment of injury risk in female gymnastics: Bayesian Network approach, *TEM Journal*, 2015, 4 (1):83:91
59. Tepas, J. Data Mining: Childhood Injury Control and Beyond. *The Journal of TRAUMA® Injury, Infection, and Critical Care*, 2009, 67 (2), August Supplement: S108-S110
60. Dombi, G.W., P. Nand, J.M. Saxe, A.M. Ledgerwood, C.E. Lucas. Prediction of Rib Fracture Injury Outcome by an Artificial Neural Network *J Trauma*. 1995, 39 (5):915–21.
61. Miles, J. W., G. R. Barrett. Rib Fractures in Athletes,. *Sports Medicine*, 1991, 12 (1): 66–69
62. Alonso, F., J.P. Caraca-Valente, A.L. González, C. Montes. Combining expert knowledge and data mining in a medical diagnosis domain. *Expert Systems with Applications*, 2002, 23 (4): 367–375
63. Fos, P.J., J.R. Pinkham, D.N. Ranalli. Prediction of sports-related dental traumatic injuries *Dental Clinics of North America*. 2000;44 (1):19–33
64. Ranalli, D.N. Sports dentistry and dental traumatology. *Dental Traumatology*, 2002, 18 (5):231–236
65. Fomin, R. Prediction of Overall Team Performance and Injury in Team Sports 2014 BayesiaLab User Conference Presentations
66. Sethi, I., N. Patel. Multimedia Data Mining: An Overview. *Multimedia Data Mining and Knowledge Discovery*. 2007: 14–41
67. Manjunath R, S. Balaji. Review and Analysis of Multimedia Data Mining Tasks and Models. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*. 2014, 2 (Special Issue 2):124–130
68. Duan, L. Y., M. Xu, Q. Tian, C.S. Xu, J.S. Jin, A unified framework for semantic shot classification in sports video, *Multimedia*, *IEEE Transactions on*, 2005, 7 (6): 1066–1083



69. Wang, F., Y.F. Ma, H.J. Zhang, J. Li A Generic Framework for Semantic Sports Video Analysis Using Dynamic Bayesian Networks. *Multimedia Modelling Conference, 2005 Proceedings of the 11th International*: 115–122
70. Wang, J., J. Cheng, S. Jiang. *Computer vision for multimedia applications: methods and solutions*. Hershey, PA: Information Science Reference, ©2011.
71. Gelly, S., N. Bredeche, M. Sebag. From Factorial and Hierarchical HMM to Bayesian Network: A Representation Change Algorithm. *Abstraction, Reformulation and Approximation. Lecture Notes in Computer Science, 2005, Volume 3607*:107–120
72. Sinha, S., C. Dyer, K. Gimpel, N. A. Smith Predicting the NFL Using Twitter. *Machine Learning and Data Mining for Sports Analytics ECML/PKDD 2013 workshop, Prague, Czech Republic*
73. Weissbock, J., H. Viktor, D. Inkpen Use of Performance Metrics to Forecast Success in the National Hockey League. *Machine Learning and Data Mining for Sports Analytics ECML/PKDD 2013 workshop, Czech Republic*
74. Shi, Z., S. Moorthy, A. Zimmermann Predicting NCAAAB match outcomes using ML techniques — some results and lessons learned. *Machine Learning and Data Mining for Sports Analytics ECML/PKDD 2013 workshop, 2013, Prague, Czech Republic*
75. Anyama, O. U., C. P. Igiri, An Application of Linear Regression & Artificial Neural Network Model in the NFL Result Prediction, *International Journal of Engineering Research & Technology, 2015, 4 (1):457–461*
76. Smith, L., B. Lipscomb, A. Simkins, Data mining in sports: predicting Cy Young award winners, *Journal of Computing Sciences in Colleges, 2007, 22 (4): 115–121*
77. Sparks, R., D. Abrahamson, A mathematical model to predict award winners, *Math Horizons, 2005, 5–13*.
78. James, B. E = M Cy squared, *The Neyer/James Guide to Pitchers*, James, B. and Neyer, R. (eds.), New York: Simon and Schuster, 2004: 467–471
79. Ruiz, F.J. R., F. Perez-Cruz. A generative model for predicting outcomes in college basketball. *Journal of Quantitative Analysis in Sports, 2015, 11 (1): 39–52*
80. Hoegh, A., M. Carzolio, I. Crandell, X. Hu, L. Roberts, Y. Song, S. C. Leman. Nearest-neighbor matchup effects: accounting for team matchups for predicting March Madness. *Journal of Quantitative Analysis in Sports, 2015, 11 (1): 29–37*
81. Saikia, H., D. Bhattacharjee An Application Of Multilayer Perceptron Neural Network To Predict The Performance Of Batsmen In Indian Premier League, *International Journal of Research in Science and Technology, 2014, 1 (1):6–15*
82. Dadelo, S., Z. Turskis, E. K. Zavadskas, R. Dadeliene. Multi-criteria assessment and ranking system of sport team formation based on objective-measured values of criteria set. *Expert Systems with Applications, 2014,*
83. Wu, D., D. L. Olson. A TOPSIS Data Mining Demonstration and Application to Credit Scoring. *International Journal of Data Warehousing & Mining, 2006, 2 (3): 1–10*
84. Jiang, W., X. Zhong, K. Chen, S. Zhang. A Data Classifier Based on TOPSIS Method. *Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, 2007. FSKD 2007. Fourth International Conference on, Vol. 1:702–706*
85. Merigó, J. M., A. M. Gil-Lafuente. Decision-making in sport management based on the OWA operator. *Expert Systems with Applications, 2011, 38 (8): 10408–10413*
86. Tavana, M., F. Azizi, F. Azizi, M. Behzadian, A fuzzy inference system with application to player selection and team formation in multi-player sports, *Sport Management Review, 2013, 16 (1): 97–110*
87. Papić, V., N. Rogulj, V. Pleština. Identification of sport talents using a web-oriented expert system with a fuzzy module. *Expert Systems with Applications, 2009, 36 (5):8830–8838*
88. Acikkar, M., M. F. Akay Support vector machines for predicting the admission decision of a candidate to the School of Physical Education and Sports at Cukurova University. *Expert Systems with Applications, 2009, 36 (3), Part 2: 7228–7233*
89. Wicker, P., C. Breuer Analysis of problems using Data Mining techniques — findings from sports clubs in Germany, *European Journal for Sport and Society 2010, 7 (2):131–140*
90. Liao, S. H., J. L. Chen, T. Y. Hsu. Ontology-based data mining approach implemented for sport marketing. *Expert Systems with Applications, 2009, 36 (8):11045–11056*
91. Deli, H. Q. Jun. The risk evaluation of large-scale sports events based on Bayesian network. *Emergency Management and Management Sciences (ICEMMS), 2010 IEEE International Conference: 538–541*
92. WEKA <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>
93. RapidMiner <https://rapidminer.com/>

## Механизмы отладки кода

Бутенко Вероника Вячеславовна, аспирант;  
Бутенко Дмитрий Сергеевич, аспирант  
Государственный морской университет имени Ф.Ф. Ушакова (г. Новороссийск)

*Отладка — важный этап разработки ПО, на котором обнаруживают, локализируют и устраняют ошибки. Не менее важен инструмент отладки и понимание принципов его работы.*

### Введение

Отладчик — это инструмент анализа программ в реальном времени, позволяющий выполнять пошаговую трассировку, отслеживать значения переменных в процессе выполнения программы, обрабатывать точки прерывания, манипулировать таблицами символов и т. д. [1].

Всё семейство отладчиков можно разделить на три группы: отладчики режима пользователя, отладчики режима ядра и эмулирующие отладчики.

### Отладчики режима ядра

Отладчики этой группы взаимодействуют с ядром процессора. Фактически отладчик режима ядра глобально перехватывает системные функции, которые отвечают за доступ к памяти, создание и завершение процессов. Используют они регистры отладки [2].

Регистры отладки введены в процессоры начиная с Intel 80386. Они являются привилегированным ресурсом и доступны программе либо в режиме реальной адресации, либо в защищённом режиме с наивысшим уровнем привилегий (CPL = 0).

Всего существует восемь регистров отладки (DR0 — DR7). Они позволяют ставить контрольные точки на чтение и запись областей памяти и портов ввода-вывода.

DR7 является управляющим регистром, координирующим работу точек останова.

Биты 0–7 (Li/Gi) — разрешения локальных и глобальных контрольных точек.

Биты 8–9 (Le/Ge) — соответствие контрольных точек данных.

Бит 13 (GD) — предназначен для защиты отладчика (запрет доступа к регистрам отладки).

Биты 18–19, 22–23, 26–27, 30–31 (LENi) — задают длину проверяемого значения для каждой контрольной точки.

Биты 16–17, 20–21, 24–25, 28–29 (Rwi) — задают для каждой контрольной точки тип действия, при котором она должна сработать.

Биты 10–12, 14–15 — зарезервированы.

DR6 содержит информацию о том, какая из точек останова вызвала особую ситуацию отладки.

Биты 0–3 (B0 — B3) — устанавливаются при встрече соответствующей контрольной точки.

Бит 13 (BD) — устанавливается когда следующая команда читает или записывает один из отладочных регистров.

Бит 14 (BS) — устанавливается, если ловушка отладки генерируется из-за включенного пошагового режима.

Бит 15 (BT) — устанавливается перед входом в обработчик прерываний отладки.

Биты 4–12, 16–31 — зарезервированы.

DR5 — DR4 зарезервированы, любая попытка доступа к этим регистрам будет сопровождаться бп прерыванием (неопределённый код операции).

DR3 — DR0 содержат линейные адреса четырёх точек останова. Сравнение этих адресов производится до трансляции физического адреса. Каждая из четырёх точек останова отдельно описывается в регистре DR7.

Также в целях отладки используются некоторые специальные регистры MSR. Эти регистры не являются стандартными, их количество и назначение различны в различных моделях процессора. Как правило это регистры DebugCtlMSR (управляющий регистр), LastBranchToIP, LastBranchFromIP (регистры адресов последнего перехода, прерывания или особой ситуации), LastExceptionToIP, LastExceptionFromIP (регистры адресов последнего перехода перед последним прерыванием, особой ситуацией).

### Отладчики режима пользователя

Отладчики этой группы используют отладочный интерфейс прикладного программирования Debugging API и взаимодействуют с процессором через операционную систему.

Этот интерфейс позволяет создать событийно-управляемый отладчик. Это значит, что такой отладчик будет получать управление с возникновением некоторого события в процессе отладки.

### Принципы взаимодействия с Debugging API

Debugging API позволяет загрузить программу, подключиться к ней для отладки, получить низкоуровневую информацию (ID процесса, адрес входной точки и т. д.), получить уведомления о запуске или уничтожении процесса.

Чтобы создать процесс для отладки, необходимо вызвать функцию CreateProcess с флагом DEBUG\_PROCESS. Windows будет посылать уведомления о важных отладочных событиях, которые происходят в отлажива-

емом процессе. Он будет немедленно заморожен, пока программа не выполнит то, что должна. Если отлаживаемый процесс создаст дочерние процессы, Windows также будет посылать уведомления о происходящих в них отладочных событиях. Отключить эту возможность можно заменив флаг `DEBUG_PROCESS` на `DEBUG_ONLY_THIS_PROCESS`.

Подсоединиться к уже выполняющемуся процессу возможно с помощью функции `DebugActiveProcess`.

Когда процесс создан или присоединён, он замораживается, пока программа не вызовет `WaitForDebugEvent`. Функция блокирует вызывающий поток, пока не произойдет ожидаемое событие или не истечёт заданный временной интервал. Для продолжения выполнения отлаживаемого процесса служит функция `ContinueDebugEvent`. Она продолжает выполнение потока, который был остановлен произошедшим событием. Подобный цикл должен повторяться пока отлаживаемый процесс не завершится.

Как только начнётся отладка программы, отсоединиться от процесса будет невозможно до его завершения.

Так как в одно и тоже время может быть запущено несколько программ, Windows даёт каждому потоку небольшой временной интервал, по истечению которого поток замораживается и запускается следующий, согласно приоритету. Но перед тем как запустится другой поток, Windows сохраняет значения регистров текущего.

Когда случается отладочное событие, Windows замораживает отлаживаемый процесс, сохраняя значения регистров. Получить эти значения возможно с помощью функции `GetThreadContext`, а изменить их функцией `SetThreadContext` [3].

### **Трассировка отлаживаемого процесса**

Пошаговая отладка, или трассировка, — это возможность предоставленная самим процессором. Восьмой бит регистра флагов называется `trap`-флаг. Если этот флаг (бит) установлен, процессор работает в пошаговом режиме. Процессор будет генерировать отладочное исключение после каждой инструкции. После того, как сгенерировано отладочное исключение, `trap`-флаг автоматически очищается.

Для перехода в пошаговый режим вызываем `GetThreadContext`, указав `CONTEXT_CONTROL` в `ContextFlags`, чтобы получить значение флагового регистра. Устанавливаем `trap`-бит в поле `regFlag` структуры `CONTEXT`. Вызываем `SetThreadContext`. Ждем отладочного события. Отлаживаемый процесс будет запущен в по-

шаговом режиме. После выполнение каждой инструкции будут получены значение `EXCEPTION_DEBUG_EVENT`, `EXCEPTION_SINGLE_STEP` и `trap`-флаг очистится. Для трассировки следующей функции необходимо установить `trap`-флаг снова [4].

### **Эмулирующие отладчики**

Эмулирующий отладчик — это отладчик, который самостоятельно интерпретирует и выполняет команды программы. Такой отладчик эмулирует выполнение всех потенциально опасных действий, которые программа может использовать для выхода из-под контроля исследователя. Однако основная проблема создания эмулирующих отладчиков заключается в том, что иногда им приходится эмулировать реальное периферийное оборудование, а это чрезвычайно сложная задача

Эмулирующие отладчики находятся ниже виртуального процессора, для отлаживаемого процесса они совершенно невидимы. Кроме того, они не используют никаких ресурсов эмулируемого процессора. А благодаря дополнительному кольцу защиты, работая в котором гипервизор может перехватывать все события, требующие внимания с его стороны [5].

Эмулирующий отладчик интерпретирует и выполняет машинные инструкции программы (например, вместо `mov bx, 4` они присваивают переменной, соответствующей регистру `bx` — скажем, `reg_bx` — число 4). Существуют также отладчики с неполной эмуляцией, которые эмулируют только опасные команды, а остальные выполняют на реальном процессоре.

Такие отладчики нейтрализуют практически все методы противодействия отладке: блокировку прерываний и устройств, работу с контроллерами через порты, подсчеты контрольных сумм для выявления контрольных точек, контроль стека, а также, методы основанные на особенностях процессора и DOS.

### **Заключение**

Отладчик является активным инструментом и позволяет проследить процесс выполнения по шагам, получая в любой момент всю информацию о текущем состоянии программы или вносить изменения в порядок ее выполнения. Важно понимать механизм его работы, хотя бы для того, чтобы понимать как выполняется программа и как повлиять на процесс её выполнения, замораживая процессы, потоки и изменяя его алгоритм.

### **Литература:**

1. Отладчик ядра [Электронный ресурс] URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Отладчик\\_ядра](https://ru.wikipedia.org/wiki/Отладчик_ядра)
2. Архитектура и система команд микропроцессоров x86 [Электронный ресурс] URL: <http://www.club155.ru/programming/>
3. Basic Debugging. Debugging Reference [Электронный ресурс] URL: <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/ms679276%28v=vs.85%29.aspx>

4. Win32 API—Debugging API [Электронный ресурс] URL: <http://www.wasm.ru/wault/article/show/1001028>
5. Искусство дизассемблирования. К. Касперски, Е. Рокко. СПб.: БХВ — Петербург, 2008. — 896 стр. ISBN 978—5-9775—0082—1
6. Программирование на ассемблере на платформе x86—64. Аблязов Р. СПб.: ДМК Пресс, 2011. — 304 стр. ISBN 978—5-94074—676—8
7. Ассемблер — это просто. Калашников О. СПб.: БХВ — Петербург, 2011. — 336 стр. ISBN 978—5-9775—0591—8
8. Реверсинг и защита программ от взлома. Панов А. СПб.: БХВ — Петербург, 2006. — 207 стр. ISBN 5—94157—889—7
9. Создание защищённых от вторжения прикладных программ. Джеймс К., Прайс М. СПб.: ДМК Пресс, 2009. — 457 стр. ISBN 978—5-94074—466—5
10. Программирование на ассемблере. Одинокое В., Колубинский В. СПб: Горячая Линия — Телеком, 2011. — 312 стр. ISBN 978—5-99—12—0162—9
11. Assembler. Программирование на языке ассемблера IBM PC. Пильщикова В. СПб.: Диалог МИФИ, 2005. — 301 стр. ISBN 5—86404051—7
12. Ассемблер для Win32. Галисеев Г. СПб.: Вильямс, 2007. — 368 стр. ISBN 978—5-8459—11—97—1

## Применение видеоусиления Эйлера для замера пульса человека

Захаров Александр Сергеевич, студент

Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева

Устройства, с помощью которых проводятся проверки персонала — детекторы лжи, бывают нескольких видов. Они могут иметь различное количество датчиков и динамик, разные схемы обработки и фильтрации сигналов и несколько диапазонов восприятия сигналов. Точность съема информации также отличается. Именно по ним полиграфолог делает свои выводы по поводу того, лжет человек или нет.

Некоторые полиграфы, по сути, не являются таковыми, так как они просто усиливают электросигналы и работают от программного обеспечения. Они часто выходят из строя, дают сбой и не всегда точно адаптируют результаты. Другие приборы имеют свое программное обеспечение, для которого не нужны специальные знания по установке и т. п. В полиграфе может быть тоническая составляющая, которая преобразует информацию в цифровое значение, а не в графическое. Цифры, в какой-то мере, легче интерпретировать и сравнивать, нежели графики. По этим показателям можно сравнивать и точность приборов.

Детекторы лжи с высокой точностью показателей помогают понять, что происходит внутри у человека, которого тестируют на полиграфе. Также они позволяют специалисту-полиграфологу объективнее выражать свое мнение по поводу результатов теста.

При использовании стандартных полиграфов возникает множество проблем [1]:

1) Человек, производящий тест на детекторе лжи, должен пройти специальное обучение, которое на сегодняшний день стоит немалых денег.

2) У каждого полиграфа огромное количество всевозможных датчиков, которые сковывают испытуемого, что может негативно сказаться на результатах.

3) Сами полиграфы имеют внушительные размеры и не менее внушительные цены, что также заставляет задуматься о его необходимости.

Однако технологии не стоят на месте и постоянно разрабатываются методы и алгоритмы, позволяющие произвести замер пульса человека меньшими усилиями, в следствие чего далее речь пойдет о методе видеоусиления Эйлера.

Данный метод позволяет выявить временные вариации в видео, которые почти невозможно увидеть невооруженным глазом, так как человеческая зрительная система имеет ограниченную пространственно-временную чувствительность. Таким образом, с применением видеоусиления Эйлера можно, например, визуализировать поток крови, заполняющий лицо.

Для определения пульса человека необходимо:

1. Разбить видеопоток на последовательность кадров (фреймов)

2. Отфильтровать кадры от шумов

3. Отфильтровать диапазон частот колебаний цвета пикселей в котором может быть пульс

4. Усилить отфильтрованные изменения нужных частот и наложить усиленный сигнал на входные фреймы.

Схема работы данного метода представлена на рис. 3.

При обработке видеопотока образуются шумы, для фильтрации которых нужно:

1. Построить пирамиду Гаусса для кадра [2]

2. Для расчетов последовательности кадров использовать 3—4 уровни пирамиды.

Пирамида Гаусса представлена на рис. 4.

Из частотного спектра мы выделяем 0.4—4Гц, что соответствует 24—240 ударам в минуту.

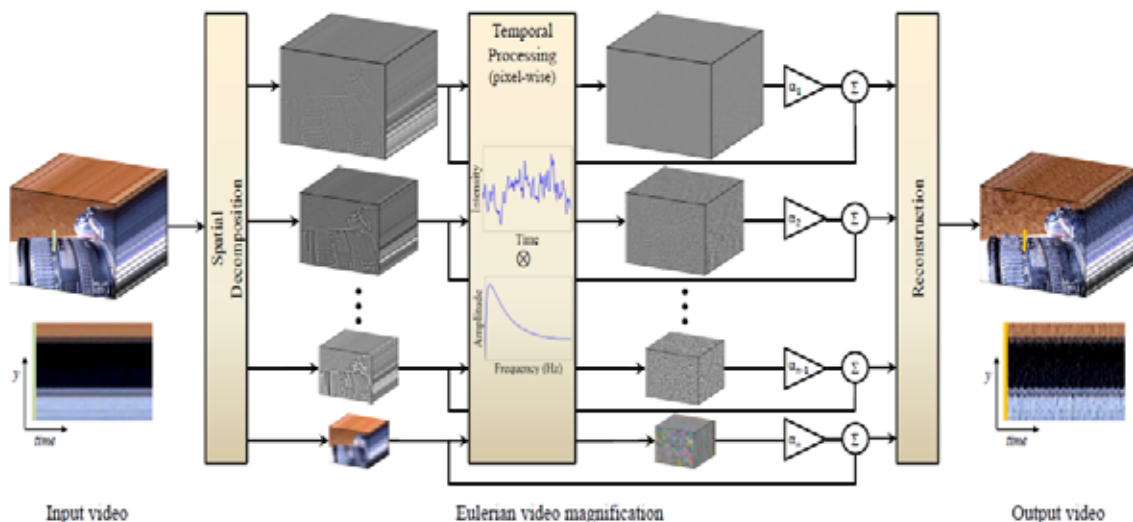


Рис. 3. Схема работы видеоподсиления Эйлера

Таким образом, кадр результирующего видео получается:

$$\text{кадр результата} = \text{кадр 1} + \text{кадр 2}$$

где кадр1 — это кадр входного видео, кадр2 — это кадр отфильтрованной по частотам последовательности умно-

женный на коэффициент  $a$ ,  $a$  — это числовой коэффициент, который выбирается с учетом частот отфильтрованной последовательности.

Входная и выходная последовательность кадров представлена на рис. 5.

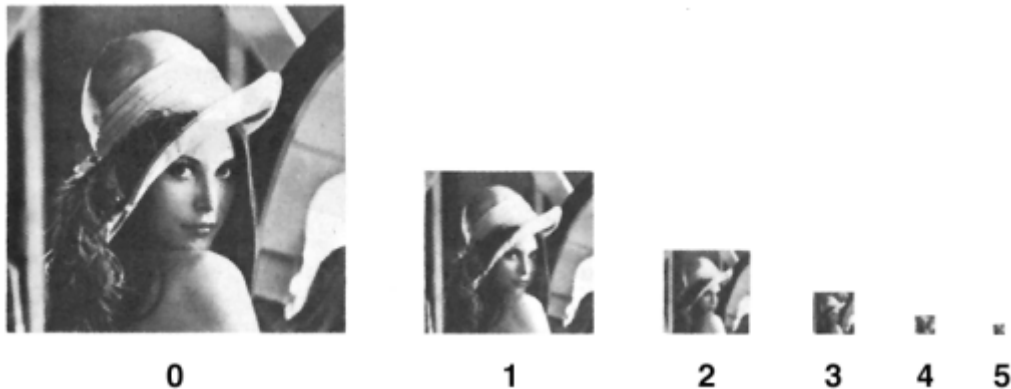


Рис. 4. Пирамида Гаусса



Рис. 5. Входная и выходная последовательность кадров

Нельзя не отметить достаточно высокую точность измерения пульса данным методом, для которого не требуется никаких дополнительных датчиков, а нужна лишь веб-ка-

мера и специальное программное обеспечение, что позволяет существенно снизить затраты.

#### Литература:

1. [www.detectorrussia.ru](http://www.detectorrussia.ru) — материалы сайта
2. Peter, J. Burt, Edward H. Adelson, The laplacian pyramid as a compact imagecode//URL: [https://www.cs.tau.ac.il/~hezy/Vision %20Seminar/pyramid83. pdf](https://www.cs.tau.ac.il/~hezy/Vision%20Seminar/pyramid83.pdf) (ссылка проверена 20 декабря 2014)

## Учет успеваемости студентов вуза средствами VBA в системе Excel

Зинова Ольга Викторовна, ассистент;  
Щепотьева Юлия Григорьевна, студент;  
Валиева Эльвина Ильшатовна, студент  
Бирский филиал Башкирского государственного университета

Приложения комплекта Microsoft Office используются повсеместно.

С самого начала офисные продукты корпорации Microsoft имели средства программного управления своей работой. Последние версии Microsoft Office позиционируются именно как среда разработки конкретных офисных приложений. Тем не менее, практические наблюдения показывают, что продукты Microsoft Office редко используются для разработки приложений.

Многие задачи Microsoft Office позволяет выполнять и без программирования, однако одним из наиболее важных и полезных его свойств является возможность автоматизации процессов взаимодействия пользователя и приложений Microsoft Office, которая позволяет решать практически все современные бизнес-задачи: от создания простых документов до полной автоматизации документооборота с использованием систем управления базами данных. Это обстоятельство связано с тем, что все приложения Microsoft Office поддерживают язык программирования Visual Basic for Applications (VBA), совместимый с Visual Basic 6.

Указанные возможности Microsoft Office и языка VBA были использованы при создании приложения, которое позволяет автоматизировать выполнения наиболее трудоемких задач по анализу результатов сессий.

Данное приложение состоит из шести книг: общая книга, 1–5 курс (рис. 1).

Книги 1–5 курс («1 курс. xlsx» — «5 курс. xlsx») 5 предназначены для ввода и корректировки всей исходной информации по соответствующему курсу. Общая книга («общая. xlsx») используется для автоматизированной обработки введенной информации.

Рассмотрим состав и назначение всех книг приложения.

Каждая из книг 1–5 курс состоит из определенного количества листов в зависимости от количества групп на курсе.

На листах «1», «2» и т. д. (рис. 2) записывается информация о студентах и их оценках за время учебы в ВУЗе. Каждый лист предназначен для одной группы. В первой строке этих листов указывается номера курсов, во второй номера семестров (с 1-го по 10-й).

В третьей строке перечисляются предметы, по которым студенты сдают зачеты и экзамены в конце каждого семестра, четвертая строка предназначена для ФИО преподавателя ведущий этот предмет в данном семестре. В шестой строке указана форма отчетности по данному предмету. На каждый семестр отведено по 15 столбцов.

После ввода всей исходной информации, т. е. после заполнения книг 1–5 курс, необходимо открыть «Общую книгу» (рис. 3).

Данная книга состоит из шести листов: «титульный», «список задолжностей», «успеваемость по преподавателям», «успеваемость по группам», «список отличников», «стипендия». На листе «титульный» расположены списки групп по курсам и кнопка «формирование



Рис. 1. Структура приложения

Рис. 2. Книга «1 курс»

отчетов». При нажатии на которую появляется форма (рис. 4).

С помощью элементов управления, расположенных на этой форме пользователь может сформировать нужный ему список для выбранных групп. Листы «Список отличников» и «Список задолжников» предназначены для формирования соответствующих списков, на листах «успеваемость по преподавателям», «успеваемость по группам»

выводиться соответствующая успеваемость (рис. 5). На лист «стипендия» выводится список выбранных групп с размерами академической стипендии.

Компонент listbox позволяет выбирать несколько групп. При выборе формирования отчета по преподавателю осуществляется переход на следующую форму (рис. 6). Данная форма позволяет из списка преподавателей выбрать необходимых преподавателей.

курс	группы				
1	1	2	3	4	
2	1	2	3	4	
3	1	2	3	4	5
4	1	2	3	4	5
5	1	2	3	4	

Рис. 3. Общая книга

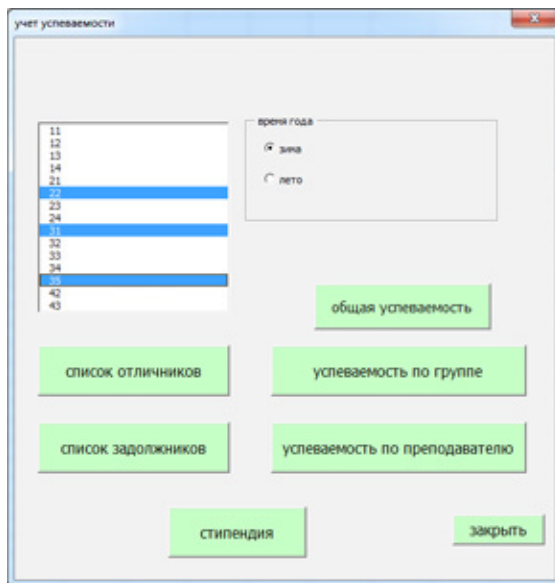


Рис. 4. Форма «учет успеваемости»

Рассмотрим процедуру, которая формирует список отличников. Для данной процедуры кроме передаваемой информации необходимы еще некоторые переменные:

- динамический массив `otlic ()`, в который будут записываться фамилии и инициалы отличников, а также курс и группа;

- `г` — для подсчета оценок отличных от 5 и не сданных зачетов;

- `ii` — для задания размерности динамического массива;

Первоначально `ii=0`.

Процедура `ReDim Preserve otlic (ii,2)` необходима для изменения размерности массива без потери записанных данных.

Сначала просматривается курс, записанный в номере группы первым.

`k = ListBox1.List (ii)`

`k1 = Mid$ (k, 1, 1) + «курс. xlsx»`

`k2 = Mid$ (k, 2, 1)`

Далее открываем книгу с названием курса: `Workbooks.Open (ActiveWorkbook.Path & «\» & k1)`

Высчитываем, с какого столбца начинать проверку оценок: `пп = 4 + Val (Mid$ (k, 1, 1)) * 30 — q * 15`, где `q` — обозначает какую из сессий надо рассматривать (зимнюю — 2, летнюю — 1)

После этого переходим на лист `Worksheets (k2).Activate`.

№	ФИО	предмет	группа	начество	абсолютная
1	Петров Иван Аркадьевич	Алгебра	11	70%	90%
2		Алгебра	12	80%	97%
3		Алгебра	22	87%	97%
4		Алгебра	23	76%	94%
5	Валиева Илена Ильнуровна	Иностранный язык	22	84%	96%
6		Иностранный язык	25	79%	91%
7	Вальмунова Кристина Игоревна	История	11	77%	96%
8		История	12	100%	100%
9		История	13	89%	98%
10		История	14	80%	97%
11		История	12	83%	94%
12	Коскин Игорь Константинович	Математический анализ	13	78%	93%
13		Математический анализ	13	78%	93%
14	Шаймарданова Иленара Ильнуровна	Общая и экспериментальная физика	14	83%	92%
15		Общая и экспериментальная физика	31	79%	93%
16		Спецпрактикум по решению физических задач	12	75%	95%
17	Потраков Максим Витальевич	Педагогика	13	78%	92%
18		Педагогика	22	83%	96%
19		Педагогика	32	80%	94%
20		Педагогическая риторика	32	78%	90%

Рис. 5. Успеваемость по выбранным группам и преподавателям



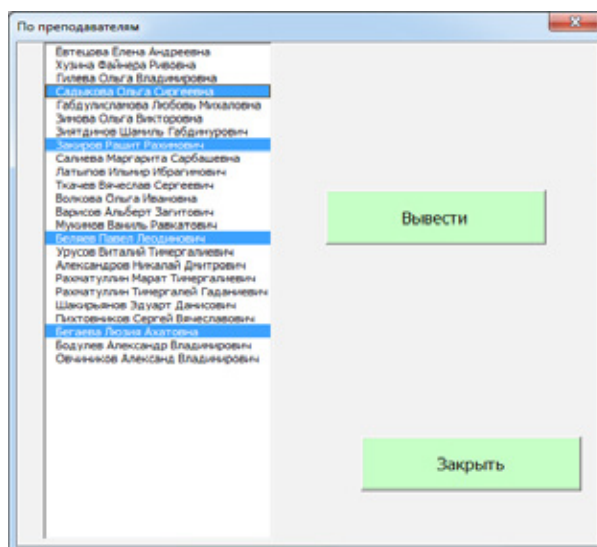


Рис. 6. Форма для выбора преподавателей

Подсчитываем количество оценок, отличных от 5 и не сданных зачетов у каждого студента и если  $g=0$ , заносим фамилию и инициалы этого студента в массив *otlic*:

```

For t = 4 To Cells (1, 1) + 3
  g = 0
  For jj = 4 + Val (Mid$ (k, 1, 1)) * 30 — q * 154 + Val
(Mid$ (k, 1, 1)) * 30 — q * 15 + 15
    If (Cells (t, jj) <>5) And (Cells (t, jj) <>1) And (Cells (t,
jj). Text <>«») Then g=r+1
  Next jj
  If g = 0 Then
    ii = ii + 1
    ReDim Preserve otlic (ii)
    otlic (ii,1) = Cells (k, 2) + «» + Cells (k, 3)
    otlic (ii,2) =k
  End If
Next t

```

В ячейке *Cells (1, 1)* подсчитывается количество студентов в данной группе.

После проверки всего курса происходит закрытие книги с этим курсом: *Workbooks (k1).Close*

#### Литература:

1. Берндт, Г., Каинка Б. «Измерение, управление и регулирование с помощью макросов VBA в Word и Excel» 2008 г.
2. Л.Д. Слепцова Программирование на VBA в Microsoft Office 2010. — М.: Диалектика, Вильямс, 2010, 432 с., самоучитель.

После проверки всех выбранных групп переходим на лист «Список отличников» и заполняем его элементами из массива *otlic*:

```

For i = 1 To ii
  Cells (i + 1, 1) = otlic (i,1)
  Cells (i + 1, 2) = otlic (i,2)
Next i

```

Таким образом, данное приложение позволяет:

- составлять списки отличников и задолжников заданных групп за сессию;
- распределять стипендии;
- выводить успеваемости по группе, по преподавателю или итоговую успеваемость.

Решение данных задач выполняется с помощью процедур, написанных на языке VBA. При разработке данного приложения были использованы макросы, а также различные элементы управления, с помощью которых можно выполнять различные действия с листами и книгами Excel и содержимым ячеек.

Разработанное приложение может быть использовано не только в деканате, но также и в других подразделениях ВУЗа.

## Построение контрольных карт Шухарта с применением Mathcad и Matlab

Кожанов Роман Вячеславович, студент;

Артемова Анастасия Дмитриевна, студент

Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина

Гягяева Александра Геннадиевна, преподаватель

Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Балаковский институт экономики и бизнеса (филиал) (Саратовская обл.)

Кожанова Евгения Романовна, кандидат технических наук, доцент

Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина, Балаковский институт техники, технологии и управления (филиал)

Сорокина Любовь Александровна, кандидат технических наук (г. Балаково, Саратовская обл.)

При организации любого производственного процесса возникает задача установки пределов характеристик изделия, в рамках которых произведенная продукция удовлетворяет своему предназначению. Анализ начинается с регистрации данных измерений в контрольном листке, который позволяет определить частоту повторяемости каждого измеренного значения и форму распределения с целью предварительной оценки распределения. В зависимости от цели проводимого исследования могут быть даны различные графические представления диаграммы, графики, распределения и т. п. (рис. 1). В результате фиксируются отклонения количественных характеристик продукции и на их основе принимаются меры для устранения полученных отклонений, что позволяет осуществить контроль технологического процесса и, как следствие, контроль качества выпускаемой продукции.

Из всех графических представлений о ходе технологического процесса выделяют *контрольные карты*, отражающие текущее состояние процесса, с границами, установленными на основе внутренне присущей процессу изменчивости. *Метод контрольных карт* помогает определить, действительно ли процесс достиг статистически управляемого состояния на правильно заданном

уровне или остается в этом состоянии, а затем поддерживать управление и высокую степень однородности важнейших характеристик продукции или услуги посредством непрерывной записи информации о качестве продукции в процессе производства. Использование контрольных карт и их тщательный анализ ведут к лучшему пониманию и совершенствованию процессов [1].

Наиболее распространенной является *контрольная карта Шухарта*, представляющая собой визуальный инструмент — график изменения параметров процесса во времени, относительно среднего арифметического выборки, линий верхней и нижней границ.

В статьях [2, 3] рассмотрен статистический анализ партии обработанных изделий в *MS Excel* и математическом пакете *Matlab*, на примере измерений внутреннего диаметра детали *Втулки Ø8,5H14* (рис. 3).

На основании выборки (рис. 3) создадим два файла: один — *waitanotherday.txt* — содержит выборку (рис. 3), а второй — *waitanotherday3.txt* — в данной выборке есть два значения, выходящие за пределы  $\pm 3s$ . В качестве расширения был выбран *txt* из-за универсальности этих файлов. Стоит отметить, что в зависимости от программ, использующих числовые данные из *txt* — файлов,



Рис. 1. Точечная диаграмма для контроля устойчивости технологического процесса посредством выборок

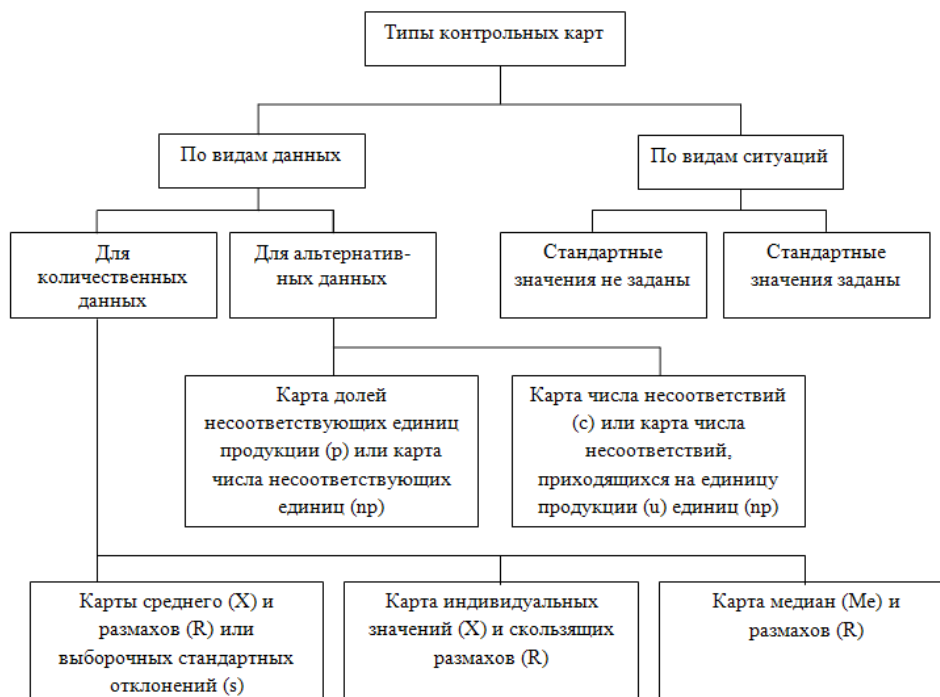
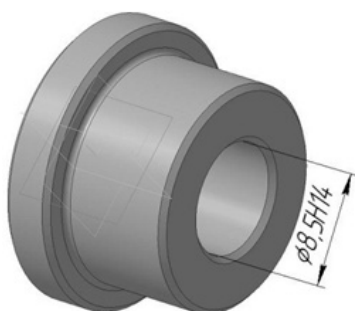


Рис. 2. Типы контрольных карт [1]



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	8,61	8,73	8,82	8,58	8,69	8,82	8,45	8,54	8,80	8,63
2	8,87	8,56	8,34	8,67	8,70	8,74	8,40	8,55	8,64	8,98
3	8,62	8,68	8,72	8,37	8,44	8,67	8,51	8,87	8,59	8,61
4	8,60	8,66	8,76	8,85	8,42	8,28	8,78	8,62	8,57	8,65
5	8,48	8,76	8,65	8,49	8,53	8,77	8,81	8,56	8,84	8,71
6	8,55	8,66	8,68	8,72	8,87	8,46	8,53	8,42	8,75	8,67
7	8,39	8,47	8,83	8,71	8,65	8,57	8,62	8,86	8,69	8,58
8	8,70	8,74	8,64	8,68	8,60	8,58	8,54	8,50	8,71	8,79
9	8,65	8,69	8,70	8,52	8,61	8,75	8,51	8,62	8,78	8,61
10	8,67	8,63	8,82	8,53	8,66	8,59	8,62	8,61	8,66	8,55

Рис. 3. Втулка  $\varnothing 8,5H14$  и выборка по внутреннему диаметру втулки [1]

последние должны быть записаны через десятичную точку (например, 8.75 (*Matlab*)), а для других — через запятую (например, 8,75 (*Mathcad*)).

### Построение контрольной карты Шухарта в *Mathcad*

Для того, чтобы произвести импорт данных из внешних файлов в *Mathcad* существует функция и для ее реализации необходимо выполнить следующие операции: *Insert — Data — File Input*. В появившемся окне выбирается тип файла, в котором хранятся данные, в нашем случае *Text*, а затем, нажав кнопку *Browse*, в диалоговом окне *Read from file* выбирается файл (рис. 4). Импортным данным из файла присваивается переменная, которая имеет размерность в виде таблицы или вектора (верхняя часть рис. 5).

Затем определяется длина выборки с помощью функции *length* и строится контрольные карты для двух

*txt* — файлов с линией среднего арифметического (пунктирная линия) и линиями верхней и нижней границ (штрих-пунктирные линии) (нижняя часть рис. 5). Чтобы изменить контрольную карту необходимо заново осуществить импорт данных из файла (типы файлов перечислены в списке на среднем рисунке рис. 4).

### Построение контрольной карты Шухарта в математическом пакете *Matlab*

В статьях [3, 4] рассмотрены возможности математического пакета *Matlab* для вычисления статистических показателей выборки и логических систем управления.

Рассмотрим два подхода:

А) *Построение с помощью M-файла*. Для этого создается M-файл с помощью последовательностей операций: *File — New — Script*. В появившемся окне запи-

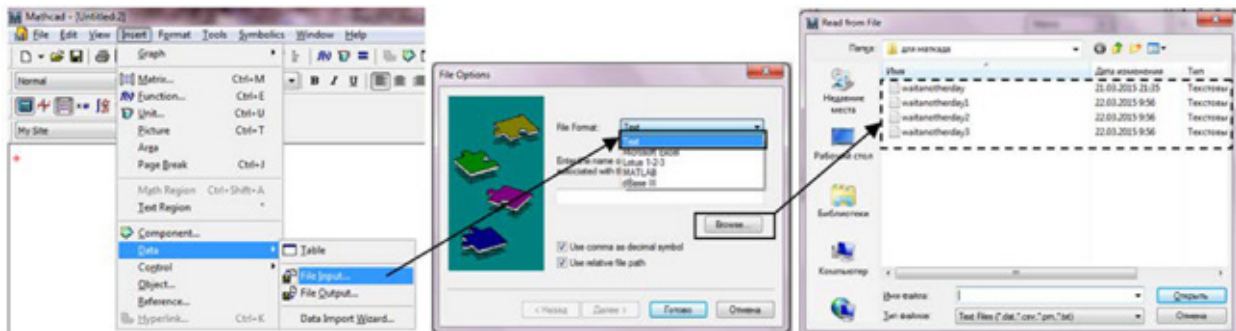


Рис. 4. Импорт данных из текстовых файлов .txt в Mathcad

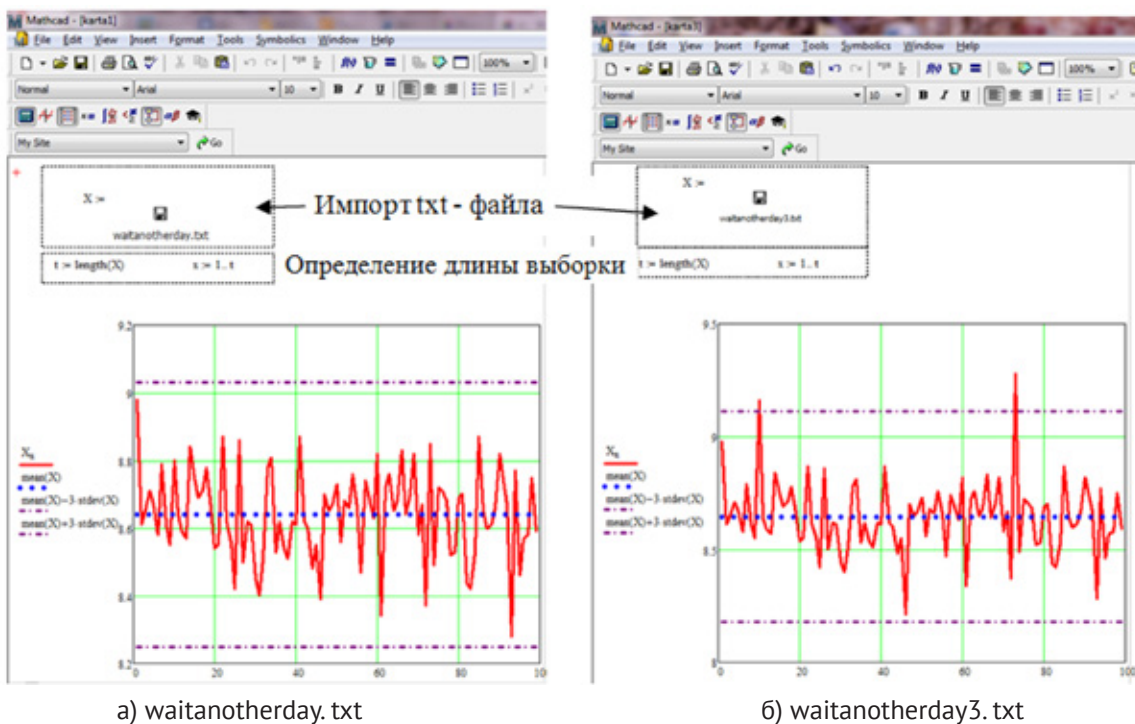


Рис. 5. Листинги и контрольные карты Шухарта в Mathcad для двух txt – файлов

сывается программа (2; рис. 6а) и после ее выполнения появляется окно с контрольной картой Шухарта (3; рис. 6а), а в области Command Windows — результаты расчетов (1; рис. 6а).

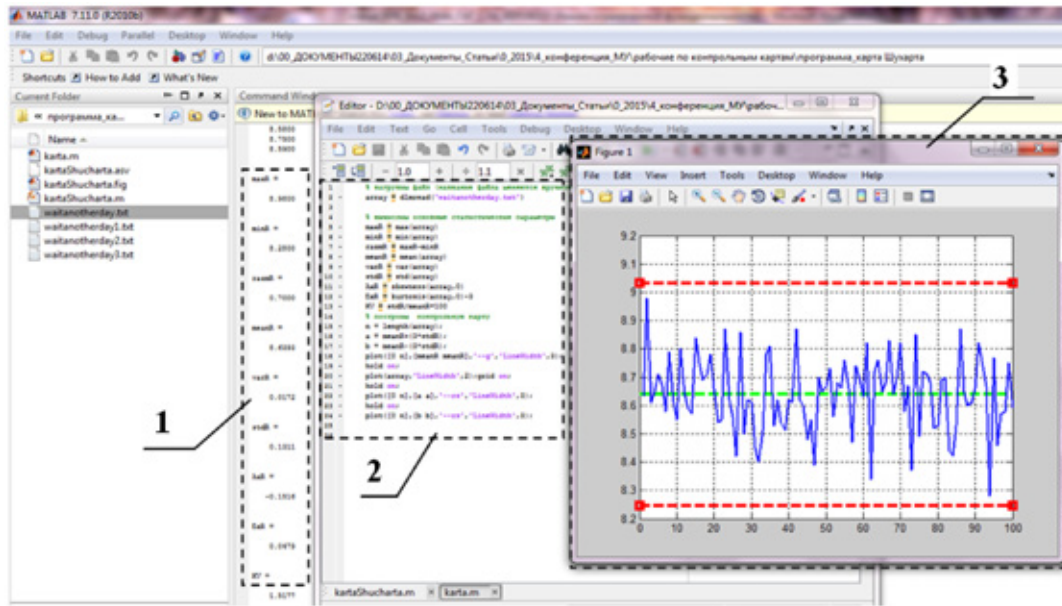
Чтобы построить новую контрольную карту необходимо в начале программы (2; рис. 6а), где осуществляется загрузка *txt* — файла, изменить название файла.

Б) *Построение с помощью Guide Matlab*. Это бесплатное приложение *Matlab*, которое позволяет создавать пользовательские приложения для решения конкретных задач исследования. Созданные приложения в среде *Matlab* с графическим интерфейсом являются графическими окнами, содержащими *элементы управления* (кнопки, списки, переключатели, флаги, полосы скроллинга, области ввода, меню), а также оси и текстовые области для вывода результатов работы. Понятный и удобный интерфейс для пользователя создается с помощью фокуса

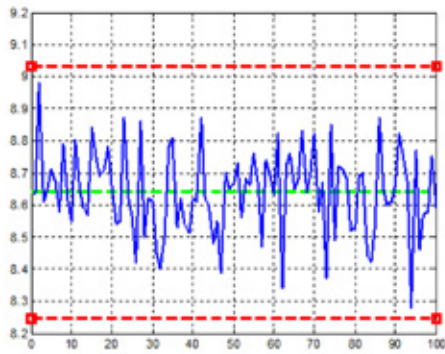
управления. Для его проектирования составим диаграмму переходов фокуса управления программой, осуществляющую последовательный переход от одного элемента управления программы к другому, и позволяет написать данную программу на любом языке программирования, использующую понятие фокус (объектно-ориентированные языки программирования) (рис. 7) [5].

В результате получается программа с графическим интерфейсом пользователя (GUI), состоящая из файлов с расширениями *fig* и *m*. Запуск созданного приложения осуществляется в командной строке *Matlab* с указанием его имени (без расширения), а для редактирования этого приложения необходимо запустить *Guide Matlab*.

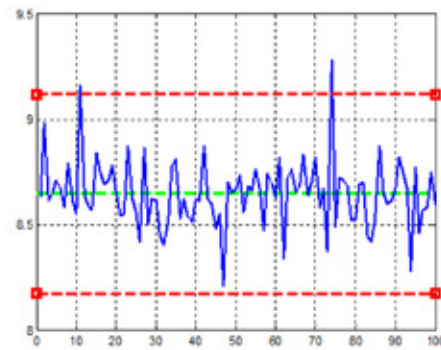
При наличии «выброса» в выборке (в нашем случае, в файле *waitanotherday3.txt* два таких значения) появляется диалоговое окно, предупреждающее о выходе значения выборки за границы.



а)



б) *waitanotherday.txt*



в) *waitanotherday3.txt*

Рис. 6. Построение контрольных карт Шухарта в Matlab (а) и контрольные карты для двух txt – файлов (в, г)

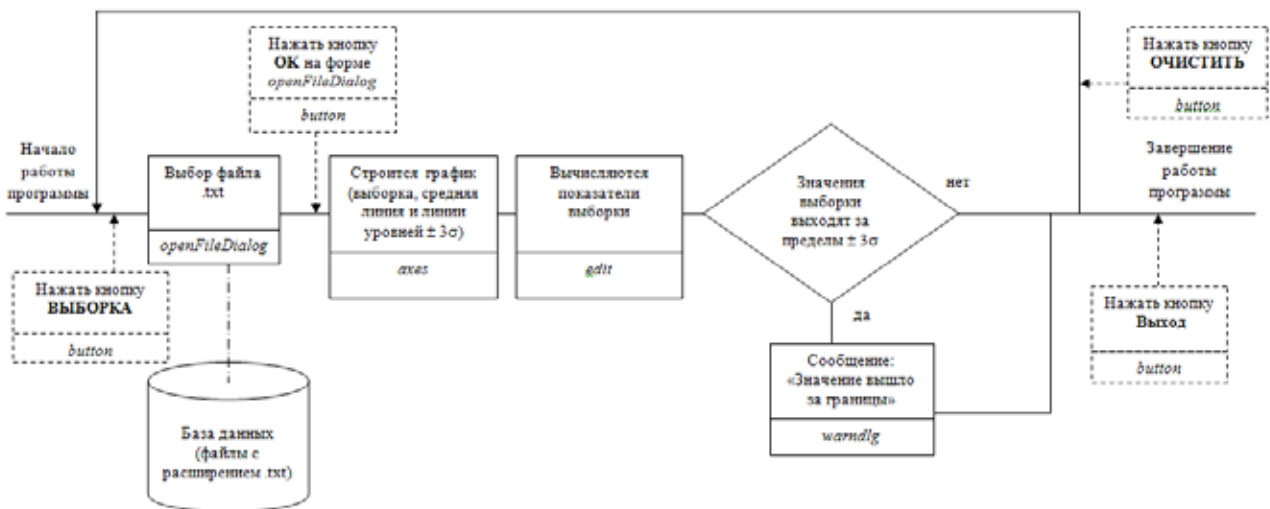


Рис. 7. Диаграмма переходов фокуса управления интерфейса программы *kartaShucharta*

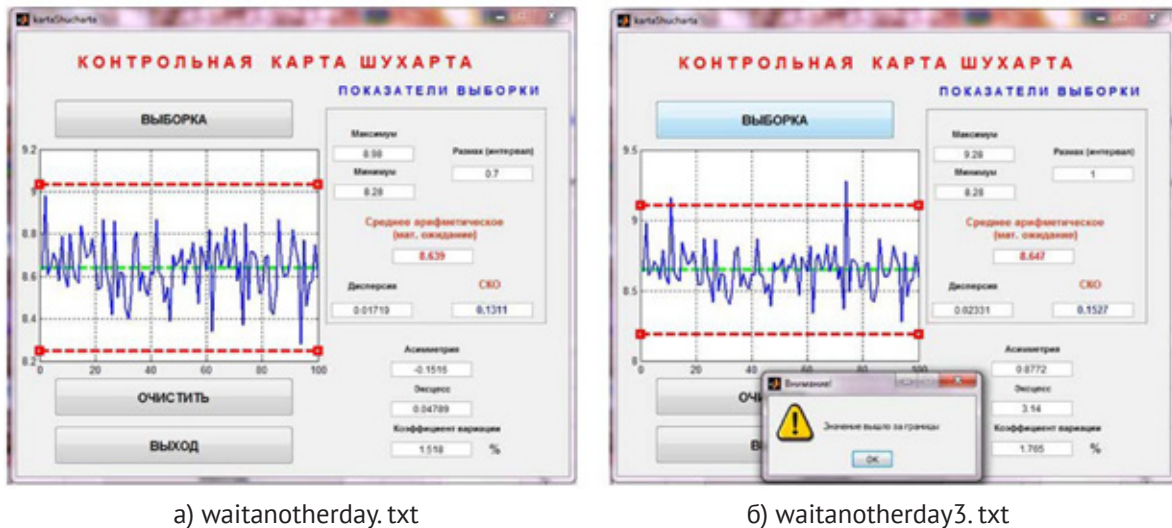


Рис. 8. Результаты работы программы kartaShucharta для двух txt-файлов

Стоит отметить, что построение новой контрольной карты осуществляется загрузкой *txt* — файла, который необходимо выбрать из списка *txt* — файлов в диалоговом окне *openFileDialog*, появляющееся после нажатия кнопки *Выборка* (рис. 8).

На основании визуального анализа контрольных карт

формулируют выводы о дальнейшем управлении технологическим процессом, что позволяет своевременно выявление его нестабильность. Проведение анализа контрольных карт и их интерпретация существенно упрощается при использовании ПК и приведенных выше программных продуктов.

#### Литература:

1. ГОСТ Р 50779.42–99 (ИСО 8258–91) Статистические методы. Контрольные карты Шухарта.
2. Кириянова, Г.А., Сорокина Л.А., Кожанова Е.Р. Статистический анализ партии обработанных изделий в MS Excel // Молодой ученый. 2015. №1 (81). с. 71–73.
3. Кожанов, Р.В., Артемова А.Д., Кельплер М.А., Гягяева А.Г., Сорокина Л.А., Кожанова Е.Р. Вычисление статистических показателей с использованием математического пакета Matlab // Молодой ученый. 2015. №6. с. 175–181.
4. Кожанов, Р.В., Артемова А.Д., Ткаченко И.М., Кожанова Е.Р., Захаров А.А. Построение логических схем с использованием Matlab/Simulink и Scilab/Xcos // Молодой ученый. 2015. №2. с. 163–167.
5. Кожанова, Е.Р. Диаграммы переходов фокуса управления как средство проектирования пользовательского графического интерфейса // Техника и технологии: пути инновационного развития: материалы Междунар. научно-практ. конф. (1 июля 2011)/Ответственный редактор Горохов А.А. Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2011. с. 80–83.

## Применение Wolfram Mathematica для анализа работы модели безопасности Take-Grant

Магазев Алексей Анатольевич, кандидат физико-математических наук, доцент;  
Тимохин Сергей Иванович, магистрант  
Омский государственный технический университет

*В работе представлен пакет расширения, реализованный авторами в рамках системы Mathematica и предназначенный для исследования модели безопасности Take-Grant. Приведено описание функций и команд, используемых в данном пакете.*

### Введение

Теоретические основы информационной безопасности могут быть описаны в виде схематических рисунков и математических выкладок, в то время как рассмотрение практически важных примеров требует применения компьютеров и специализированного программного обеспечения. Возникает проблема: как представить работающий метод в максимально наглядной форме. В данной статье рассматривается одна из классических моделей безопасности, получивших широкое распространение для систем с дискреционным разделением доступа — модель Take-Grant [1, 2]. Авторами описывается библиотека подпрограмм для исследования указанной модели, разработанная средствами системы компьютерной алгебры Wolfram Mathematica [3]. Библиотека представляет так называемый *пакет расширения*, дополняющий стандартный функционал среды Mathematica.

Авторы считают, что интеграция данного пакета расширения в образовательный процесс позволит организовать современный учебный материал, обеспечивающий студентов инструментарием самообучения и самоконтроля, позволит проводить интерактивные занятия с визуализацией разных сценариев работы модели Take-Grant. Выбор Wolfram Mathematica в качестве основы для создания пакета расширения обусловлен тем, что это универсальная система, которая осуществляет численные и символьные вычисления, помимо языка программирования и среды разработки, в стандартный пакет поставки входит обширная справочная система. Отличительной особенностью данной системы является очень гибкая работа со списками и возможность описания моделей в виде графов. Списки относятся к числу базовых структур данной системы [3], а графы предоставляют возможность наглядно продемонстрировать преобразования исследуемой модели. Это дает явное преимущество по сравнению с другими системами компьютерной алгебры касательно реализации модели Take-Grant.

### 1 Описание модели Take-Grant

Напомним основные положения классической модели Take-Grant [1, 2].

В рамках модели Take-Grant компьютерная система представляется совокупностью следующих компонент:

- множеством *объектов доступа*  $O$ ;
- множеством *субъектов доступа*  $S \subseteq O$ ;
- множеством *прав доступа*  $R = \{r_1, r_2, \dots, r_m\} \cup \{t, g\}$ , где  $t$  (*take*) — право брать права доступа,  $g$  (*grant*) — право давать права доступа;
- конечный помеченный ориентированный без петель граф доступов, описывающий состояние системы —  $G = (S, O, E)$ ;
- множества  $S, O$  соответствуют вершинам графа;
- элементы множества  $E \subseteq O \times O \times R$  представляют ребра графа, помеченные непустыми подмножествами из множества прав доступа  $R$ .

Состояние системы описывается соответствующим ему графом доступов. В данной модели возможно наличие прав доступа не только у субъектов к объектам, но и у объектов к объектам. Порядок перехода системы из состояния в состояние определяется правилами преобразования графа доступов, такими как:

1. Правило «Брать» —  $take(a, x, y, z)$ . Субъект  $x$  берет права  $a$  у субъекта  $y$  на объект  $z$ ;
2. Правило «Давать» —  $grant(a, x, y, z)$ . Субъект  $x$  дает объекту  $y$  право  $a$  на доступ к объекту  $z$ ;
3. Правило «Создать» —  $create(a, x, y)$ . Субъект  $x$  создает объект  $y$  с правами доступа на него  $a \subseteq R$ ;
4. Правило «Удалить» —  $remove(a, x, y)$ . Субъект  $x$  удаляет права доступа  $a$  на объект  $y$ .

При выполнении данных правил происходит преобразование графа  $G_0$  в граф  $G_1$ .

Передача прав между субъектами определяется с помощью предиката «Возможен доступ»( $a, x, y, G_0$ ).

Основной задачей в рамках модели Take — Grant является задача о проверке возможности передачи прав данного субъекта другому субъекту. Указанная задача решается посредством необходимых и достаточных условий передачи права, выраженных в виде соответствующих теорем. В данной работе мы ограничимся приведением формулировки теоремы для случая, когда граф доступов содержит только вершины-субъекты. Предварительно введем следующее определение.

**Определение 1.** Вершины графа доступов являются *tg*-связными, если (без учета направления дуг) в графе

между ними существует такой путь, что каждая дуга этого пути помечена  $t$  или  $g$ .

**Теорема 1.** Пусть  $G_0 = (S_0, S_0, E_0)$  — граф доступов, содержащий только вершины-субъекты. Тогда предикат «Возможен доступ»( $a, x, y, G_0$ ) истинен тогда и только тогда, когда выполняются следующие условия:

*Условие 1.* Существуют субъекты  $s_1, \dots, s_m$ , такие, что  $(s_i, y, \gamma_i) \in E_0$  для  $i = 1, \dots, m$  и

$$a = \gamma_1 \cup \dots \cup \gamma_m.$$

*Условие 2.* Субъект  $x$  соединен в графе  $G_0$   $tg$ -путем с каждым субъектом  $s_i$  для  $i = 1, \dots, m$ .

Приведенная нами теорема может быть обобщена и для произвольного графа доступов. При этом условия возможности передачи прав немного усложняются. Не приводя здесь окончательной формулировки, укажем лишь одно важное понятие, требуемое для проверки возможности передачи права.

**Определение 2.** Островом в произвольном графе доступов  $G_0$  называется его максимальный  $tg$ -связный подграф, состоящий только из вершин субъектов.

Выделение островов в графе доступов является важнейшей задачей, имеющей отношение к проблеме передачи прав субъектов.

**2 Реализация модели Take-Grant в рамках системы компьютерной алгебры Mathematica**

Исходя из описания модели Take-Grant, изложенного выше, нами была предложена следующая методика реализации данной модели.

Хотя модель отображается в элементах теории графов, для удобства ее можно представить в виде матрицы доступов. Т. к. субъекты могут быть объектами, а объекты могут иметь права на другие объекты, матрица доступов у нас будет ква-

дратная. В процессе использования реализации модели всегда можно просмотреть *текущее состояние системы*. Это делается с помощью команды **CurrentState**. После выполнения данной команды выводятся матрица доступов и соответствующий ей граф (пример на рис. 1).

В матрице доступов субъекты отображаются в начале списка и закрашены зеленым цветом, в графе номера вершин соответствуют матрице, и субъекты также закрашены зеленым цветом.

Пользователь должен иметь возможность задавать начальное состояние системы  $G_0$ , т.е. создавать субъекты и объекты и устанавливать им права. Для этого нами реализованы следующие функции: **CreateSubject**, **CreateObject** и **SetRight [SubjectNumber, ObjectNumber, Rights]**, где SubjectNumber — номер субъекта-объекта по матрице доступов, ObjectNumber — номер объекта по матрице доступов, Rights — предоставляемые права субъекту-объекту на объект (задается списком {g, r, t, w}). Указание фигурных скобок в данном параметре обязательно.

При создании субъекта или объекта в матрицу доступа добавляются строка и столбец, соответствующие новому элементу в системе, где строки — это субъекты-объекты, а столбцы — объекты. Вершина же в графе появится только после того, как субъекту-объекту будут даны какие-либо права на объект, и соответственно отобразиться ребро с этими правами.

Из рис. 1 видно, что в рамках приведенного нами примера в системе присутствуют 7 субъектов и 2 объекта. Каждому субъекту-объекту даны некоторые права на объекты.

Для удаления субъектов и объектов, создана функция **RemoveElement [Elem]**, где Elem — номер субъекта или объекта в матрице прав доступов.

После задания начального состояния системы  $G_0$ , пользователь может приступить к исследованию системы, пре-

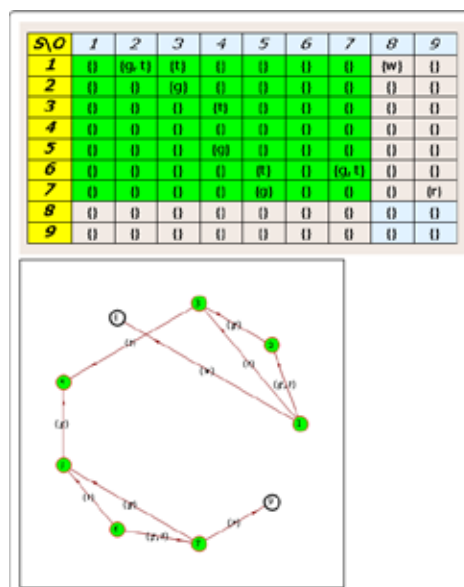


Рис. 1. Текущее состояние системы



образуя ее в граф  $G$ , с помощью описанных выше правил. Суть модели Take-Grant дать ответ на вопрос: возможно ли субъектом получить некоторые права доступа на объект ранее не имеющего эти права?

Для реализации данных правил созданы соответствующие функции:

1. **TakeRight [Rights, SubjectNumber, ObjectNumber1, ObjectNumber2]**, где Rights — права (задаются из списка {g, r, t, w}), SubjectNumber, ObjectNumber1, ObjectNumber2 — номера субъектов или объектов в матрице доступов или графе. Пояснение: SubjectNumber берет у ObjectNumber1 права Rights на ObjectNumber2 (Что→Кто→У\_кого→На\_что);

2. **GrantRight [Rights, SubjectNumber, ObjectNumber1, ObjectNumber2]**. Пояснение: SubjectNumber дает ObjectNumber1 права Rights на ObjectNumber2 (Что→Кто→Кому→На\_что);

3. **Create [SubjectNumber, Rights]**. Пояснение: SubjectNumber создает объект с правами Rights на него. Объект добавляется в конец списка;

4. Удаление или изменение прав выполняется уже упомянутой ранее функцией **SetRight [SubjectNumber, Ob-**

**jectNumber, Rights]**. Пояснение: у SubjectNumber удаляются (Rights= {}) или перезаписываются (с исключением удаляемого) права Rights на ObjectNumber.

В дальнейшем из определений и теоремы все действия проводятся в TG-графе, который отображается с помощью функции **tgGraph [Directed]**. Для гибкости в некоторые функции авторами была добавлена возможность выбирать тип графа: ориентированный или неориентированный. Соответственно Directed — 1 или 0. На рис. 2 приведен пример неориентированного tg-графа.

Для поиска короткого пути в tg-графе между двумя вершинами создана функция **FindTG [SubjectNumber1, SubjectNumber2, Directed]** (рис. 3).

Для отображения островов по определению 2 создана функция **ShowIslandTG [Directed]** (рис. 4).

Также нами были созданы дополнительные функции, которые могут пригодиться для более глубокого исследования модели, например, **TableDistance [Right, Directed]**, где Right принимает значение t или g. В результате выполнения данной функции выводится таблица длин коротких путей и граф, ребра которого имеют определенное право (рис. 5).

tg-пути в неориентированном графе

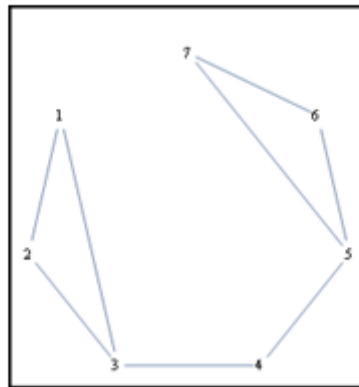


Рис. 2. Неориентированный tg-граф системы

tg-путь в неориентированном графе от вершины 7 до вершины 1: {7,5,4,3,1}

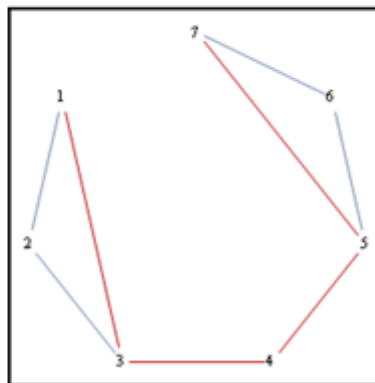


Рис. 3. Короткий путь в tg-графе между двумя вершинами

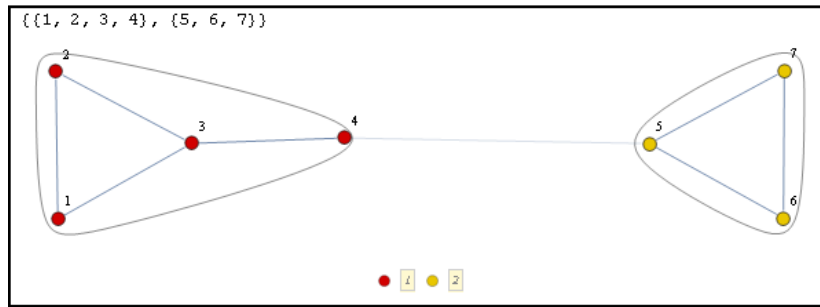


Рис. 4. Отображение островов системы

t-связь в неориентированном графе

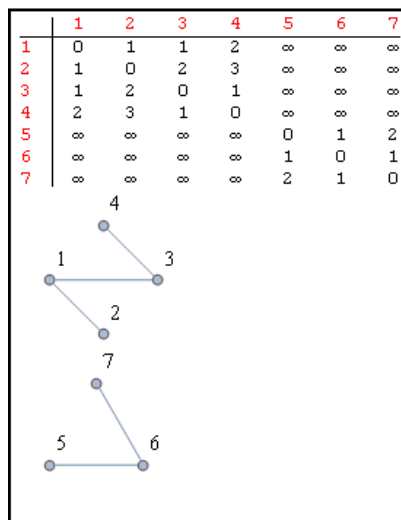


Рис. 5. Таблица длин коротких путей и граф с правом t

**Заключение**

В настоящей статье описан пакет расширения системы Mathematica, реализующий основные положения модели

безопасности Take-Grant. Разработанная библиотека позволяет существенно расширить возможности изучения политик безопасности и повысить уровень и качество обучения студентов по соответствующим дисциплинам.

*Литература:*

1. Девянин, П. Н. Модели безопасности компьютерных систем: Учеб. пособие для вузов. — М.: Академия, 2005. — 144 с.: ил.
2. Lipton, R.J., Snyder L. A linear time algorithm for deciding subject security // Journal of ACM (Addison-Wesley). N. 3. 1977. P. 455–464
3. Computation meets knowledge. Wolfram Language & System. Documentation Center [Электронный ресурс]. URL: <http://reference.wolfram.com/language/>

## Методология системного синтеза методов принятия решений. Целеполагание

Олейников Денис Петрович, кандидат технических наук;  
Бутенко Людмила Николаевна, доктор химических наук, профессор  
Волгоградский государственный технический университет

*В статье описана актуальность создания новых методов принятия решений и разработка соответствующей методологии. В рамках структурной схемы системного синтеза подробно описан этап целеполагания разрабатываемой методологии. Показаны различные варианты реализации выделенных интеллектуальных операций.*

**Ключевые слова:** системный анализ, системный синтез, теория принятия решений, методология системного синтеза.

Конкурентные преимущества страны обуславливаются прежде всего систематическим выявлением проблем, синтезом технологий и инноваций, имеющих ключевое значение для обеспечения выполнения задач эффективного использования внешнего и внутреннего рынков, что также является необходимым для создания базы импортозамещения с возвратом производства в России во всех ключевых сегментах. Синтез технологий и инноваций актуализирует задачи их качественной оценки, что невозможно эффективно выполнить без современных методов и средств поддержки принятия решений. Это обусловлено все более возрастающим объемом разнородной информации, который должно учитывать лицо, принимающее решение (ЛПР), в процессе принятия решения, а также сокращением допустимого срока выработки решений. Сложность создания методов принятия решений (МПР) обусловлена высокой степенью использования когнитивных процедур. В соответствии с общесистемными тенденциями развития, место конструктора в процессе синтеза МПР должна занять система (группа систем), реализующих определенные когнитивные операции. Но первым шагом к созданию такой группы систем должна стать разработка методологии системного синтеза МПР, которая обобщает рациональные формы организации деятельности ЛПР.

На основе анализа подходов к синтезу МПР [1–3] была сформирована структурная схема системного синтеза [4]. Укрупненно, этапы можно разделить на большие группы: целеполагание (ЦП), целедостижение (ЦД) и вариация целевого МПР (ВЦ).

Входной информацией для группы этапов ЦП является проблема — несоответствие структуры/функционала МПР состоянию среды принятия решений. Целеполагание состоит из группы этапов, главной задачей которых является создание формализованного описания цели синтеза.

В этой связи актуальна автоматизация задач, которые в настоящее время решаются только ЛПР:

1) выбор и ранжирование функций, подлежащих формализации;

2) определение и ранжирование недостатков для их последующей инверсии;

3) идентификация проблемных участков, их формализация и ранжирование;

4) выбор наиболее целесообразной тенденции развития, учет которой приведет к созданию новых МПР и т. д.

ЦД на основе заданной цели синтеза формирует целевой МПР. При этом выполняются задачи по формированию базы синтеза, подсистем и, непосредственно, целевой системы, устраняются противоречия между компонентами целевой системы (в случае необходимости, выполняется ресинтез компонентов).

После завершения синтеза, выполняется процедура вариации цели, на котором полученный МПР используется в качестве отправной точки для создания семейства новых МПР, формируемых за счет использования подходов, примененных при решении задачи целедостижения, например: использование методов статистики объектов нечисловой природы для решения задачи согласования предпочтений ЛПР в методе вербального анализа решений ЗАПРОС [5]. Обобщенная схема системного синтеза МПР, представляющая собой пространство задач, для каждой из которых возможно несколько вариантов решения, приведена на Рисунке 1.

Этап целеполагания, приведенный на Рисунке 2, является определяющим в последовательности шагов создания новой системы. Цель может быть задана заранее, или может быть сформирована в результате анализа проблемной области. Целью синтеза может являться расширение области применимости существующих МПР, устранение имеющихся недостатков, приспособление к новым условиям среды принятия решений.

*Инверсия недостатков.* Необходимо сопоставить требования среды принятия решений с характеристиками МПР, определить наиболее существенный недостаток МПР (структурный элемент, функцию, характеристику) и выполнить операцию инверсии данного недостатка.

*Сочетание полярных функций/свойств.* Необходимо провести сравнительный анализ систем прототипов

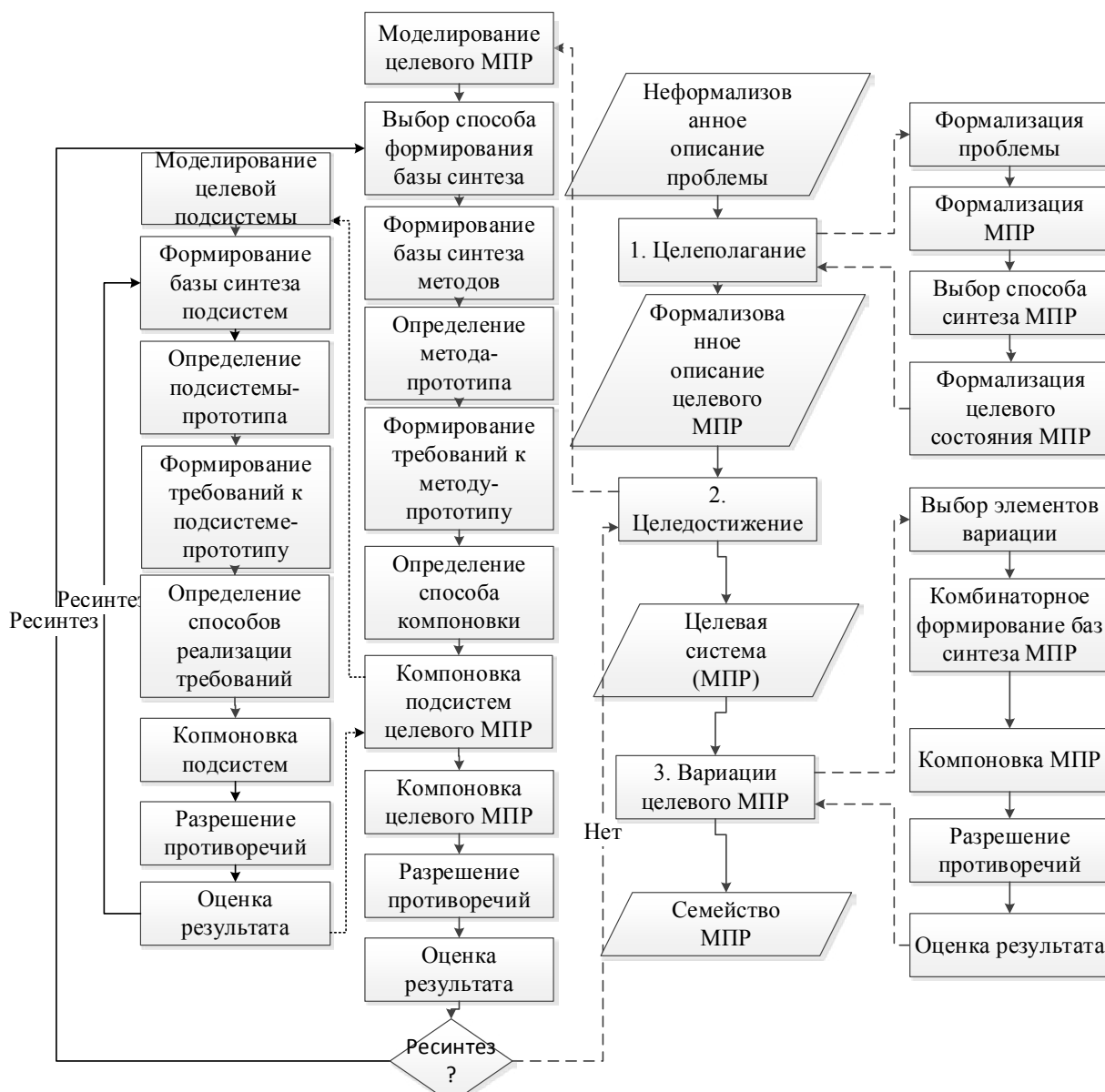


Рис. 1. Усиленная схема системного синтеза МПР

с использованием признаков, полярные значения оценок которых соответствуют характеристикам/функциям сравниваемых систем. Цель синтеза формируется с учетом совместного использования полярных оценок, при этом в базу синтеза в дальнейшем помещаются подсистемы, обладающие данными полярными свойствами. По наличию инверсных элементов (функций) в системе можно судить о ее уровне развития и целостности. При этом существует возможность использования библиотеки недостатков (по аналогии с ТРИЗ [6]), заранее определяя возможные способы его устранения

*Форсирование функций* — повышение эффективности выполнения функции с целью адаптации МПР к новым условиям среды принятия решения. На первом этапе определяется набор функций, которые необходимо форсировать. Это осуществляется путем сравнения требований среды принятия решений с показателями эффективности МПР.

На втором этапе определяются целевые показатели эффективности для форсируемых функций. Например, могут форсироваться функции выявления предпочтений эксперта, где показателями эффективности являются: количество вопросов, на которые должен будет ответить эксперт для построения решающего правила; повышение обоснованности результатов выявления предпочтений, при этом не выполняется преобразования качественных суждений эксперта в количественные эквиваленты.

*Реализация тенденций развития.* Для использования данного подхода необходимо на начальном этапе на основе анализа МПР выявить тенденции их развития. Развитию подвержены структурные и функциональные характеристики МПР. На следующем этапе следует записать выявленные тенденции в виде последовательности изменения значений признаков фактор-группы. Далее следует определить целевое состояние в соответствии

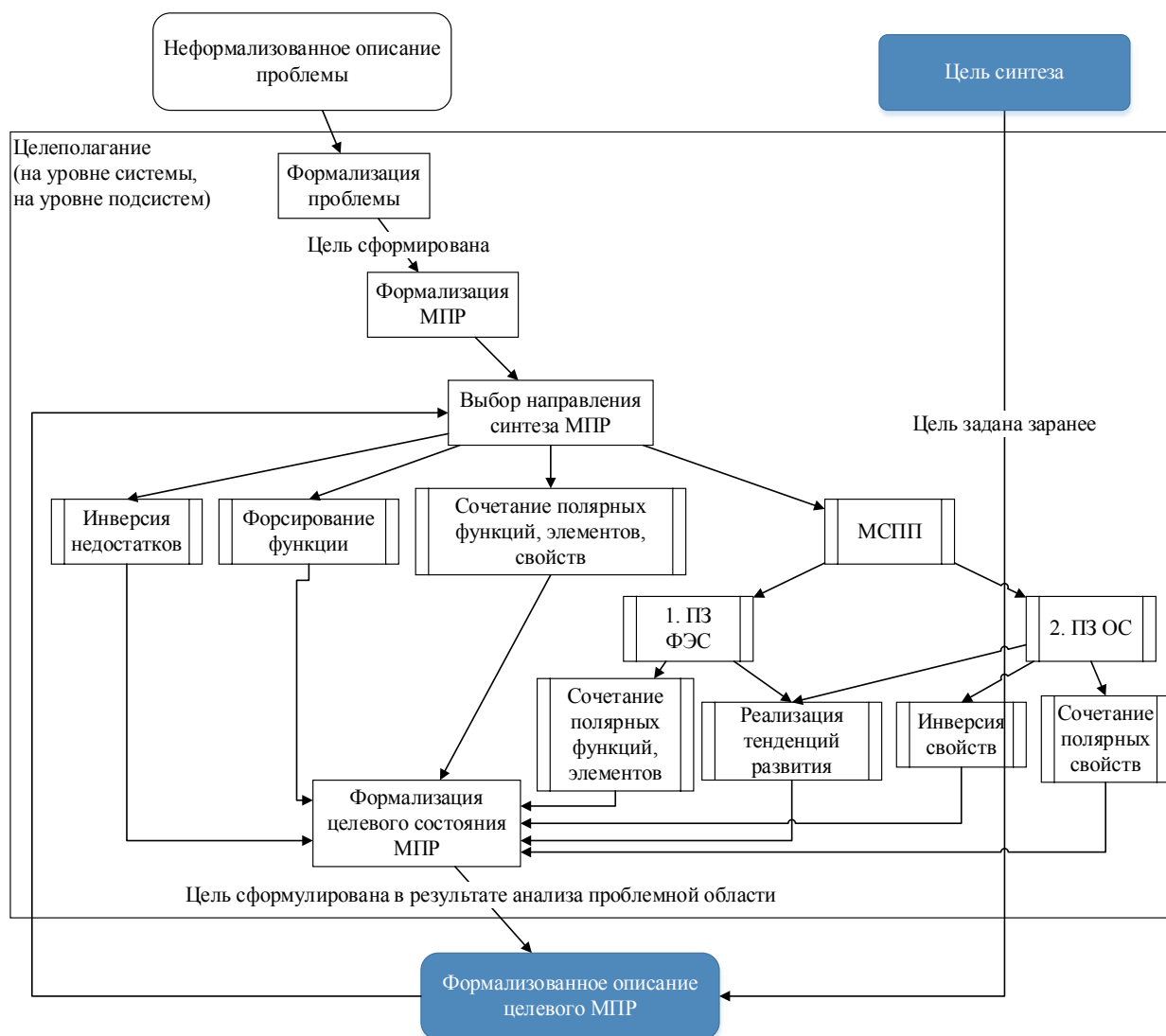


Рис. 2. Схема этапа целеполагания

с выявленными тенденциями развития. Далее возможны два варианта. Первый вариант — МПР уже создан и его необходимо усовершенствовать. В этом случае необходимо описать переход от текущего состояния, также описываемого значениями классификационных признаков, до целевого, задаваемого набором значений. Второй вариант — МПР не существует. В этом случае цель описывается совокупностью значений классификационных признаков целевого состояния.

*Формирование поля знаний.* Одним из подходов в ситуации, когда целью является расширение области применимости МПР, является экстраполяция имеющихся знаний в ранее неисследованные области. Этот вариант предполагает получение результата вида «открытие», обладающей существенной научной новизной. Существует несколько подходов к формированию направления развития МПР с использованием областей знаний — «полей знаний». Поле знаний может быть сформировано на основе:

1) функционально-элементного состава (ПЗ-ФЭС);

2) свойств (ПЗ-ОС), шаблон приведен в Таблице 1. Возможно несколько направлений синтеза:

1. Наиболее естественным является полное покрытие поля знаний. Направление развития в этом случае выбирается произвольно, и подход концептуально совпадает с методом систематического покрытия Цвикки [7].

2. Направление развития может быть сформировано при помощи метода отрицания и конструирования [7], при котором инвертируется одно из значений классификационного признака существующей ячейки поля знаний (в общем случае — выбирается другое свойство/вариант реализации) и создается описание новой целевой системы.

3. Использование принципа полярности при формировании будущей цели синтеза [8]. Данный вариант может быть использован как в комбинаторном подходе, ориентированном на реализацию свойств, так и комбинаторном подходе, ориентированном на реализацию функционально-элементного состава целевой системы. В этом случае размерность поля знаний многократно увеличивается в связи с возможностью описания ячейки поля знания

Таблица 1

Шаблон «поля знаний» на основе свойств

		C <sub>1</sub>		C <sub>2</sub>		C <sub>3</sub>		Значения класс. признака С
		D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	Значения класс. признака D
A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub> D <sub>1</sub>						В ячейках указываются МПР, обладающие соответствующими свойствами
	B <sub>2</sub>							
	B <sub>3</sub>							
A <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>							
	B <sub>2</sub>							
	B <sub>3</sub>							
A <sub>3</sub>	B <sub>1</sub>							
	B <sub>2</sub>							
	B <sub>3</sub>							
Значения класс. признака А	Значения класс. признака В							

противоположными (различными) значениями классификационного признака.

Цель синтеза задается в виде совокупности свойств (функций, структурных элементов), которыми должна обладать целевая система. Основная задача в процессе синтеза — определение совокупности функциональных/структурных подсистем, свойства которой совпадают с целевыми. Для цели может быть указано как одно значение классификационного признака, так и несколько, находящихся в отношении полярности. В этом случае, количество возможных вариантов пустых ячеек существенно возрастает

Системный синтез МПР является сложно-формализуемым процессом, в котором определяющую роль вы-

полняет эксперт-конструктор. Эффективность процесса напрямую зависит от эффективности выполнения им когнитивных операций — области, в которых информационные технологии способны поддержать и улучшить производительность данного процесса: генерации множеств вариантов, оценки и выбора.

Авторы считают, что в данной работе новой является выявленная последовательность интеллектуальных операций, составляющая этап целеполагания процесса синтеза МПР. Выявление данной последовательности позволяет повысить управляемость и уменьшить информационную неопределенность процесса синтеза методов принятия решений для конструктора.

#### Литература:

1. Олейников, Д. П., Бутенко Л. Н. Синтез методов принятия решений на основе принципа полярности // Успехи современного естествознания: науч. -теоретич. журнал/Академия естествознания. — 2005. — Т. 11. — с. 34–36.
2. Олейников, Д. П., Бутенко Л. Н. Синтез методов принятия решений на базе морфологического подхода // Вестник компьютерных и информационных технологий. — 2013. — Т. 11, № 113. — с. 21–26.
3. Олейников, Д. П., Бутенко Л. Н. Синтез методов принятия решений на базе морфологического подхода // Вестник компьютерных и информационных технологий. — 2013. — Т. 12, № 114. — с. 21–26.
4. Олейников, Д. П., Бутенко Л. Н. Структура системного синтеза методов принятия решений // Конгресс по интеллектуальным системам и информационным технологиям IS-IT'14 (Дивноморское, 2–9 сент. 2014 г.): тр. конгресса. В 4 т. Т. 1. «Интеллектуальные системы'14 (AIS'14)», «Интеллектуальные САПР — 2014 (CAD-2014)»: тр. конференций/Рос. ассоциация искусственного интеллекта, Южный федеральный ун-т. — М., — 2014. — с. 176–184.
5. Олейников, Д. П., Бутенко Л. Н. Применение методов статистики объектов нечисловой природы для учета частично-рассогласованных предпочтений эксперта в методе вербального анализа решений // Матер. науч.-практ. конф., г. Сочи, 1–10 октября 2005 г./Моск. гос. ин-т электроники и математики и др. — М., — 2005. — с. 150–152.
6. Альтшуллер, Г. С. Алгоритм изобретения. — М.: Московский рабочий, — 1973. — 296 с.
7. Zwicky, F. The Morphological Method of Analysis and Construction. New York: Intersciences Publish, 1948. 461–470 p.
8. Олейников, Д. П., Бутенко Л. Н. Использование принципа полярности для синтеза новых методов принятия решений // Изв. ВолГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах»: межвуз. сб. науч. ст. — 2007. — Т. 2, №2. — с. 60–62.

## Использование паттерна «Инверсия результата» для синтеза методов принятия решений

Олейников Денис Петрович, кандидат технических наук;  
Бутенко Людмила Николаевна, доктор химических наук, профессор  
Волгоградский государственный технический университет

*В статье описана актуальность создания новых методов принятия решений и разработка соответствующей методологии. В рамках структурной схемы системного синтеза подробно описан этап целеполагания разрабатываемой методологии. Показаны различные варианты реализации выделенных интеллектуальных операций.*

**Ключевые слова:** системный анализ, системный синтез, теория принятия решений, методология системного синтеза.

Одними из актуальных направлений, которые используют методы теории принятия решений (ТПР) для решения своих задач, являются концептуальное проектирование систем и САПР. Решение задач на начальном этапе проектирования требует перебора и оценивания значительного количества альтернатив, при этом возникают ситуации, в которых альтернативы могут быть описаны как количественно, так и (в подавляющем большинстве) качественно. При этом параметры проблемной области могут значительно ограничивать множество допустимых методов принятия решений (МПР), вплоть до пустого множества.

В связи с этим, создание новых МПР, является актуальной задачей. Однако трудность процесса их создания заключается в отсутствии знаний о принципах их построения, подкрепленных историческими данными. С целью определения некоторых из них авторами было проведено соответствующее исследование. Для проведения исследования авторы выделили группу методов, относящихся к «Теории игр с природой». В первую очередь из-за того, что данная группа методов достаточно широко используется (один из самых распространенных критериев — минимаксный). Во вторую — из-за того, что математический аппарат данной группы методов достаточно прост, чтобы наглядно показать способы их формирования в случае их обнаружения.

Данные, необходимые для принятия решения рассматриваемыми методами, задаются в форме матрицы, строки которой  $[1..n]$  соответствуют возможным вариантам решений, а столбцы  $[1..m]$  — возможным состояниям природы.

Авторами методом попарного сравнения было проанализировано 10 МПР, в процессе которого выделялись функциональные и структурные элементы методов [1–3]:

- 1) Критерий Вальда:  $W = \max_i \min_j W_{ij}$
- 2) Аддитивный критерий:  $W = \max_i \sum_{j=1}^n W_{ij}$
- 3) Метод взвешенной суммы оценок:  $W = \max_i \sum_{j=1}^n W_{ij} \omega_j$
- 4) Критерий Байеса-Лапласа:  $W = \max_i \sum_{j=1}^n W_{ij} p_j$
- 5) Критерий Сэвиджа:  $W = \min_i \max_j (W_{\max_j} - W_{ij})$
- 6) Критерий Гурвица:  $W = \max_i [\rho \min_j W_{ij} + (1 - \rho) \max_j W_{ij}]$
- 7) Критерий Ходжа-Лемана:  $W = \max_i [z \sum_j W_{ij} p_j + (1 - z) \min_j W_{ij}]$
- 8) Критерий Гермейера:  $W = \max_i \min_j W_{ij} p_j$
- 9) Критерий произведений:  $W = \max_i \prod_j W_{ij}$

10) BL(ММ)-критерий:  $W = \max_{i \in I_1 \cap I_2} \sum_j W_{ij} p_j$

Подробное описание этих методов можно найти в соответствующей литературе по ТПР [4]. Авторами было проведено 45 сеансов попарного сравнения рассмотренных методов, которые приведены в Таблице 1.

Таблица 1

Сеансы парного сравнения

Критерии	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1) Критерий Вальда		1	2	3	4	5	6	7	8	9
2) Аддитивный критерий			10	11	12	13	14	15	16	17
3) Метод взвешенной суммы оценок				18	19	20	21	22	23	24
4) Критерий Байеса-Лапласа					25	26	27	28	29	30
5) Критерий Сэвиджа						31	32	33	34	35
6) Критерий Гурвица							36	37	38	39
7) Критерий Ходжа-Лемана								40	41	42
8) Критерий Гермейера									43	44
9) Критерий произведений										45
10) BL(ММ)-критерий										

Рассмотрим сеанс попарного сравнения, приведенный в Таблице 2.

Таблица 2

Фрагмент сеансов попарного сравнения

Сеанс	Метод А	Метод Б
4	Критерий Вальда $W = \max_i \min_j W_{ij}$	Критерий Сэвиджа $W = \min_i \max_j (W_{\max_j} - W_{ij})$

Критерий Севиджа отличается от критерия Вальда тем, что в критерии Вальда выполняется максимизация минимального выигрыша, а в критерии Севиджа — минимизация максимального риска (потерь). Другими словами, критерий Вальда стремится не допустить слишком низкого проигрыша, а критерий Сэвиджа — слишком высоких потерь. Авторы назвали данный эвристический паттерн формирования методов принятия решений «инверсией результата». Опишем его формально:

- $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$  - множество заданных альтернатив.
- $S = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$  - множество заданных состояний природы.
- $W_{ij}$  — выигрыш при использовании альтернативы  $a_i$  в состоянии природы  $s_j$ .
- $W = (M_W, M_A, M_S)$  — метод принятия решений, где:
  - $M_W = (\max, \min)$  - множество операций получения итогового решения
  - $M_A = (\max, \min, \Sigma, \Pi)$  - множество операций получения оценки альтернативы
  - $M_S = (W_{ij}, W_{\max_j} - W_{ij})$  - множество видов единичных оценок  $W_{ij}$ .
- $INV_{RESULT}$  — операция инверсии результата, применяется к элементам множества  $M_W$  и  $M_A$ :  
 $INV_{RESULT}(\min) \rightarrow \max, INV_{RESULT}(\max) \rightarrow \min$ , а также к  
 $M_S: INV_{RESULT}(W_{ij}) \rightarrow W_{\max_j} - W_{ij}$
- Новый метод принятия решений получается за счет применения данной операции к элементам множеств  $M_W$  и  $M_S$ .

Для проверки описанной гипотезы необходимо при помощи нее получить новые методы принятия решений.



Используем модели, полученные в п.4 для описания методов ТПР, принадлежащих области исследования. Результаты приведены в Таблице 3.

Таблица 3

## Модели методов принятия решений

Метод	$W = (M_W, M_A, M_S)$
Критерий Вальда: $W = \max_i \min_j W_{ij}$	$W = (\max, \min, W_{ij})$
Аддитивный критерий: $W = \max_i \sum_{j=1}^n W_{ij}$	$W = (\max, \Sigma, W_{ij})$
Метод взвешенной суммы оценок: $W = \max_i \sum_{j=1}^n W_{ij} \omega_j$	$W = (\max, \Sigma, W_{ij})$
Критерий Байеса-Лапласа: $W = \max_i \sum_{j=1}^n W_{ij} p_j$	$W = (\max, \Sigma, W_{ij})$
Критерий Сэвиджа: $W = \min_i \max_j (W_{\max_j} - W_{ij})$	$W = (\max, \min, W_{\max_j} - W_{ij})$
Критерий Гурвица: $W = \max_i \left[ \rho \min_i W_{ij} + (1 - \rho) \max_i W_{ij} \right]$	$W = (\max, \Sigma, W_{ij})$
Критерий Ходжа-Лемана: $W = \max_i \left[ z \sum W_{ij} p_j + (1 - z) \min_j W_{ij} \right]$	$W = (\max, \Sigma, W_{ij})$
Критерий Гермейера: $W = \max_i \min_j W_{ij} p_j$	$W = (\max, \min, W_{ij})$
Критерий произведений: $W = \max_j \prod_i W_{ij}$	$W = (\max, \Pi, W_{ij})$
BL(ММ)-критерий: $W = \max_{i \in I_1 \cap I_2} \sum_j W_{ij} p_j$	$W = (\max, \Sigma, W_{ij})$

Используя полученные данные, авторы построили поле знаний, представленное в Таблице 4.

Таблица 4

## «Поле знаний» методов принятия решений

Метод принятия решений	$INV_{RESULT}$
Критерий Вальда: $W = \max_i \min_j W_{ij}$	Критерий Сэвиджа: $W = \min_i \max_j (W_{\max_j} - W_{ij})$
Аддитивный критерий: $W = \max_i \sum_{j=1}^n W_{ij}$	1
Метод взвешенной суммы оценок: $W = \max_i \sum_{j=1}^n W_{ij} \omega_j$	2

Критерий Байеса-Лапласа: $W = \max_i \sum_{j=1}^n W_{ij} p_j$	3
Критерий Сэвиджа: $W = \min_i \max_j (W_{\max_j} - W_{ij})$	Критерий Вальда: $W = \max_i \min_j W_{ij}$
Критерий Гурвица: $W = \max_i \left[ \rho \min_i W_{ij} + (1 - \rho) \max_i W_{ij} \right]$	4
Критерий Ходжа-Лемана: $W = \max_i \left[ z \sum W_{ij} p_j + (1 - z) \min_j W_{ij} \right]$	5
Критерий Гермейера: $W = \max_i \min_j W_{ij} p_j$	6
Критерий произведений: $W = \max_j \prod_i W_{ij}$	7
BL(ММ)-критерий: $W = \max_{i \in I_1 \cap I_2} \sum_j W_{ij} p_j$	8

Данное поле знаний показывает, что возможно создание еще 8 методов принятия решений, путем применения операции  $INV_{RESULT}$  к перечисленным методам, которые ориентированы не на максимизацию минимальных выигрышей, а на минимизацию возможных потерь, что является более оптимистичным, однако и более рисковым. Модели соответствующих новых методов приведены в Таблице 5.

Таблица 5

## Модели новых методов принятия решений

№ ячейки поля знаний	Метод-прототип	Математическая модель нового метода
1	Аддитивный критерий: $W = \max_i \sum_{j=1}^n W_{ij}$	$W = \min_i \sum_{j=1}^n (W_{\max_j} - W_{ij})$
2	Метод взвешенной суммы оценок: $W = \max_i \sum_{j=1}^n W_{ij} \omega_j$	$W = \min_i \sum_{j=1}^n (W_{\max_j} - W_{ij}) \omega_j$
3	Критерий Байеса-Лапласа: $W = \max_i \sum_{j=1}^n W_{ij} p_j$	$W = \min_i \sum_{j=1}^n (W_{\max_j} - W_{ij}) p_j$
4	Критерий Гурвица: $W = \max_i \left[ \begin{array}{l} \rho \min_i W_{ij} \\ + (1 - \rho) \max_i W_{ij} \end{array} \right]$	$W = \min_i \left[ \begin{array}{l} \rho \max_i (W_{\max_j} - W_{ij}) \\ + (1 - \rho) \min_i (W_{\max_j} - W_{ij}) \end{array} \right]$
5	Критерий Ходжа-Лемана: $W = \max_i \left[ \begin{array}{l} W_{ij} p_j \\ + (1 - z) \min_j W_{ij} \end{array} \right]$	$W = \min_i \left[ \begin{array}{l} (W_{\max_j} - W_{ij}) p_j \\ + (1 - z) \max_j (W_{\max_j} - W_{ij}) \end{array} \right]$
6	Критерий Гермейера:	$W = \min_i \max_j (W_{\max_j} - W_{ij}) p_j$

№ ячейки поля знаний	Метод-прототип	Математическая модель нового метода
	$W = \max_i \min_j W_{ij} p_j$	
7	Критерий произведений: $W = \max_j \prod_i W_{ij}$	$W = \min_j \prod_i (W_{\max_j} - W_{ij})$
8	BL(ММ)-критерий: $W = \max_{i \in I_1 \cap I_2} \sum_j W_{ij} p_j$	$W = \min_{i \in I_1 \cap I_2} \sum_j (W_{\max_j} - W_{ij}) p_j$

Полученные модели методов ТПР предназначены для принятия решений путем минимизации величины возможных потерь. При этом вводятся соответствующие ограничения, например для ячейки 7 величина  $W_{\max_j} - W_{ij}$  должна быть больше 0.

### Выводы

Авторами, с целью выявления инвариантных структурных и функциональных элементов, было проведено исследование МПР в играх с природой методом парного сравнения.

В результате исследования авторами был выделен эвристический паттерн формирования МПР, названный «инверсия результата», который позволяет выбирать более оптимистичное решение, но с более высоким уровнем риска.

Авторами было построено поле знаний и определены пустоты, в которых могут находиться новые МПР.

Для проверки гипотезы о возможности формирования новых методов при помощи паттерна «инверсия результата» авторами были получены модели двух новых МПР.

Увеличение мощности полученного множества может быть достигнуто за счет пополнения множества вариантов базовых элементов.

### Литература:

1. Олейников, Д. П., Бутенко Л. Н. Результаты анализа критериев теории игр с природой в целях выявления эвристических паттернов // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. Инфо 2014: XI междунар. науч.-практ. конф. (г. Сочи, 1–10 окт. 2014 г.). — М.: Национальный исследовательский ун-т «Высшая школа экономики», — 2014. — с. 583–585.
2. Олейников, Д. П., Бутенко Л. Н. Использование системного подхода при анализе методов принятия решений // Конгресс по интеллектуальным системам и информационным технологиям IS-IT'14 (Дивноморское, 2–9 сент. 2014 г.): тр. конгресса. В 4 т. Т. 1. «Интеллектуальные системы'14 (AIS'14)», «Интеллектуальные САПР — 2014 (CAD-2014)»: тр. конференций/Рос. ассоциация искусственного интеллекта, Южный федеральный ун-т. — М., — 2014. — с. 168–176.
3. Олейников, Д. П., Бутенко Л. Н. Морфологическое исследование количественных методов принятия решений в играх с природой // Системы управления и информационные технологии. — 2013. — Т. 52, №2. — с. 38–42.
4. Мушик, Э., Мюллер П. Методы принятия технических решений. — М.: Мир, — 1990. — 208 с.

## Использование графов для описания модели предприятия при оценке эффективности внедрения ERP-систем

Пшеничный Сергей Васильевич, аспирант  
Волгоградский государственный университет

**В**ыбор метода описания модели предприятия является одним из ключевых моментов при подготовке к созданию автоматической системы анализа эффективности

внедрения ERP-системы, так как в дальнейшем на его основе будет строиться база данных и вся последующая логика приложения.

На текущий момент разработано достаточно большое количество способов описания моделей. Наиболее распространенными являются:

1) Словесное описание. С помощью этого метода можно описать деятельность предприятия, составить список сотрудников с их функциональными обязанностями. Данная методика будет очень удобна на первоначальном этапе — для чтения человека, и при этом абсолютно не применима к автоматической обработке на компьютере.

2) Применение теории графов — модель разбивается на ключевые узлы и их взаимодействие между собой.

3) Применение средств моделирования Unified Modeling Language (UML).

Нюансы применения перечисленных выше методов моделирования в контексте рассматриваемой задачи рассмотрены в таблице 1.

Из таблицы 1 следует, что наиболее результативным способом реализации задачи описания модели предприятия будет являться применение теории графов либо UML моделей. Однако, стоит заметить, что оба данных метода крайне схожи. Применение UML моделей потребует от нас дополнительных шагов обработки и в конечном итоге все равно сведется к графам. Таким образом, графы в наибольшей степени соответствуют поставленным критериям и имеют следующие преимущества:

- 1) Удобство переноса модели в компьютерную базу данных;
- 2) Возможность быстрой/автоматической привязки между элементами моделей ERP-систем и предприятий;
- 3) Скорость построения модели;

4) Возможность быстрого исправления и доработок.

Использование графа в качестве способа описания модели позволит упростить процесс автоматизации расчетов окупаемости, поскольку модель можно сопоставить с классом в программировании, а данные из модели легко переносятся в базу данных для последующей обработки и хранения.

Для дальнейшего применения нам так же понадобится использовать понятие уровня детализации модели предприятия [2, 147]. Суть данного понятия заключается в том, что мы разбиваем построение модели предприятия и ERP-системы на некоторые уровни, идущие от общего к частному. Так, на самом высоком (нулевом) уровне модели предприятия у нас будут указаны лишь самые общие данные, а на самом низком (3-ем) мы уже расписываем подробно должностные обязанности и сферу ответственности каждого сотрудника.

Итак, рассмотрим построение моделей предприятия с применением теории графов:

- 1) в качестве вершин графа будем рассматривать:
  - а) структурные подразделения предприятия (уровень детализации 1);
  - б) сотрудников подразделений (уровень детализации 2);
  - в) выполняемые сотрудником обязанности (уровень детализации 3).
- 2) ребра графа будут отображать подчиненность структурных подразделений друг другу, либо вхождение сотрудников в конкретные структурные подразделения (например, устанавливается ребро между сотрудником и отделом, в котором он работает)

Таблица 1

Сравнение методов моделирования деятельности предприятия

Критерий	Словесное описание	Применение графов	Применение UML
Составление модели	Модель описывается обычным набором предложений	Составляется граф каждому узлу которого ставится в соответствие структурная единица предприятия	Модель строится на основе диаграмм.
Хранение в базе данных	Не имеет смысла, поскольку удобнее хранить в текстовом редакторе	Модель легко переносится в базу данных	После некоторых преобразований модель легко переносится в базу данных. По сути мы сводим модель к графам.
Временные затраты на составление модели	Модель составляется быстро.	Модель составляется быстро	Модель составляется быстро
Простота анализа совместимости моделей ERP-системы и предприятия	Подразумевается исключительно «ручной» анализ специалистом. Автоматизация процесса затруднена или не возможна	Доступны следующие методы анализа: а) ручной; б) автоматически с применением заранее определенных ключевых слов; в) автоматический с применением заранее подготовленных шаблонных моделей.	То же что и для применения графов.

3) Полученная модель должна представлять из себя дерево [1, 258с] (связный граф без циклов).

Теперь применим теорию графов для составления модели ERP-системы:

1) в качестве вершин графа будем рассматривать модули и подмодули программы;

2) ребра графа будут отражать подчиненность программных модулей внутри ERP-системы.

3) полученная модель должна представлять из себя дерево

Из выше сказанного можно сделать вывод, что структура получаемых моделей очень схожа, а следовательно, у нас появляется возможность сопоставить некоторые узлы модели предприятия с некоторыми узлами модели ERP-системы.

Также стоит отметить, что мы получаем комплексную картину: появляется возможность оценить обе составляющие увеличения прибыли от внедрения ERP-систем (и как следствие окупаемости) — увеличение доходов посредством оптимизации бизнес-процессов и уменьшение издержек за счет автоматизации.

Составим модель работы менеджеров отдела продаж, созданную на основе данных полученных от одного из производственных предприятий Волгограда:

- 1) руководитель отдела
  - а) распределение задач
  - б) составление планов
  - в) Контроль выполнения поставленных задач
- 2) Менеджер по привлечению новых клиентов
  - а) поиск потенциальных клиентов
  - б) установление контактов
  - в) выставление коммерческих предложений
- 3) Менеджер по продажам
  - а) анализ потребностей клиента
  - б) заключение договоров

Реализацию данной модели в программной среде «Оценка окупаемости ERP-систем» можно увидеть на рис. 1

В дальнейшем каждому элементу модели предприятия мы сопоставим элемент модели ERP-системы, созданной аналогичным методом. В результате чего будет выявлена степень воздействия одной модели на другую и спрогно-

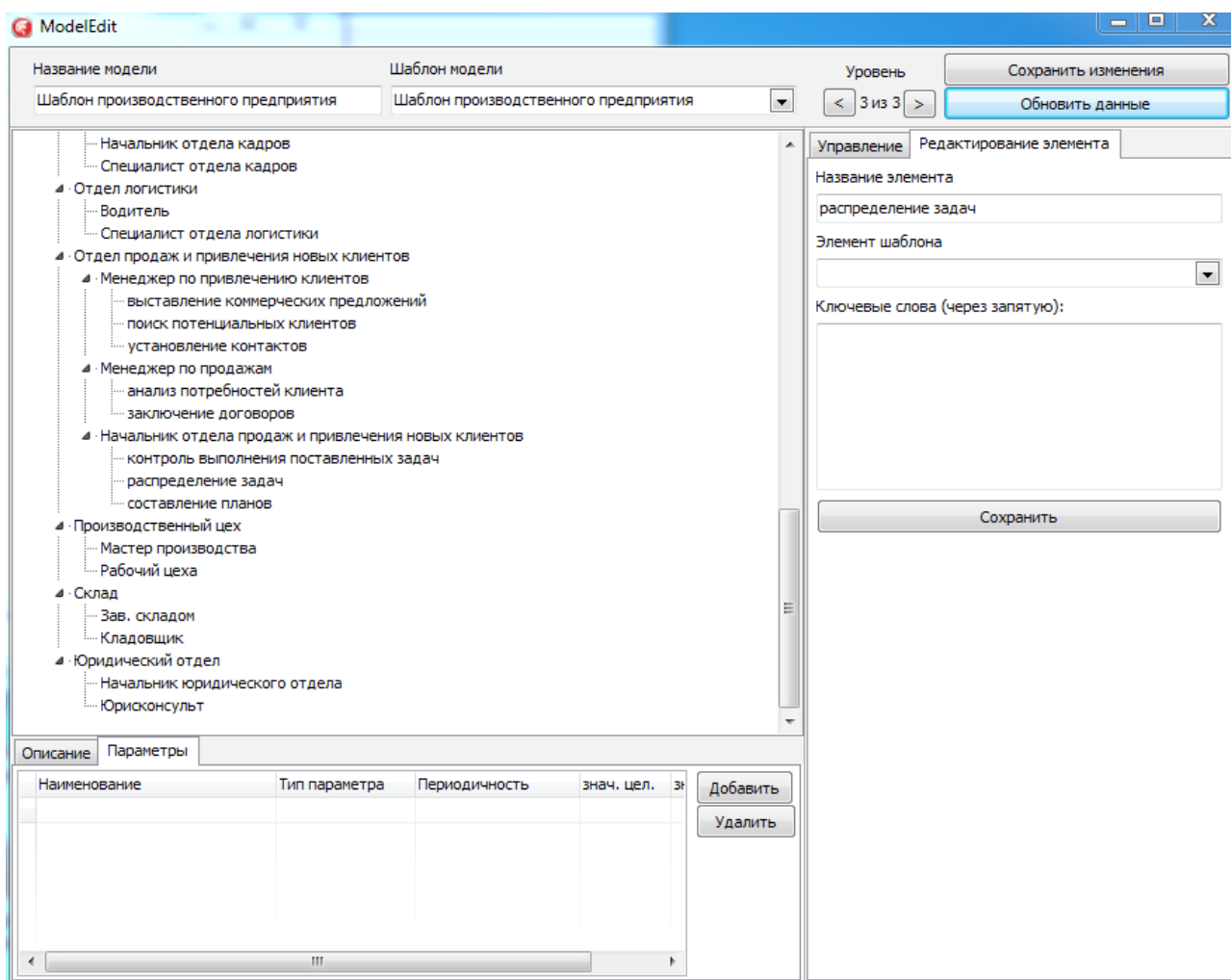


Рис. 1. Реализация модели отдела продаж и привлечения новых клиентов в среде «Оценка окупаемости ERP-систем»

зировать результат внедрения информационной системы как для отдельных сотрудников, так и для всего предприятия в целом. Для этого нам потребуется только ввести дополнительные параметры для каждого узла модели.

Таким образом, применение графов для описании модели предприятия при оценке окупаемости внедрения

ERP-систем позволяет создавать легко масштабируемые модели, уже готовые к переносу в базу данных. К тому же данные модели достаточно просты в выявлении связей между моделями предприятия и информационной системы и позволяют прогнозировать результат внедрения ERP-системы на предприятие.

#### *Литература:*

1. Математические методы и модели в коммерческой деятельности: Учебник. — М.: Финансы и статистика, 2001. — 544 с.: ил.
2. «Автоматизация оценки окупаемости внедрения ERP-систем. Концепция метода двух моделей»

## 2. ЭЛЕКТРОНИКА, РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

### Технология широкополосного беспроводного доступа

Бакытов Алмас Бақытулы, кандидат технических наук, старший преподаватель;  
Ратахин Ян Аркадьевич, студент;  
Ташенова Жулдыз Калмырзаевна, студент  
Университет «Туран» (г. Алматы, Казахстан)

*В статье рассматриваются возможности технологии широкополосного беспроводного доступа в сетях WiMAX*

*The article discusses the possibility of broadband wireless access technologies in WiMAX networks*

**Ш**ирокополосный доступ — ключевой элемент современных телекоммуникаций, которые невозможно представить без наличия разнообразных услуг, основанных на передаче различных типов трафика — данных, голоса, видео, мультимедиа. Беспроводные технологии, обладающие рядом уникальных преимуществ, играют важную роль в развитии систем широкополосного доступа.

Российский рынок широкополосного беспроводного доступа (ШБД) можно разделить на три больших сегмента. Первый — это мобильная (сотовая) связь. Здесь продолжают доминировать услуги обычной телефонной связи, однако ими уже охвачено практически все население России, рынок сотовой телефонной связи входит в стадию насыщения, и операторы начинают активно искать новые возможности для получения дополнительных доходов на базе построенных инфраструктур. В настоящее время сотовые компании активно развивают такие технологии, как EDGE (для сетей GSM) и EV-DO (для сетей CDMA); например построенная на основе EV-DO услуга Sky Turbo сети «Скай Линк» обеспечивает передачу данных на скоростях до 2,4 Мбит/с. Второй сегмент рынка ШБД — это спутниковая связь; этот рынок относительно невелик и стабилен, никаких серьезных изменений за последнее время там не происходило. Наконец, третий сегмент рынка ШБД — это фиксированная радиосвязь. В этой области — масса интересных событий, и именно им мы уделим основное внимание.

#### Технологии и оборудование

Как уже говорилось, изначально сети фиксированного беспроводного доступа строились на основе 2,4-ГГц систем стандарта IEEE 802.11 (WiFi). Однако практически неконтролируемое увеличение числа радиосредств, работающих в указанном частотном диапазоне, привело к резкому росту уровню помех, препятствующие

предоставлению качественных услуг. Это обстоятельство, наряду с рядом серьезных недостатков технологии IEEE 802.11, привело к постепенному переходу операторов на другие технические решения. В результате сегодня на рынке систем фиксированного ШБД доминируют нестандартные (часть из них производители относят к категории рге-WiMAX) решения ряда производителей. По сути, в России этот рынок делят две компании: отечественная InfiNet Wireless со своим знаменитым продуктом Revolution (за границей он продвигается под торговой маркой SkyMAN) и израильская Alvarion — остальные компании занимают незначительную долю рынка.

В чем принципиальное отличие указанных решений от обычных систем IEEE 802.11 (WiFi)? Рассмотрим их на примере продуктов Revolution. Если в системах IEEE 802.11 используется случайный доступ абонентских станций к среде передачи, то системы Revolution используют динамический и адаптивный опрос абонентов. В продуктах Revolution реализованы механизмы управления полосой пропускания (MIR, CIR, MPD), многоуровневой приоритизации трафика, централизованной регистрации и авторизации (RADIUS, RAPS) — в обычных решениях IEEE 802.11 такие механизмы отсутствуют. Все это позволяет операторам повышать надежность, плотность и качество обслуживания, гарантировать нормальные условия для передачи речи и другого «чувствительного» к задержкам трафика — короче говоря, Revolution — это мультисервисные решения, обеспечивающие гибкость в реализации различных схем тарификации и обслуживании приложений, генерирующих разные типы трафика (данные, голос, видео, показания датчиков).

#### Пора WiMAX?

WiMAX — это стандартизованная беспроводная технология операторского класса для обеспечения высоко-

скоростного мультисервисного широкополосного доступа на «последней миле» для конечных пользователей, домашних офисов, малых и средних предприятий и для мобильных сетей связи.

В настоящее время участниками WiMAX являются более ста компании во всего мира: Intel, Alcatel, Siemens, AT&T, WiLAN и др., а также известные на российском рынке компании Asiros, Airspan, Alvarion, Aperto, Proxim и Wi-LAN и др.

Термин WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) является коммерческим названием стандарта региональных (городских) сетей широкополосного беспроводного доступа WMAN – IEEE 802.16, в нем описаны нижние уровни модели OSI: физический и уровень доступа к среде передачи MAC (Medium Access Control). А именно: радиointерфейсы, методы модуляции и доступа

к каналам, системы управления потоками и взаимодействие с протоколами высших уровней. Структурная схема сети стандарта WiMAX представлена на рис. 1, здесь же представлены основные протоколы, по которым осуществляется взаимодействие элементов сети.

Первоначально для стандарта WiMAX были выделены полосы частот в диапазоне до 66 ГГц, но в России в настоящее время выданы разрешения на полосы частот в соответствии с табл. 1.

При этом в сетях типа WiMAX различают 3 градации абонентских устройств по степени подвижности:

1. неподвижные абонентские устройства (fixed wireless), с внешними (outdoor) и внутренними (indoor) блоками с узконаправленными антеннами, так называемый фиксированный беспроводный доступ, который описывается стандартом 802.16d-2004;

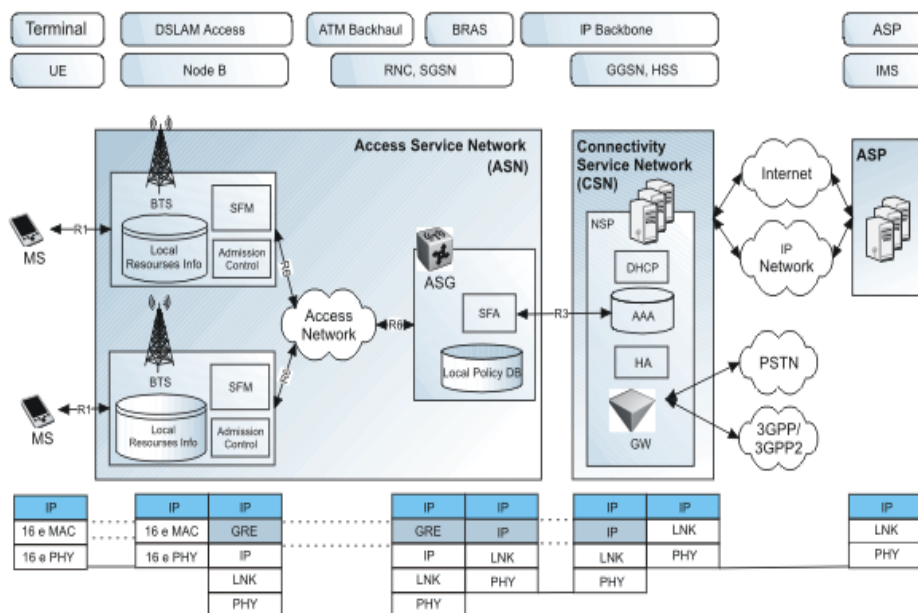


Рис. 1. Структурная схема беспроводной широкополосной сети типа WiMAX

Таблица 1

Основные режимы стандарта IEEE 802.16 в России

Диапазон частот, ГГц	Разрешенные полосы частот, МГц	Общая ширина выделенных полос, МГц	Тип беспроводного доступа
2,5	2500 – 2530 2560 – 2570 2620 – 2630 2660 – 2670 2680 – 2690	70	мобильный
3,5	3400 – 3450 3500 – 3550	100	фиксированный
5	5150 – 5350 5650 – 5725 5725 – 6425	975	фиксированный



2. портативные (portable, nomadic) абонентские устройства, которые могут передвигаться со скоростью до 5 км/ч, так называемый полумобильный доступ, ранний стандарт 802.16e-2005;

3. мобильные (mobile) абонентские устройства, которые могут обеспечивать работу при передвижении абонента со скоростью до 120 км/ч, так называемая полная мобильность, стандарт 802.16e-2006.

Классы обслуживания WiMAX оговариваются при подключении станции к сети.

Существует 5 классов обслуживания:

1. Высшим из них является класс доступа по первому требованию UGS (Unsolicited Grant Service), при котором абонентской станции немедленно предоставляется заранее оговоренная (при подключении к сети), фиксированная скорость передачи. Несмотря на применение коммутации пакетов, этот класс позволяет эмулировать канал связи и, как при коммутации каналов, обеспечивает постоянную скорость передачи, что требуется, например, в традиционной телефонии.

2. Вторым является класс доступа с переменной скоростью с передачей данных в режиме реального времени RT-VR rtPS (Real-Time Variable Rate), при котором аб-

онентская станция передает информацию, чувствительную к задержкам, с переменной скоростью без потери допустимого качества. Таким способом может передаваться видеoinформация с переменным сжатием.

3. Третий класс доступа с переменной скоростью без передачи данных в режиме реального времени NRT-VR nrtPS (Non-Real-Time Variable Rate) используется для передачи информации нечувствительной к задержкам, но требующей гарантированной скорости. Например, этот класс используется для передачи файлов (протоколы FTP, HTTP).

4. Четвертый класс доступа в режиме максимально возможной в данный момент скорости BE (Best Effort) используется для передачи данных, не критичных к скорости передачи и времени задержки. Преимущественно данный класс используется для передачи данных в Интернете.

5. Для передачи данных приложений реального времени в рекомендации вводится промежуточный между UGS и RT-VR пятый расширенный класс доступа с переменной скоростью с передачей данных в режиме реального времени ERT-VR (Extended Real-Time Variable Rate), который обеспечивает постоянную скорость и задержку, например при передаче голоса с подавлением пауз.

#### Литература:

1. Вишневикий, В. М., Ляхов А. И., Портной С. Л., Шахнович И. В. Широкополосные беспроводные сети передачи информации. — М.: «Техносфера», 2005. — 592 с.
2. Шварц, М. Сети связи, протоколы, моделирование и анализ/Пер. с англ.: в 2 т. — М.: Наука, 1992. — Т. 2. — 276 с.
3. Лазарев, В. Г. Интеллектуальные цифровые сети. Справ./Под ред. Н. А. Кузнецова. — М.: Финансы и статистика, 1996. — 224 с.
4. IEEE 802.16e-2005 p. — 225 t. — 132 a.
5. Hefes, H., Lucantoni D. A Markov Modulated Characterization of Voice and Data Traffic and Related Statistical Multiplexer Performance/IEEE Journal on Selected Areas in Communications, September 1986. — vol. 4. — issue 6. — PP. 856 — 868.

## Выбор АЦП для цифрового радиоприемника

Женатов Бекин Десимбаевич, кандидат технических наук;

Аверченко Артем Павлович, аспирант;

Астапенко Дмитрий Викторович, студент

Омский государственный технический университет

Сегодня цифровые технологии получили очень широкое распространение, они применяются в таких областях, как средства связи и телекоммуникаций, различные радиотехнические системы и измерительная техника. Применение цифровых технологий обеспечивает доступ к большому объему информации, т. к. способ передачи данных с их помощью более простой и быстрый. Информационные и коммуникационные возможности становятся повсеместными.

Вследствие того, что аналоговые радиосистемы совершенствуются со времен изобретения радио, сейчас они достигли определенных максимумов в инновационной сфере. Однако с появлением цифровых платформ, наступила новая эра в радиотехнологиях.

В цифровых радиоприемниках по сравнению с аналоговыми более точная настройка частоты, что позволяет снизить уровень помех, и тем самым улучшить качество приема.

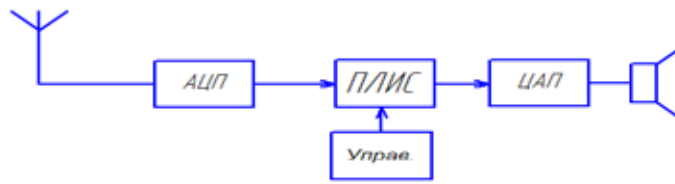


Рис. 1. Структурная схема цифрового радиоприемника

Реализация цифрового радиоприемника может быть осуществлена в соответствии со структурной схемой, представленной на рисунке 1.

Основой радиоприемника может стать ПЛИС Cyclone IV производства компании Altera, установленная на отладочной плате Terasic DE2-115. На ПЛИС будет происходить фильтрация, выполненная математическим путем, перенос спектра, детектирование. Далее сигнал передается на ЦАП и соответственно на звуковоспроизводящее устройство. Также на ПЛИС будет реализовано управление, что позволит задать частоту.

Так как сигнал с антенны поступает в аналоговом виде, то используется АЦП, для его преобразования в цифровой формат [1].

Как и любое другое электронное средство, АЦП обладает некоторыми характеристиками. Одной из таких является количество разрядов (разрядность), характеризует количество дискретных значений, которые преобразователь может выдать на выходе. Для цифрового радиоприемника достаточно 12 бит, что позволит выдать 4096 дискретных значений.

Частота дискретизации (быстродействие) определяет, сколько выборок в секунду будет производиться при оцифровке. Чем выше частота дискретизации, тем лучше затем удастся на основании цифровой формы звука восстановить аналоговый сигнал. Возьмем это значение в пределах 40–65MSPS.

Отношение СИГНАЛ/ШУМ:

$$\text{SNR(dB)} = 20 \log_{10} \left( \frac{A_{\text{signal}}}{A_{\text{noise}}} \right),$$

где  $A$  — среднеквадратичное значение амплитуды. Чем больше это отношение, тем меньше шум влияет на характеристики системы. Для идеального АЦП разрядностью 12 бит отношение СИГНАЛ/ШУМ составляет 74 дБ [2].

Итак, для создания цифрового радиоприемника были выбраны следующие характеристики АЦП: разрядность 12 бит, быстродействие 40–65MSPS, и отношение СИГНАЛ/ШУМ, максимально приближенное к 74 дБ.

Ведущими производителями АЦП являются компании: Texas Instrument, Linear Technology, Analog Devices, Maxim Integrated Products.

По выбранным критериям были отобраны АЦП, а также определена их стоимость (наличие) на российском рынке:

По соотношению параметры/цена, было выбрано АЦП ADC12040 [3], типовая схема включения которого представлена на рисунке 2.

ADC12040 — монолитный КМОП, преобразующий аналоговые входные сигналы в 12-битный цифровой код со скоростью 40 миллионов выборок в секунду (40 MSPS) [4]. Этот преобразователь использует дифференцирование, конвейерную архитектуру с цифровой коррекцией ошибок и схему выборки и хранения на чипе, чтобы минимизировать размер кристалла и энергопотребление, обеспечив тем самым динамические характеристики (Рис. 3). Устройство работает от 5V, и потребляет всего 340 мВт при 40 MSPS. Микросхема доступна в 32-выводном LQFP корпусе и работает в диапазоне температур от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+85^{\circ}\text{C}$ .

Дифференциальные входы обеспечивают равный симметричный размах от  $-V_{\text{REF}}$  до  $+V_{\text{REF}}$ . Для оптимальной производительности рекомендуется использовать дифференциальный режим.

Сигнал CLK используется для тактирования внутренней цифровой схемы ADC12040. Если частота CLK слишком низкая, заряд внутренних конденсаторов рассеивается, и выходные данные ухудшаются. Это ограничивает минимальный уровень дискретизации до 100 kSPS.

ADC12040 преобразует сигналы постоянно, однако когда на вход  $\overline{\text{OE}}$  подается «логическая единица», выходные контакты переводятся в высокоимпедансное состояние и чтение информации невозможно. При подаче «логического нуля» выходы находятся в активном состоянии.

Когда на вход PD подается «логическая единица» ADC12040 переходит в режим отключения, потребляемая мощность при этом составляет 70 мВт и выходные контакты не определены.

Таблица 1

АЦП различных производителей и их стоимость на российском рынке

Производитель	Название	Разрядность	Быстр-вие	Отн. С/Ш	Корпус	Стоимость
Texas Instrument	ADS5231	12	40	69,5	TQFP-64	35 100
	ADC12040	12	40	70	LQFP-32	330
	ADS807	12	53	69	SSOP-28	4 260
	ADS4122	12	65	70,9	VQFN-48	52 600
	ADS6122	12	65	71,6	VQFN-32	3928
Linear Technology	LTC2227	12	40	71,3	QFN-32	2 880
	LTC2141-12	12	40	70,8	QFN-64	-
	LTC1743	12	50	72,5	TSSOP-48	-
	LTC2293	12	65	71,3	QFN-64	33 300
	LTC2228	12	65	71,3	QFN-32	4 910
Maxim Integrated Products	MAX1206	12	40	68,6	TQFN-40	-
	MAX1421	12	40	66	LQFP-48	1 220
	MAX1420	12	60	66	LQFP-48	-
	MAX1207	12	65	68,5	TQFN-40	-
	MAX1211	12	65	66,8	TQFN-40	17 400
Analog Devices	AD9629-40	12	40	71,4	LFCSP-32	-
	AD9629-65	12	65	71,3	LFCSP-32	3 970
	AD9237-40	12	40	66,6	LFCSP-32	3 400
	AD9237-65	12	65	66,5	LFCSP-32	-
	AD9235-65	12	65	70,5	LFCSP-32	2468

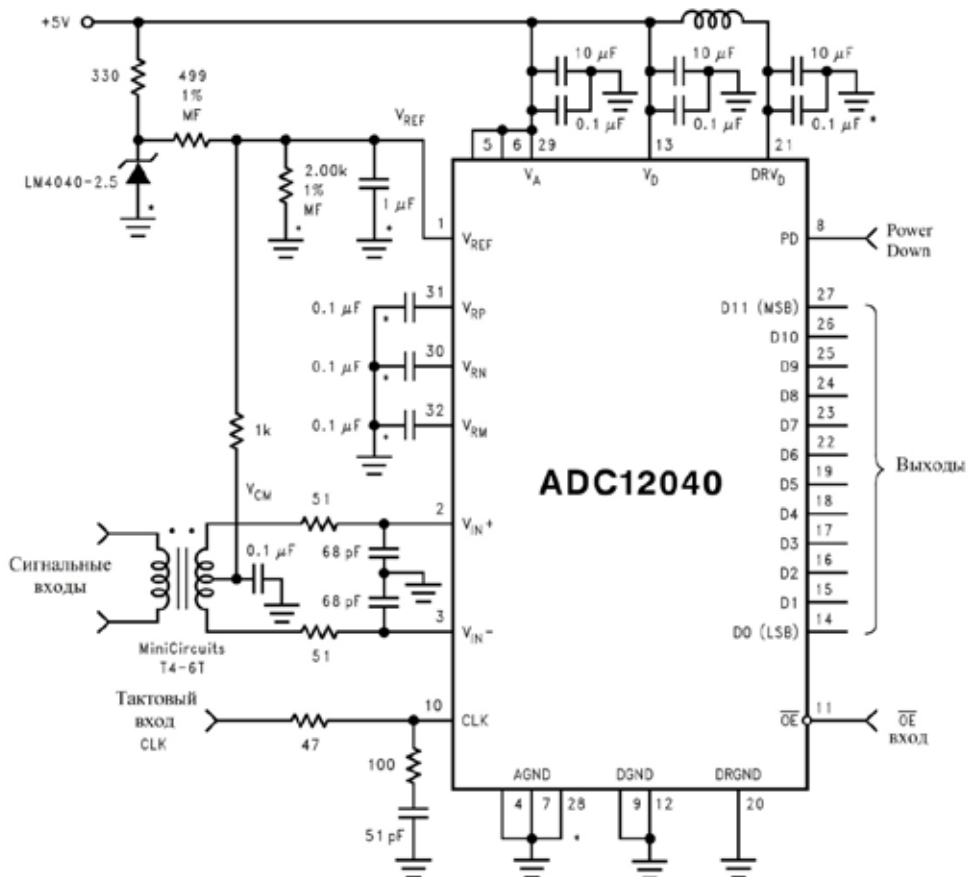


Рис. 2. Типовая схема включения ADC12040

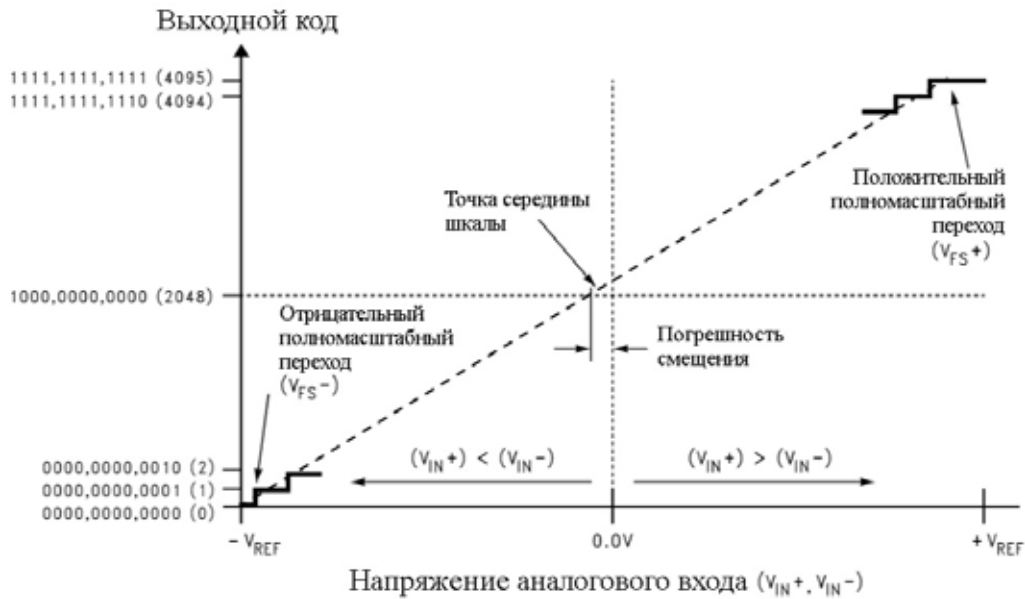


Рис. 3. Передаточная характеристика

*Литература:*

1. Токхейм, Р. Основы цифровой электроники: Пер. с англ./Р. Токхейм — М.: Мир, 1998. — 392 с.
2. Walden, R. H. Analog-to-Digital Converter Survey and Analysis/R. H. Walden // IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS. — 1999. — № 7. — С. 539–550.
3. Чип и Дип [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.chipdip.ru/product1/8656611608> — (25.03.15).
4. Texas Instruments [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.ti.com/product/adc12040> — (25.03.15).

## Выигрыш преобразования Хартли по коэффициенту ошибок у преобразования Фурье

Женатов Бекин Десимбаевич, кандидат технических наук;  
Аверченко Артем Павлович, аспирант;  
Садыков Жанат Булатович, студент  
Омский государственный технический университет

Сегодня в функциональных узлах цифровой передачи данных широко используется быстрое преобразование Фурье. Интерес к вариантам на основе быстрого преобразования Хартли появился относительно недавно. Обоснованно это тем, что этот метод долгое время находился под защитой патента. В связи с этим обстоятельством разработка эффективных алгоритмов быстрого преобразования Хартли не велась.

Преобразование Хартли — вещественное преобразование, благодаря чему не требуется выполнять операции с мнимой частью. На передающей стороне модуляция происходит с помощью обратного преобразования Хартли, а на приёмной стороне демодуляция — с помощью прямого преобразования Хартли. Так как прямое и обратное

преобразования Хартли идентичны, это существенно упрощает аппаратную и программную реализацию многоканальной системы связи, по сравнению с преобразованием Фурье.

Реализация классического способа передачи данных с частотным уплотнением посредством прямого и обратного преобразования Фурье (ПФ) сталкивается с рядом трудностей, среди которых особенно стоит отметить вычислительную сложность, если учесть комплексное представление чисел. Несимметричность ПФ относительно мнимой единицы компенсируется выполнением операции перестановки исходных данных, требующей дополнительных вычислительных затрат.

Альтернативным способом передачи информации по каналу связи является способ, основанный на использовании вещественного преобразования Хартли (ПХ).

Главная идея быстрого вычисления дискретного преобразования Фурье (ДПФ) — вектор делится на части, результаты обработки которых затем сливаются. Разделим общую сумму на две части: первая содержит слагаемые с чётными индексами, вторая — с нечётными. Это равенство даёт способ вычислять  $k$ -й коэффициент ДПФ вектора длины  $N$  через два преобразования длины  $N/2$ , одно из которых применяется к вектору  $a^{чѐт}$  из координат вида  $a_{2x}$ , а другое — к вектору  $a^{нечѐт}$  из координат вида  $a_{2x+1}$ .

Общая схема алгоритма состоит в повторяющемся сведении ДПФ вектора длины  $N$  к векторам длины  $N/2$  и объединении результатов. Базисом рекурсии служат векторы длины 1, для которых ДПФ — сам вектор [1].

Преобразование Хартли. Соотношения прямого и обратного преобразования Хартли записываются в виде пары преобразований:

$$H(f) = \int_{-\infty}^{\infty} V(t) \text{cas} 2\pi f t dt,$$

$$V(t) = \int_{-\infty}^{\infty} H(f) \text{cas} 2\pi f t df$$

где функция  $\text{cas}$  представляет собой сумму косинуса и синуса одного и того же аргумента:

$$\text{cas}(t) = \cos(t) + \sin(t)$$

Как видно алгоритм обработки сигналов идентичен как на передающей стороне, так и на приёмной стороне, что существенно упрощает аппаратную и программную реализацию многоканальной системы связи [2].

ДПФ вектора имеет физический смысл, а именно, если вектор представляет собой дискретизированный сигнал, то ДПФ раскладывает его по частотам. Преобразование Хартли не имеет такой явной интерпретации.

Однако, преобразование Хартли можно превратить в преобразование Фурье за  $N$  сложений и умножений, что быстрее, чем после обработка в действительные числа.

Поэтому, если исходные данные действительны, то БПХ может быть более эффективным, нежели БПФ. При этом при подстановке представлений коэффициентов Фурье, выраженных через элементы ДПХ, получается весьма удобное для вычислений выражение. Поэтому пересчёта ДПХ в ДПФ иногда можно избежать, и пример такого подхода рассматривается при умножении длинных чисел.

Параллелизм на уровне инструкций процессора также приблизительно одинаковый, поэтому реальная эффективность практически одна и та же. Однако, есть несколько моментов, которые отличаются.

— Код для БПХ проще. Формула обратного преобразования совпадает с формулой для прямого, за исключением множителя  $1/N$ , в то время как при вычислении обратного БПФ приходится вводить дополнительный параметр или делать новую функцию.

— Точность БПХ, как правило, немного выше, чем у БПФ.

— При вычислении БПФ действительного вектора сначала вычисляется «комплексное» БПФ половинной длины, а потом производится послеобработка, которая отсутствует в БПХ.

Это даёт БПХ дополнительное упрощение кода, по сравнению с БПФ и влияет на эффективность при малых длинах векторов. Однако, чем длиннее вектор — тем это влияние слабее [3].

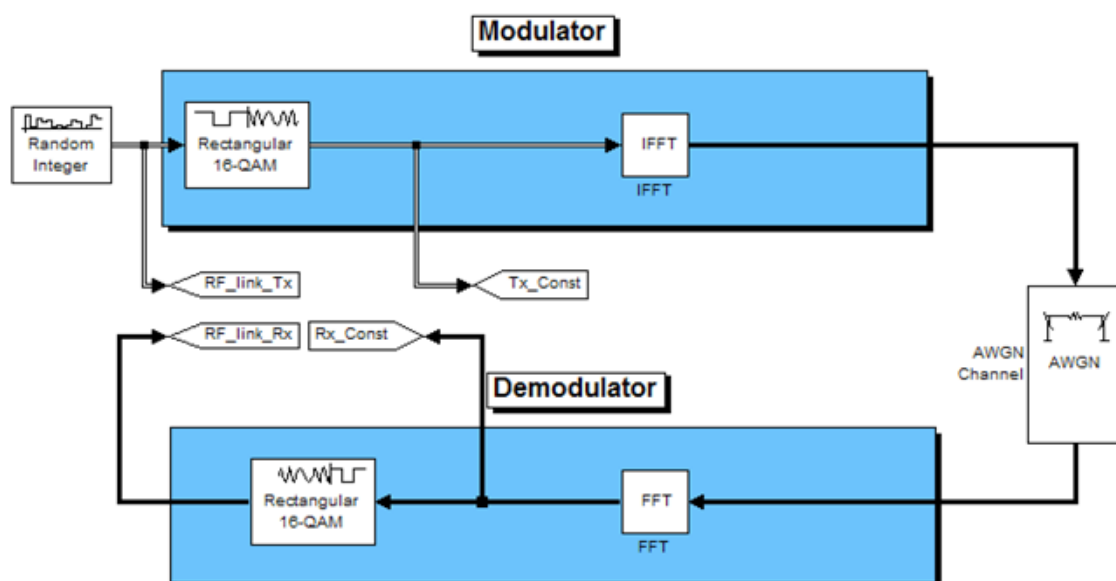


Рис. 1. Модель канала связи на основе преобразования Фурье

Таблица 1

Средние значения коэффициента ошибочных битов при различных отношениях сигнал/шум

SNR, дБ	80	70	60	50	40	30	20	10
BER	0,025	0,528	0,821	0,906	0,924	0,928	0,94	0,951

**Модель на основе преобразования Фурье**

На рисунке 1 изображена модель канала связи на основе преобразования Фурье разработанная в среде Simulink.

Блок Random Integer — генератор псевдослучайных чисел выступает в роли источника сообщений. От источника сообщений данные поступают в модулятор, который состоит из двух блоков. Первый Rectangular 16-QAM — квадратурный модулятор. Модулированный сигнал поступает на блок IFFT — обратного быстрого преобразования Фурье. После преобразования сигнала в модуляторе данные поступают в канал связи на блок AWGN — аддитивный белый гауссовский шум. После канала связи сигнал передаётся в демодулятор, который состоит из двух блоков. Первый блок FFT — быстрого преобразования Фурье. Далее на Rectangular 16-QAM — квадратурный демодулятор.

С входа модулятора и выхода демодулятора через ярлыки RF\_link\_Tx и RF\_link\_Rx, соответственно, данные передаются в блок расчёта коэффициента ошибочных битов.

Результаты анализа модели по коэффициенту оши-

бочных битов при различных отношениях сигнал/шум приведены в таблице 1.

**Модель модема на основе преобразования Хартли**

На рисунке 2 изображена модель модема на основе преобразования Хартли разработанная в среде Simulink.

Модулированный сигнал поступает на блок msfunifht — быстрого преобразования Хартли, которых в схеме два одинаковых в передатчике и приемнике.

Результаты анализа модели по коэффициенту ошибочных битов при различных отношениях сигнал/шум приведены в таблице 2.

Обобщённые графики зависимостей коэффициента ошибочных битов от отношения сигнал/шум для модемов на основе преобразования Фурье, преобразования Хартли изображены на рисунке 3.

Выигрыш преобразования Хартли перед преобразованием Фурье по коэффициенту ошибочных битов порядка 25дБ.

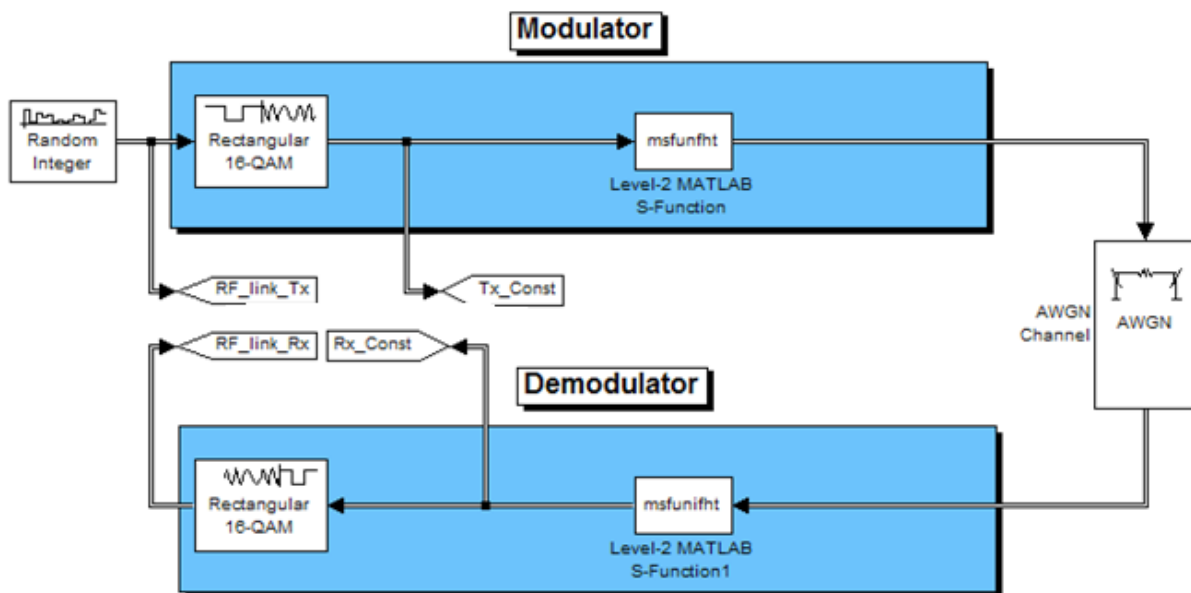


Рис. 2. Модель модема на основе преобразования Хартли

Таблица 2

Средние значения коэффициента ошибочных битов при различных отношениях сигнал/шум

SNR, дБ	80	70	60	50	40	30	20	10
BER	0	0	0,005	0,124	0,402	0,812	0,874	0,909

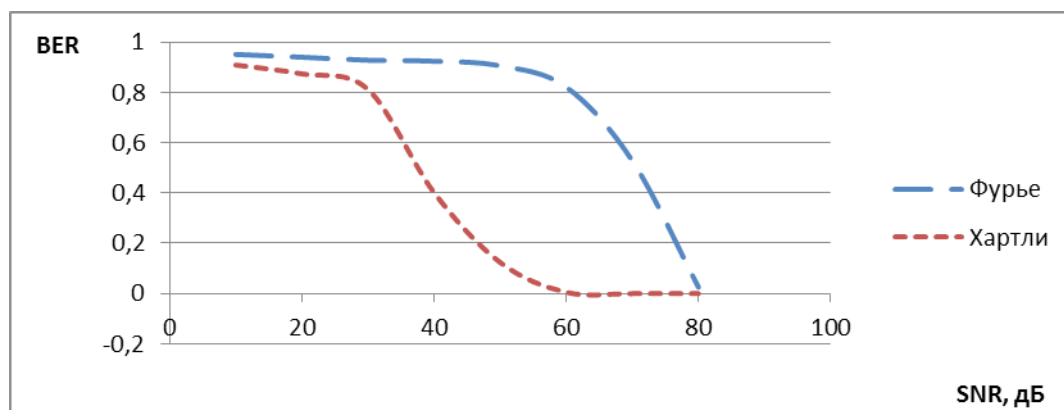


Рис. 3. Зависимости коэффициента ошибочных битов от отношения сигнал/шум

#### Литература:

1. Брейсуэлл, Р. Преобразование Хартли. Теория и приложения: [пер. с англ.]/под ред. И. С. Рыжак. — М.: Мир 1990. — 175 с.
2. Слюсар, В.И. Метод неортогональной частотной дискретной модуляции на основе преобразования Хартли с квадратурной амплитудной модуляцией частотных несущих./В.И. Слюсар, В.Г. Смоляр. // Системы обработки информации. — 2008. — вып. №2, с. 102–104.
3. Слюсар, В.И. Метод неортогональной частотной дискретной модуляции для узкополосных каналов связи./В.И. Слюсар, В.Г. Смоляр. // Радиоэлектроника. — 2004. — вып. №4, С.: 53–59.

## Применение и возможности оптоволоконного кабеля

Зильгараева Алия Кылышбаевна, магистр, старший преподаватель;

Круговых Тимофей Владимирович, студент;

Ненашев Евгений Анатольевич, студент

Университет «Туран» (г. Алматы, Казахстан)

*Рассмотрены различные виды оптоволоконного кабеля, характеристики и свойства кабелей, их воздействие на передачу информации.*

*Various types of fiber optic cables, the characteristics and properties of wires and cables, their impact on the transmission of information.*

**О**птоволоконный (он же волоконно-оптический) кабель — это принципиально иной тип кабеля по сравнению с рассмотренными двумя типами электрического или медного кабеля. Информация по нему передается не электрическим сигналом, а световым. Главный его элемент — это прозрачное стекловолокно, по которому свет проходит на огромные расстояния (до десятков километров) с незначительным ослаблением. Структура оптоволоконного кабеля очень проста и похожа на структуру коаксиального электрического кабеля, только вместо центрального медного провода здесь используется тонкое (диаметром порядка 1–10 мкм) стекловолокно, а вместо внутренней изоляции — стеклянная или пластиковая

оболочка, не позволяющая свету выходить за пределы стекловолокна. В данном случае мы имеем дело с режимом так называемого полного внутреннего отражения света от границы двух веществ с разными коэффициентами преломления (у стеклянной оболочки коэффициент преломления значительно ниже, чем у центрального волокна). Металлическая оплетка кабеля обычно отсутствует, так как экранирование от внешних электромагнитных помех здесь не требуется, однако иногда ее все-таки применяют для механической защиты от окружающей среды (такой кабель иногда называют броневым, он может объединять под одной оболочкой несколько оптоволоконных кабелей).

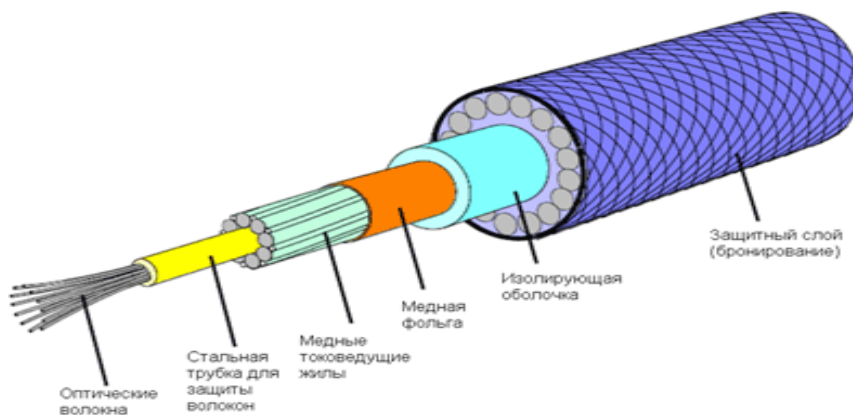


Рис. 1. Структура оптоволоконного кабеля

Оптоволоконный кабель обладает исключительными характеристиками по помехозащищенности и секретности передаваемой информации. Никакие внешние электромагнитные помехи в принципе не способны исказить световой сигнал, а сам этот сигнал принципиально не порождает внешних электромагнитных излучений. Подключиться к этому типу кабеля для несанкционированного прослушивания сети практически невозможно, так как это требует нарушения целостности кабеля. Теоретически возможная полоса пропускания такого кабеля достигает величины 10<sup>12</sup> Гц, что несравнимо выше, чем у любых электрических кабелей. Однако оптоволоконный кабель имеет и некоторые недостатки.

Самый главный из них — высокая сложность монтажа (при установке разъемов необходима микронная точность, от точности скола стекловолокна и степени его полировки сильно зависит затухание в разъеме). В любом случае для этого нужна высокая квалификация персонала

и специальные инструменты. Поэтому чаще всего оптоволоконный кабель продается в виде заранее нарезанных кусков разной длины, на обоих концах которых уже установлены разъемы нужного типа.

Существуют два различных типа оптоволоконных кабелей:

- многомодовый или мультимодовый кабель, более дешевый, но менее качественный;
- одномодовый кабель, более дорогой, но имеющий лучшие характеристики.

Основные различия между этими типами связаны с разным режимом прохождения световых лучей в кабеле. В одномодовом кабеле практически все лучи проходят один и тот же путь, в результате чего все они достигают приемника одновременно, и форма сигнала практически не искажается. Одномодовый кабель имеет диаметр центрального волокна около 1,3 мкм и передает свет только с такой же длиной волны (1,3 мкм). Дисперсия и потери

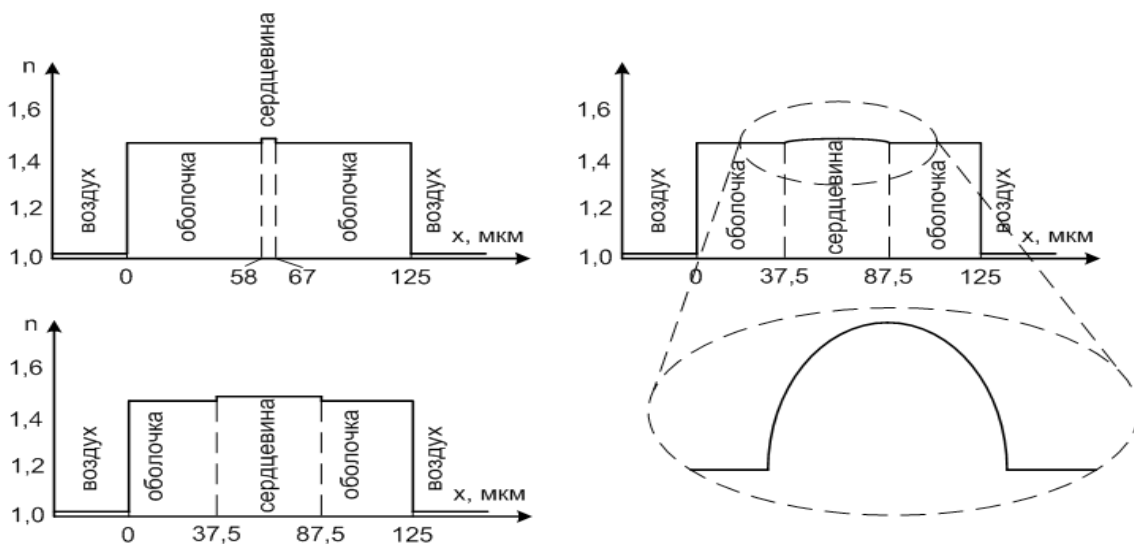


Рис. 2. Профиль показателя преломления различных типов оптических волокон: слева сверху — одномодовое волокно; слева снизу — многомодовое ступенчатое волокно; справа — градиентное волокно с параболическим профилем



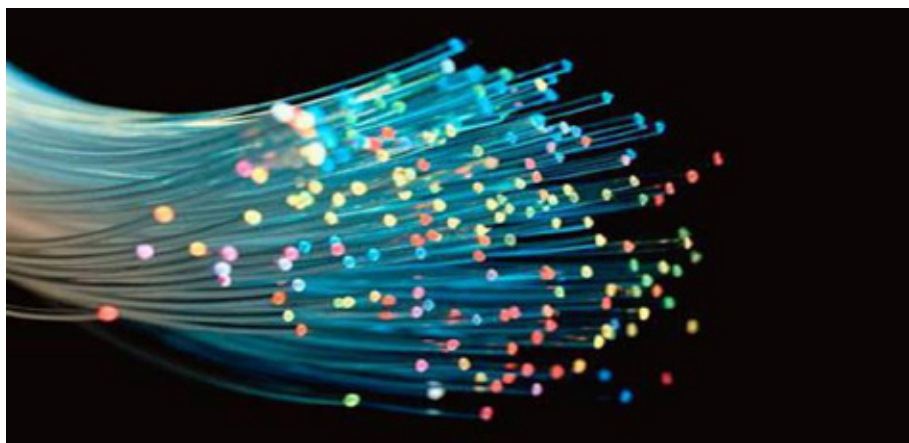


Рис. 2. Пучок оптических волокон

сигнала при этом очень незначительны, что позволяет передавать сигналы на значительно большее расстояние, чем в случае применения многопарного кабеля. Кабель первого вида имеет плотный буфер, стальную бронированную ленту, устойчив к влаге. Применяется при создании подсистем для прокладки внешних магистралей и для объединения нескольких зданий. Обычно его прокладывают в кабель-канале.

Принцип, по которому работает оптическое волокно и почему по нему распространяется свет, очень прост. Как многие знают, свет распространяется только по прямой линии, и он не может изменять направление самостоятельно. Следовательно, чтобы свет распространялся по кругу его нужно несколько раз отразить. На этом, и основан принцип работы оптоволокон. В нём свет многократно переотражается, так как показатель преломления сердцевины немного больше, чем у поверхности оптоволокон.

В современном мире оптоволоконные кабели соединяют не только дома страны, но и целые континенты.

Садясь сегодня за компьютер и выходя в интернет, не многие пользователи задумываются о том, почему сегодня сеть стала такой качественной и быстрой. Хотя,

всего десять лет назад ситуация была куда более плачевной и доступ к сегодняшним скоростям имели в основном крупные информационные компании и пользователи, живущие в технологически развитых городах. В современном мире хороший интернет уже не является чем-то необычным, а скорее является необходимостью, которая открывает всем пользователям более широкие возможности коммуникации с окружающим их миром. Говоря о деформациях, можно привести такой пример, оптическое волокно можно изгибать произвольным образом, даже в кольцо и свет будет без особых проблем проходить по нему, не теряя своих физических характеристик. Хотя, если требуется передать информацию на более дальние расстояния и в других диапазонах длин электромагнитных волн (инфракрасный свет), тогда применяются другие материалы: халькогенидное стекло, флуоро-алюминат и флуоро-цирконат. Более современные кабели изготавливаются из полимерных материалов, они так и называются оптические волокна из пластика. Все эти материалы имеют схожий со стеклом показатель преломления, что позволяет использовать их в оптоволоконных кабелях, соединяющие целые континенты.

#### *Литература:*

1. Большой энциклопедический политехнический словарь. 2004 г.
2. Энциклопедия «Техника». — М.: Росмэн. 2006 г.
3. Гюнтер Мальке, Петер Гёссинг «Волоконно-оптические кабели», 2001 г. Новосибирск, Издательский дом «Вояж»

## Исследования технологий GPRS на основе стандарта GSM

Нусупбеков Серик Имансерикович, доктор технических наук, профессор;

Набиева Асель Акимбековна, студент;

Абдыкасым Данияр Болатович, студент

Университет «Туран» (г. Алматы, Казахстан)

*В статье представлена технология GPRS на основе стандарта GSM*

*The article presents the GPRS technology based on GSM standard*

В 1982 году СЕПТ (Почтовая и телеграфная Европейская конференция) в целях разработки общеевропейской системы сотовой мобильной связи создала рабочую группу, получившую название GSM (Groupe Special Mobile — Специальная мобильная группа). Разрабатываемая система должна была удовлетворять следующим критериям:

- высокое качество передачи речевой информации;
- низкая стоимость оборудования и предоставляемых услуг;

- поддержка портативного пользовательского оборудования; т.е. возможности использования абонентом мобильного телефона при перемещении в другую сеть GSM.

В 1990 году были опубликованы спецификации первой фазы GSM. К середине 1991 года начали поддерживаться коммерческие услуги мобильной связи в этом стандарте, а к 1993 году функционировало уже 36 сетей GSM в 22 странах, и еще 25 стран выбрали направление GSM или поставили вопрос о его принятии. Несмотря на то, что система GSM была стандартизована в Европе, на самом деле она не является исключительно европейским стандартом. Существует несколько отличительных черт влияющих на качество предоставляемых услуг и на стоимость самой сети:

- из-за более высокой частоты уменьшается максимально возможный радиус соты, а точнее — максимальное удаление абонента от базовой станции. Для GSM-900 это расстояние равно 35 км. Для GSM-1800 — около 10 км;

- на частотах 1800–2000 МГц радиоволны имеют несколько иные проникающие свойства;

GSM-1800 имеет, куда больший диапазон частот. Кроме этого в диапазонах 1800 и 1900 частотное планирование выполняется гибче в силу большего числа каналов и меньшего радиуса сот.

Максимальная излучаемая мощность мобильных телефонов стандарта **GSM-1800**—1Вт, для сравнения у **GSM-900**—2Вт. Не большая излучаемая мощность позволяет экономить заряд батареи мобильного телефона, однако высокая частота увеличивает вредное воздействие на организм человека т.н. «эффект микроволновой печи». Система сотовой связи стандарта GSM в эволюционной модели развития относится к поколению 2G. Первым поколением сотовой связи была — аналоговая. На сегодняшний день развитие мобильной связи стоит на пороге 3G — третьего поколения. Также существует так назы-

ваемое промежуточное поколение — 2,5G. В него вошли такие технологии, как GPRS и EDGE.

В стандарте GSM используется узкополосный много-станционный доступ с временным разделением каналов (NB TDMA). В структуре TDMA кадра содержится 8 временных позиций на каждой из 124 несущих. Для защиты от ошибок в радиоканалах при передаче информационных сообщений применяется блочное и сверточное кодирование с перемежением. Повышение эффективности кодирования и перемежения при малой скорости перемещения подвижных станций достигается медленным переключением рабочих частот (SFH) в процессе сеанса связи со скоростью 217 скачков в секунду.

В стандарте GSM выбрана гауссовская частотная манипуляция с минимальным частотным сдвигом (GMSK). Обработка речи осуществляется в рамках принятой системы прерывистой передачи речи (DTX), которая обеспечивает включение передатчика только при наличии речевого сигнала и отключение передатчика в паузах и в конце разговора. В качестве речепреобразующего устройства выбран речевой кодек с регулярным импульсным возбуждением/долговременным предсказанием и линейным предикативным кодированием с предсказанием (RPE/LTR-LTP-кодек). Общая скорость преобразования речевого сигнала — 13 кбит/с. (Рис. 1.)

Функциональное сопряжение элементов системы осуществляется рядом интерфейсов. Все сетевые функциональные компоненты в стандарте GSM взаимодействуют в соответствии с системой сигнализации МККТТ SS N 7 (ССИТТ SS N 7).

Значительно более широкие возможности могут быть обеспечены при реализации в рамках стандарта GSM технологий GPRS и EDGE. Эту фазу развития стандарта GSM принято обозначать «2G+» или «2,5G». В настоящее время уже очевидно, что модернизация GSM и развитие UMTS будут происходить в течение длительного времени, при этом обе технологии будут развиваться параллельно. Первым шагом на этом пути было внедрение технологии HSCSD, ориентированной на передачу данных с коммутацией каналов.

Протокол GPRS (General Packet Radio Service) используется для передачи данных в любых сетях GSM. Это позволяет сетям GSM быть совместимым с Internet. GPRS использует пакетную технологию для эффективной

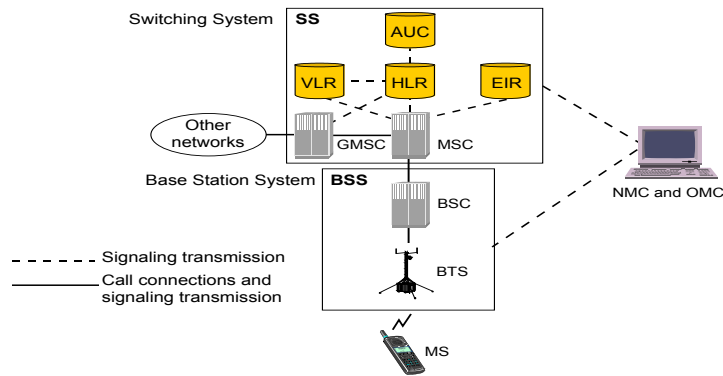


Рис. 1. Структурная схема сети GSM

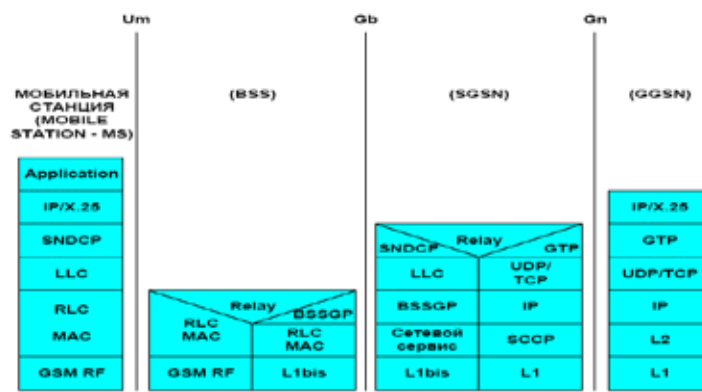


Рис. 2. Маршрут передачи GPRS

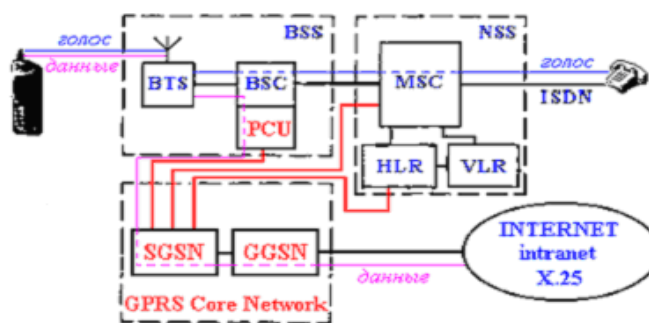


Рис. 3. Структурная схема GSM с GPRS

передачи неравномерного трафика. Протокол поддерживает скорость передачи от 9,6 Кб/с до более чем 150 Кб/с на одного пользователя. Основными характеристиками протокола GPRS являются эффективное использование радио- и сетевых ресурсов, а также полностью прозрачная поддержка протокола IP. GPRS оптимизирует использование сетевых и радиоресурсов. Протокол адаптирован к неравномерному характеру графика пользовательских приложений. Еще одной важной характеристикой GPRS является обеспечение немедленного соединения и высокая пропускная способность. Поддерживаются приложения, базирующиеся на стандартных

протоколах передачи данных, таких, как IP и X. 25. В GPRS обессточиваются 4 различных уровня качества обслуживания (Рис. 2).

Доработку GSM-сети для предоставления услуг высокоскоростной передачи данных GPRS можно условно разделить на две формы — программную и аппаратную. Если говорить о программном обеспечении, то оно нуждается в замене или обновлении практически всюду — начиная с реестров HLR-VLR и заканчивая базовыми станциями BTS (Рис. 3). В частности, вводится режим многопользовательского доступа к временным кадрам каналов GSM, а в HLR, например, появляется новый параметр Mobile

Station Multislot Capability (количество каналов, с которыми одновременно может работать мобильный телефон абонента).

В ходе построения сети было осуществлено частотное и территориальное планирование. Были рассчитаны ос-

новные параметры сети, включая возможную абонентскую нагрузку, зону покрытия базовой станции, качественные показатели, помехоустойчивость модуляции GMSK.

#### Литература:

1. Громаков, Ю. А. Стандарты и системы подвижной радиосвязи. — М.: Радио и связь, 2005. — 238 с.
2. Варакин, Л. Е. Теория систем сигналов. — М.: Радио и связь, 2003. — 330 с.
3. Ульн, Т. Техника подвижной систем связи. — М.: РИС, 2000. — 223 с.
4. Баскаков, С. И. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Высшая школа, 2004. — 448 с.

## Система синхронизации по абсолютному точному времени

Сало Антон Андреевич, студент;  
Садыков Жанат Булатович, студент;  
Цымбалова Екатерина Игоревна, студент  
Омский Государственный Технический Университет

Главной задачей синхронизации цифровой сети является гарантированное получение одинаковой скорости передачи и приема информации в сетях, а также не допустить, так называемых, «проскальзываний». Существуют две основные схемы распределения синхросигналов. Наиболее распространенная основывается на системах передачи на плезенхронной цифровой иерархии (ПЦИ) или на синхронной цифровой иерархии (СЦИ). Эта схема распределения имеет иерархическую архитектуру «ведущий-ведомый». Другая схема использует сигналы глобальных спутниковых навигационных систем, таких как GPS и ГЛОНАСС.

Спутниковая система распределяет всемирное координированное время (UTC), частоту всем местным генераторам и обеспечивает получение небольших блужданий, легко поддается изменениям и развитию.

В радиотехнике синхронизацией называют процесс подстройки значащих моментов цифрового сигнала для установления и поддержания требуемых временных соотношений, это же понятие в теории колебаний подразумевает процесс установления и поддержания режима колебаний двух и более связанных осцилляторов, частоты которых совпадают или же кратны. [1] Синхронизация может быть взаимной и принудительной. Взаимная синхронизация появляется в результате того, что в двух связанных системах, кроме собственных колебаний, возникают вынужденные — за счет второй системы. Принудительная синхронизация обеспечивается в системах связи внешними сигналами станций точного времени или сигналами внутреннего высокостабильного эталона частоты.

Существуют виды синхронизации [2]:

1. Фазовая (фаза принимаемого высокочастотного несущего колебания определена);

Такая синхронизация нашла применение в частотной модуляции и демодуляции, умножения и преобразования частоты, частотной фильтрации и др. [3]

2. Тактовая (временные границы принимаемых элементов определены);

Для реализации тактовой синхронизации в преамбулу сообщения включают продолжительный фрагмент сигнала, что увеличивает продолжительность сеанса связи и уменьшает скорость передачи сообщения.

3. Цикловая (определяет моменты времени начала кодовых знаков);

Цикловая синхронизация обеспечивает определение начала кодовых слов. Она увеличивает продолжительности сеанса связи (уменьшает скорость передачи сообщения).

4. Кадровая (определяет моменты времени начала и конца групповых пакетов);

Такая синхронизация применяется в многоканальных системах с временным уплотнением и обеспечивается кадровыми синхрословами в начале отдельного кадра.

5. Сеансовая (определяет моменты времени начала и конца передаваемых сообщений).

Сеансовая синхронизация реализуется за счет вызывных сигналов или принудительным использованием абсолютного всемирного времени. Обычно сигналы тактовой, кадровой и цикловой синхронизации связаны по фазе. Частоту повторения кодовых слов  $f_{ц}$  возможно определить по формулам:  $f_{ц} = f/p$ ,  $f_{к} = f_{ц}/k_{сл}$ , где  $f$  — тактовая частота,  $p$  — число разрядов в кодовом слове,  $f_{к}$  — частота повторения кадров,  $f_{ц}$  — частота повторения кодовых слов,  $k_{сл}$  — число кодовых слов в кадре.

Устройства синхронизации можно разделить на два типа. Первый тип предназначен для синхронизации отсчетов времени (фазовая и тактовая синхронизация),

благодаря им создаются временные шкалы. Второй тип предназначен для устранения неоднозначности отсчетов времени при определении начала слова, кадра и сообщения. Принципиальное отличие типов устройств синхронизации отражается на методах поиска и оценки синхропараметров и качестве их работы. Качество работы определяется степенью соответствия фазы входного колебания и колебания местного генератора: до начала работы неопределенность в оценке фазы  $\varphi$  принимаемых синхроколебаний может быть задана плотностью распределения  $\omega_{\text{вх}}(\varphi)$ . При отсутствии дополнительной информации о параметре  $\varphi$  можно сделать предположение, что закон распределения  $\omega_{\text{вх}}(\varphi)$  — равномерный на интервале  $[-\pi; \pi]$ . В результате работы системы синхронизации неопределенность уменьшается поэтапно.

Тактовую синхронизацию можно осуществить несколькими способами. В первом случае, когда таймеры приемника и передатчика синхронизированы по образцовому таймеру, приемник должен оценить и скомпенсировать лишь относительное время задержки между переданным и принятым сигналами. Этот метод используют в низкочастотных ( $< 30$  кГц) системах радиосвязи, где сигналы точного времени посылаются эталонной станцией точного времени. [4] На более высоких частотах КВ и УКВ используются более высокие скорости передачи, при которых длительности элементов сравнимы или меньше разности возможных времен распространения сигнала по каналу связи, здесь метод тактовой синхронизации в абсолютном времени быть использован не может.

В основе второго метода для радиоустройств, эксплуатирующих высокие частоты, лежит использование одновременной передачи таймерной частоты, равной или кратной  $1/T$  ( $T$  — символный интервал) и информационного сигнала. Приемник использует узкополосный фильтр, настроенный на переданную таймерную частоту, чтобы извлечь сигнал для стробирования. К минусам этого метода относятся: необходимость в дополнительной мощности передатчика, занятие некоторой полосы частот в канале для передачи таймерного сигнала. Этот метод тактовой синхронизации применяется в системах телефонной связи. Эти системы используют широкие полосы частот для передачи сигналов большого количества пользователей, на которых делаются затраты передачи таймерного сигнала.

Еще один метод тактовой синхронизации заключается в том, чтобы извлечь информацию о местоположении тактовых импульсов из принимаемого сигнала. Это осуществляется устройством синхронизации и регенерации сигнала. К недостаткам такого метода следует отнести время для вхождения в синхронизм и случайное отклонение моментов принятия решения о значении элемента при небольших отношениях сигнал/шум. [4]

Одним из способов цикловой и кадровой синхронизации является введение маркера. Маркер — это отдельный бит или их короткая последовательность, периодически вводимая передатчиком в поток данных. Зная

эту последовательность и период ее передачи, приемник определяет корреляцию с присутствующей копией и путем подстройки достигает наибольшего значения этой корреляции. В этом случае увеличивается время передачи сообщения.

Так же для цикловой и кадровой синхронизации применяются длинные синхронизирующие кодовые слова (последовательности Баркера или Уилларда). Они передаются частью заголовка сообщения, имеют малое абсолютное значение побочных максимумов корреляции, это увеличивает время передачи сообщения.

Кадровая синхронизация может обеспечиваться принудительно без специально передаваемых сигналов, используя высокостабильные опорные генераторы, которые синхронизируются системами абсолютных всемирного или системного точного времени. Это сокращает время передачи и предохраняет от возможных ошибок систем синхронизации.

Спутниковая система навигации — комплексно электронно-техническая система, состоящая из совокупности наземного и космического оборудования, ее назначение — определение местоположения (географические координаты и высота) и параметров движения (скорость, направление и др.) для наземных, воздушных и водных объектов.

Принцип работы ССН заключается в измерении расстояния от антенны на объекте, координаты которого нужно получить, до спутников, положение которых известно с большей точностью. Каждый спутниковый приёмник имеет в себе альманах расположения спутников на орбите. Благодаря этому альманаху, можно вычислить положения объекта в пространстве. Чтобы измерить время распространения радиосигнала каждый спутник ССН излучает сигналы точного времени, используя синхронизированные с системным временем атомные часы. Часы спутникового приёмника синхронизируются с системным временем, далее вычисляется задержка между временем излучения и временем приёма сигнала. Затем приёмник вычисляет координаты антенны, а другие параметры вычисляются на основе измерения времени, затраченного объектом на перемещение между двумя и более точками с определёнными координатами. Метки точного времени на передающей и приёмной сторонах радиолинии формируются с помощью приёмников сигналов ГНСС ГЛОНАСС и GPS.

При принудительной тактовой и цикловой синхронизации с использованием абсолютного точного времени сокращается общее время передачи сообщения, так как не требуется внедрения дополнительной информации в сообщение для обеспечения тактовой синхронизации и сводится к минимуму неточность в моментах принятия решений о значениях принимаемых элементов.

Рассмотрим структурную схему одной из таких систем (рис. 1):

Система синхронизации, структурная схема которой изображена на рисунке 1 функционирует: с помощью



Рис. 1. Структурная схема системы синхронизации по абсолютному точному времени

приёмников сигналов станции точного времени сигнал от источника сигналов точного времени принимается на передающем и приёмном концах радиолинии и периодически приводит блоки синхронизации приёмника и передатчика, которые являются внутренними часами системы, в абсолютно одинаковое состояние. Опорные генераторы служат вторичными эталонами частоты передатчика и приёмника, обеспечивают требуемую стабильность собственных часов этих устройств между периодами синхронизации по сигналу станции точного времени. Информация от источника сообщения кодируется кодером с привязкой начала кодовой последовательности и временного положения границ элементов к абсолютному времени по тактовым импульсам, поступающим от блока синхронизации с учётом (или без учёта) времени распространения сигнала.

Возбудители передатчика осуществляется манипуляция сигнала и преобразования его на рабочую частоту. Усилитель мощности передатчика обеспечивает согласование с антенно-фидерным трактом и излучение радиосигнала с заданным уровнем в эфир. Приёмник преобразует принимаемый сигнал по частоте и транслирует его на вход демодулятора, где с помощью тактовых импульсов, поступающих от блока синхронизации, производится оптимальная интегральная детектирование выносятся решение о значении принимаемого элемента сообщения. С выхода демодулятора бинарная последовательность поступает на вход декодера, где с помощью импульсов цикловой синхронизации определяется начало кодовых комбинаций и производится декодирование принятого сообщения. С выхода декодера информация поступает к получателю сообщения [5].

#### Литература:

1. Трофимова, Т.И. Курс физики./Т.И. Трофимова 11-е изд., стер. — М.: Академия, 2006. — 560 с.
2. Пат. 2007125107/09. Способ передачи дискретных сообщений по каналам радиосвязи/В.Л. Хазан, Д.В. Д. В. Федосов (Россия). — №237723/25—06; Заявлено 02.07.2007; Оpubл. 27.12.2009. Бюл.№11, (Россия). — 14 с.:ил.
3. Склад Б Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение./Б. Склад. изд. 2-ие испр.: Пер. с англ.-М.:«Вильямс», 2003.—1104 с.:с ил.
4. Информационные технологии в радиотехнических системах. Под ред. Федорова И. Б., — М.: Изд-во МГТУим. Баумана, 2004.1109 с.
5. Лебедев, О.Т. Конструирование и расчет электронной аппаратуры на основе интегральных микросхем.-Л.:Машиностроение,1976 г.

## 3. АВТОМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

### Аналитический обзор развития робототехники, оценка возможности применения для робототехнического зрения ПЗС-матриц

Мамелин Юрий Валерьевич, студент  
Кубанский государственный университет (г. Краснодар)

За последнее десятилетие в повседневной жизни человека стали обыденными такие вещи как роботы пылесосы, автономные газонокосилки, различные Android (ы) способные к обучению (NOA). По статистическим подсчетам до 2025 года робототехника сделает громадный скачок и её объём вырастет более чем на сто процентов от нынешнего состояния робототехники в мире.

Россия в настоящее время стоит на этапе становления роботостроения и робототехники. Для привлечения общественности проводятся выставки и экспозиции роботов, которые достигнуты, как во всем мире, так и в России. Стоит отметить, что в последние годы для развития робототехники различные Российские фонды учредили множество грантов и стипендий для студентов и молодых ученых.

Проводятся соревнования по робототехнике, наиболее распространенными дисциплинами таких соревнований: робот следующий по линии, робот баскетболист, робот спасатель (МЧС), робот погрузчик, робофутбол и многое другое. Такие соревнования направлены на то, чтобы студенты и школьники заинтересовались такими вещами как роботостроение и робототехника. Развевали свои решения данной проблемы, старались, как то усовершенствовать и доработать уже имеющиеся решения.

Одной из проблем, которая встречается у робототехнических платформ, это позиционирование робота относительно каких-то линий, будь то границы игрового поля для робофутбола или специализированная разметка для определения места броска в робобаскетболе. Если для приведенных выше дисциплин актуальны довольно небольшие скорости, то для робота, следующего по линии скорость робота должна быть в разы больше порядка 1,5 м/с, а на соревнованиях международного уровня скорость достигает и 3 м/с.

Рассматриваются различные методы решения данной проблемы это:

— Использование фотодатчиков (оптопары или набор из фототранзистора и светодиода одного спектрального диапазона).

— Обработка видеосигнала.

— Применение различных ПЗС матриц, таким может быть сенсор ADNS-2610 («используемый в оптических мышках» имеет небольшую встроенную ПЗС-матрицу,

данные с которой позволят определять цвет поверхности под роботом).

Эти методы довольно эффективны и применяются для различных целей в робототехнике. Но для определения любого цвета поверхности отличного от черного необходимо использование четко настроенного на этот цвет фотодатчика с применением светофильтра. Если для этих целей использовать видеокамеру, то становится вопрос о громадных кодах по обработке видеосигнала и подборке контроллера, способного его обработать с высокой продуктивностью.

Небольшая ПЗС — матрица из оптической мыши со всей уверенностью способна справляться с данной задачей на высоком уровне, но тут возникают следующие проблемы:

— Ухудшение качества изображения при увеличении расстояния от поверхности до матрицы (неровности поверхности).

— Способность определения только черного цвета.

Альтернативное решение этой проблемы можно получить, используя принцип работы ПЗС технологии с высокой концентрацией пикселей на дюйм (линейка на принципе зарядовой связи). ПЗС — это технологии, которые начали развиваться вскоре после того, как был изобретен транзистор, а в 1970 г. был предложен и продемонстрирован экспериментально принцип зарядовой связи.

Впервые принцип ПЗС с идеей сохранять и затем считывать электронные заряды был разработан двумя инженерами корпорации BELL в конце 60-х годов в ходе поиска новых типов памяти для ЭВМ, способных заменить память на ферритовых кольцах. Эта идея оказалась перспективной, но была замечена способность кремния реагировать на видимый спектр излучения. Мысль использовать этот принцип для обработки изображений, получила своё развитие.

С 1970 г. ПЗС технологии широко шагнули вперед и ныне приборы с числом элементов 4096×4096 и с квантовым выходом около 90% уже не являются экзотикой. В настоящее время они используются во многих устройствах, которые мы используем в быту (цифровой фотоаппарат, видеокамера, оптическая мышь, различные сканеры).

К основным характеристикам ПЗС, стоит отнести их спектральные характеристики зависимость выходного сигнала от длины волны, или, что эквивалентно, на квантовом выходе — количество фотоэлектронов на один фотон падающего излучения.

В теории спектральную характеристику (СХ) ПЗС можно определить, по двум факторам:

1. Прохождение света через электродную структуру
2. Фотогенерация, вызванная поглощением света непосредственно в полупроводнике (внутренний квантовый выход).

Фотогенерацию вызывают только фотоны с энергией, превышающей ширину запрещённой зоны — около 1,2 эВ (что соответствует длине волны чуть больше 1,05 мкм — это ближний ИК диапазон). Фотоны с большей длиной волны просто не поглощаются и соответственно не дают вклада в выходной сигнал, а длина  $\sim 1,05$  мкм оказывается красной границей фотоэффекта в кремнии. При уменьшении длины волны коэффициент поглощения постепенно растёт; так, при  $\lambda = 1$  мкм свет затухает в  $e$  раз на 100 мкм, при  $\lambda = 0,7$  мкм (красный цвет) — на 5 мкм, а при  $\lambda = 0,5$  мкм (зелено-голубой) — на 1 мкм.

Пропускание света электродной структурой предполагает, что свет, попадает в полупроводник, проходя через несколько слоёв, которые имеют различные оптические характеристики. Так что неизбежна интерференция падающего света, однако толщина этих слоёв соизмерима с длиной волны. Далее поликристаллический кремний, из которого сделаны электроды, совершенно не прозрачен в области длин волн до 430–450 нм (синий и фиолетовый цвета).

Существует две основные технологии светочувствительных элементов основанных на принципе зарядовой связи это:

- CCD — представляет собой полосу светочувствительных элементов
- CIS «Contact Image Sensor»  
Работа по CCD принципу.

Каретка движется по специальным желобам и в процессе её движения, свет от лампы отражается от сканируемого носителя и проходя через сложную систему зеркал и линз, поступает на светочувствительные элементы, которые формируют элемент изображения в данном положении. После того как каретка проходит под всем носителем сканер составляет общую картину из последовательно «сложенных» элементов — изображение носителя. Преимущества и недостатки характеристик CCD технологии над CIS технологией приведены в табл. 1.

CIS-технология осуществляется следующим образом.

Каретка небольших габаритов (Рис1), установленная на желоба в которой содержится линейка одинаковых фотодатчиков, **которые расположены по всей** ширине рабочего поля сканирования, непосредственно воспринимающих световой поток от оригинала.

Принципиальное преимущества этого принципа отсутствие зеркал, преломляющих призм и объективов.

Исходя из вышесказанного подведем итоги:

1. Изучение спектральной характеристики ПЗС-матрицы или ПЗС-линейки, позволит четко и с высокой скоростью выделять одну определенную спектральную линию, не используя дополнительных светофильтров.
2. Компактность и отсутствие дополнительного питания, системы зеркал и объективов у CIS сканеров позволит использовать их для движения, с высокими скоростями сохраняя малые габариты робототехнической платформы.
3. Высокая концентрация фоточувствительных элементов расположенных в ряд позволяет наиболее точно определять сход с линии, даже на малейшее расстояние.
4. Наличие встроенной подсветки предполагает отсутствие внешних надстроек в виде светофильтров.

В дальнейшем планируется глубокое изучение СХ ПЗС линеек, разработка оптимальной схемы подключения к микроконтроллеру с целью обработки получаемой информации. Написание программы и библиотек для оптимизации кода в различных средах разработки (arduino, CoCoX и др).

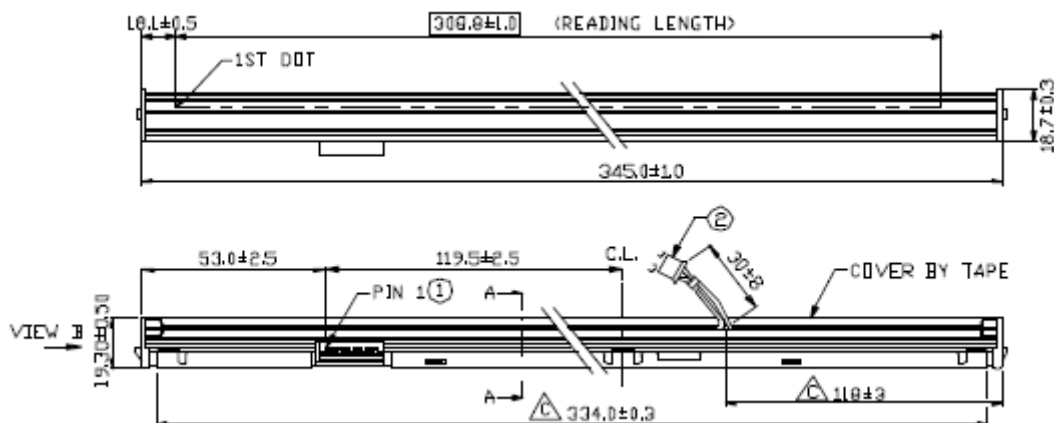


Рис. 1. Чертёж сканера основанного на CIS принципах



Таблица 1

Charge – Coupled Device и Charge – Coupled Device таблица сравнений

№	Сравниваемая характеристика	(CCD)	(CIS)
		Charge — Coupled Device	Charge — Coupled Device
1	Глубина резкости	+/-3 мм)	(+/-0.3 мм)
2	Размеры и вес	Сложная система зеркал приводит к усложнению конструкции, и увеличению чувствительности в вибрации.	Отсутствие оптической системы и зеркал позволяет CIS сканерам иметь мини-мальные габариты
3	Чувствительность к оттенкам	+/-20 %,	+/-40 %
4	Разрешающая способность	3000 dpi	300 dpi
5	Затраты на производство	CIS-элементы заменяют целый набор компонентов сканера, уменьшая стоимость производства.	-

*Литература:*

1. <http://shop.robotslab.com/products/nao-h25>
2. Основные характеристики ФПЗС: [http://studopedia.net/2\\_38790\\_osnovnie-harakteristiki-fpzs.html](http://studopedia.net/2_38790_osnovnie-harakteristiki-fpzs.html)
3. Сканеры: виды, устройство, принципы работы: <http://xreferat.ru/33/3979-2-skanery-vidy-ustroystvo-principy-raboty.html>
4. Разрешающая способность планшетного сканера: <http://texttotext.ru/laboratornaya-rabota/laboratornaya-rabota-4/page-3.html>
5. <http://www.videoton.ru/Articles/HDTV/1080i.html>

## Аппаратно-ориентированный алгоритм вычисления коэффициентов в базисах J-функций

Рахимов Бахтияр Саидович, кандидат технических наук, доцент;  
 Жуманиёзов Сардор Пирназарович, ассистент  
 Ургенчский филиал Ташкентской медицинской академии (Узбекистан)

**Ш**ирокая популярность сплайн-методов объясняется тем, что они служат универсальным инструментом приближения функций и по сравнению с другими математическими методами при равных с ними информационных и аппаратных затратах обеспечивают большую точность вычислений [1, 2, 3, 4].

Любой сплайн  $S_m(x)$  степени  $m$  дефекта 1, интерполирующий заданную функцию  $f(x)$ , может быть единственным образом представлен  $B$  — сплайнами в виде суммы [1,3,6]:

$$f(x) \cong S_m(x) = \sum_{i=-1}^{m+1} b_i \cdot B_i(x), \quad a \leq x \leq b \quad (1)$$

где  $b_i$  — коэффициенты.

Существуют различные способы вычисления коэффициентов [2, 3, 4, 7].

В случае применения параболических  $B$ -сплайнов по формуле (1) требуются три базисных слагаемых. Будем считать, что значения аргумента приведены к диапазону  $[0,1]$ , тогда значение функции вычисляется по формуле:

$$f(x) \cong S_2(x) = b_{-1} \cdot B_{-1}(x) + b_0 \cdot B_0(x) + b_1 B_1(x) \quad (2)$$

Остальные базисные  $B$ -сплайны на этом под интервале равны нулю, и следовательно, в образовании суммы они не участвуют.

Одним из важных свойств параболических сплайнов является непрерывность ее производных первого и второго порядка. Это свойство может быть использована для разработки аппаратно-ориентированного алгоритма вычисления коэффициентов в кусочно — квадратических базисах, что позволяет получить высокопроизводительные вычислительные структуры для кусочно полиномиальной обработки сигналов и функций, отличающееся также высокой точностью [2, 4, 5, 6].

Например, первая и вторая производные от параболического базисного сплайна:

1) на отрезке  $-1,5 \leq x < -0,5$

$$B_{0,2}(x) = \frac{1}{2}(1,5 - x)^2 = 0,5(2,25 - 3x + x^2);$$

$$B_{0,2}^{\circledast}(x) = 0,5(2x - 3);$$

$$B_{0,2}''(x) = 1;$$

2) на отрезке  $-0,5 \leq x < 0,5$

$$B_{0,2}(x) = \frac{3}{4} - x^2;$$

$$B_{0,2}'(x) = -2x;$$

$$B_{0,2}''(x) = -2;$$

3) на отрезке  $0,5 \leq x < 1,5$

$$B_{0,2}(x) = \frac{1}{2}(1,5 - x)^2 = 0,5(2,25 - 3x + x^2);$$

$$B_{0,2}^{\circledast}(x) = -1,5 + x;$$

$$B_{0,2}''(x) = 1;$$

Подставляя значения производных второй степени вместо значений базисных сплайнов, получим формулу:

$$f''(x) \cong S_2''(x) = b_{-1} \cdot 1 + b_0 \cdot (-2) + b_1 \cdot 1 \quad (3)$$

Полученный массив представляет собой значения производной второго порядка от исходной функции. Отметим, что формула (3) даёт возможность определить производную второй степени даже если аналитическая форма исходной функции неизвестна. Вычислить значения аппроксимирующего сплайна  $S_2(x)$  по формуле (3).

Таким образом, в результате сочетания хороших дифференциальных свойств базисных сплайнов и возможностей быстрых преобразований Уолша можно предложить следующий алгоритм вычисления коэффициентов в базисах  $J$  — функций [3,4,6]:

1. Ввод исходной функциональной зависимости, т. е. ввод массива реальных экспериментальных данных.
2. Определить  $b$ -коэффициенты
3. Формировать массив  $S_2''(x_i)$
4. Над элементами полученного массива выполнить быстрые преобразования Уолша и определить коэффициенты. Эти коэффициенты уже являются коэффициентами в базисе  $J$  — функций.
5. Вывести массив коэффициентов.

На рис 1. приведена блок-схема алгоритма вычисления коэффициентов в базисах  $J$ -функций.

Проведенные численные эксперименты позволяют сделать вывод о том, что число нулевых коэффициентов при обработке массивов геофизических данных, полученных в результате магниторазведки составляет от 5% до 15%, а при обработке элементарных функций (а также функций состоящих из их комбинаций) этот показатель составляет от 5% до 85%. В табл. 1 приведены результаты численных экспериментов. Были проведены исследования по определению сравнительных характеристик полученных кусочно — квадратических базисов и кусочно-постоянных базисов Уолша. Результаты этого исследования приведены в таблице 1.

Таким образом, предложенный алгоритм является аппаратно-ориентированным и позволяет применить существующие алгоритмы быстрых преобразований Уолша в базисах ортогональных кусочно-постоянных функций для расчета коэффициентов как кусочно-линейных, так и кусочно-квадратических базисах Уолша.

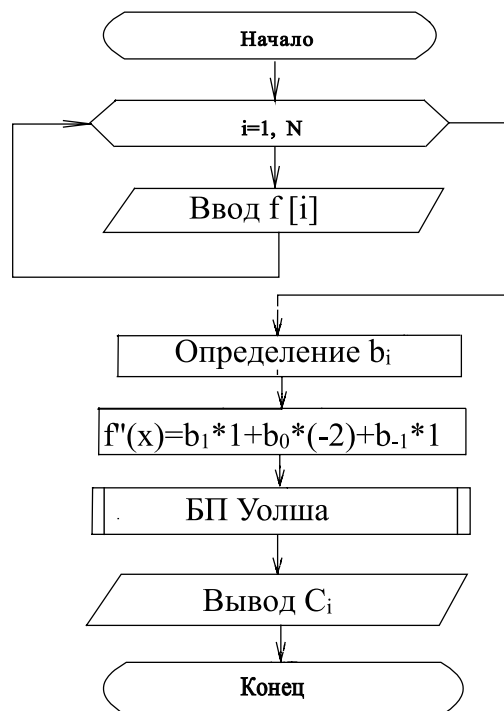


Рис 1. Блок-схема алгоритма вычисления коэффициентов в базисах J-функций

Таблица 1

## Результаты численных экспериментов

№	Функция	КП	КЛ	КК
1	$y = \sqrt{1 + X}$	46,8%	81,2%	85,6%
2	$y = X * \sin X$	5,4%	28,1%	64,0%
3	$y = e^x$	29,6%	65,6%	85,4%
4	$y = \ln(1 + X)$	33,5%	70,3%	81,2%
5	$y = e^{-x}$	39,8%	75,0%	82,4%
6	$y = \sin 2\pi X$	52,3%	59,3%	76,5%
7	Данные вибрационных испытаний	5,6%	7,0%	14,7%

## Литература:

1. Ахмед, Н., Рао К. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов. — М.: Связь, 1980. — 248 с.
2. Верлань, А. Ф., Абдусаттаров Б. Б., Акбаров Ш. А. Алгоритмические и структурные методы повышения быстродействия специализированных устройств при реализации интегральных моделей нелинейных динамических объектов // Электронное моделирование. — 1987. — №6. — с. 42–44.
3. Қасымов, С. С., Зайнидинов Х. Н., Рахимов Б. С. Применение базисных сплайнов для предварительной обработки экспериментальных данных // Тезисы докл. XVI — Международная научная конф., Санкт-Петербург, 2003.
4. Ракошиц, В. С., Козлов А. В., Можаяев И. А. и др. Специализированные микропроцессоры, реализующие быстрые преобразования // Цифровая обработка сигналов: сб. статей. — М.: Наука, 1981. — с. 206–217.
5. Рахимов, Б. С. Применение кусочно — постоянных, кусочно — линейных и кусочно — квадратических базисных функций Уолша для спектральной обработки сигналов. // Тезисы докл. сб. науч. статьей., Ташкент, — С 319–320.

6. Рахимов, Б. С. Проектирование спецпроцессов для обработки сигналов на основе матричной диаграммы занятости. // Научно — технический журнал Ферганского политехнического института. 2003, №4, — С 31—34.
7. Рахимов, Б. С. Кусочно-полиномиальные методы на основе функций Уолша. // Актуальные вопросы в области технических и социально-экономических наук. Межвузовский сб. научн. трудов. Ташкент 2006, вып. 1., — с. 42—43.

## Анализ методов вычисления коэффициентов приближения параболическими сплайнами

Рахимов Бахтияр Саидович, кандидат технических наук, доцент;  
Собирова Сабохат Кабуловна, ассистент;  
Кадилова Наргиза Илхомбаевна  
Ургенчский филиал Ташкентской медицинской академии (Узбекистан)

Построение полиномиальных интерполяционных сплайнов  $S_m(x)$  степени  $m \geq 2$  связано с решением СЛАУ определенного вида, причем важную роль играют дополнительные условия, возникающие на концах интервалов и называемые поэтому краевыми или граничными [1,3]. Без их учета система уравнений получается не полностью определенной, так как тогда число уравнений, равное  $n-1$ , получается меньшим, чем число неизвестных, которое равно  $n+1$ .

На практике при интерполяции сплайнами обычно задаются следующие варианты граничных условий [3,2,8]:

1) Если в граничных точках известны значения первой производной  $f'(a)$  и  $f'(b)$ , то естественно положить  $S'_0 = f'(a)$  и  $S'_n = f'(b)$ . Добавление этих условий приводит к системе, которая может быть решена одним из эффективных методов, например методом прогонки [2, 7, 8].

2) Если на концах интервала известны значения второй производной  $f''(a)$  и  $f''(b)$ , то их можно принять в качестве граничных значений на значения второй производной сплайна  $S''_m(a)$  и  $S''_m(b)$  в этих же точках.

3) Если задать граничные условия  $f''(a) = f''(b) = 0$ , то получается система алгебраических уравнений, соответствующих так называемому естественному сплайну.

4) Если нет никакой дополнительной информации о значениях производных от функции на концах отрезка, то используется так называемое условие «отсутствия узла». Выбор наклонов  $S'_i$  производится таким образом, чтобы сплайн на втором интервале являлся продолжением сплайна, строящегося на первом интервале, а сплайн на интервале с номером  $n$  соответственно стал продолжением сплайна, заданного на интервале с номером  $n-1$ . Для этого достаточно потребовать совпадения в узлах  $x_1$  и  $x_{n-1}$  значений третьих производных:

$$S^{(3)}_1(x_1) = S^{(3)}_2(x_1), S^{(3)}_{n-1}(x_{n-1}) = S^{(3)}_n(x_{n-1}). \quad (1)$$

Важную роль в алгоритмах вычисления параметров аппроксимации функций сплайнами играют свойства матриц коэффициентов систем соответствующих алгебраических уравнений. В частности, фактором, определяющим существование и устойчивость решения, является свойство диагонального доминирования (преобладания).

Так как функции  $B_{m,i}(X)$ , линейно независимы и на отрезке  $[a, b]$  являются сплайнами степени  $m$  с узлами в точках сетки, то любой сплайн  $S_m(X)$  из  $S_{m,i}(\Delta)$  можно единственным образом представить в виде

$$S_m(X) = \sum c_i B_{m,i}(X), \quad a \leq X \leq b. \quad (2)$$

Дополним сетку точками  $X_{-1}, X_{-2}, X_{-3}, X_{n+1}, X_{n+2}, X_{n+3}$ :

$$X_1 < X_2 < X_3 < a = X_0 < X_1 < \dots < X_n = b < X_{n+1} < X_{n+2} < X_{n+3}$$

Например, можно положить  $X_i = a + i(X_1 - a)$   $i = -1, -2, -3$ ,  $X_i = b + (i - n)(b - X_{n-1})$   $i = n+1, n+2, n+3$ . Пусть

$$\bar{X}_i = \frac{1}{2}(X_{i-1} + X_i), \quad i = -2, -1, 0, 1, \dots, n+3.$$

Качестве  $X_i$  в общем случае можно выбрать точки, удовлетворяющие неравенствам

$$X_{i-1} < \bar{X}_i < X_i, i = -2, -1, 0, 1, \dots, n+3.$$

Мы дадим здесь представление интерполяционных параболических сплайнов через В-сплайны, определяемые равенством при  $m=3$

$$B_{2,i}(X) = B_2(X, \bar{X}_{i-1}, \bar{X}_i, \bar{X}_{i+1}, \bar{X}_{i+2}) = \sum_{s=i-1}^{i+2} 3 \frac{(\bar{X}_s - X)^2}{\omega'_i(\bar{X}_s)},$$

$$\omega_i(X) = (X - \bar{X}_{i-1})(X - \bar{X}_i)(X - \bar{X}_{i+1})(X - \bar{X}_{i+2})$$

Как указывалось, любой сплайн  $S_2(X)$ , определенной на  $[a, b]$  и имеющий узлы  $\bar{X}_i \in (a, b)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , единственным образом представим в виде

$$S_2(X) = \sum_{i=-1}^{n+1} c_i M_i(X) \quad (3)$$

где

$$M_i(X) = \frac{(\bar{X}_{i+2} - \bar{X}_{i-1})}{2} B_{2,i}(X) \quad (4)$$

в отличие от (1), мы воспользовались представлением через  $M_i(X)$ , а не через  $B_{2,i}(X)$  в силу при  $\bar{X}_{i-1}$ , близком к  $\bar{X}_{i+2}$ , функция  $B_{2,i}(X)$  принимает в некоторых точках большие значения, порядка  $(\bar{X}_{i+2} - \bar{X}_{i-1})^{-1}$ , а в дальнейшем расстояние между узлами будет уменьшаться. Как будет видно из дальнейшего, коэффициенты  $c_i$  в (5) будут близки к значениям интерполируемой функции в соответствующих точках.

Удобства представления (5) заключается в том, что для запоминания  $S_2(X)$  можно хранить лишь множества  $\{\bar{X}_i\}$  и  $\{c_j\}$

Исходя из условий интерполяции и краевых условий, выведем системы уравнений для определения коэффициентов  $c_i$  в (5). Учитывая свойства (6) имеем

$$\sum_{j=i-1}^{i+1} M_j(X_i) c_j = f(X_i), i = 0, 1, \dots, n \quad (5)$$

Краевые условия добавляют к (7) следующие уравнения:

А) периодический случай

$$\sum_{j=-1}^1 M_j^k(a) c_j = \sum_{j=n-1}^{n+1} M_j^k(b) c_j, k=1,2; \quad (6)$$

Б) краевые условия (5):

$$\sum_{j=k-1}^{k+1} M'_j(X_k) c_j = a'_k, k=0,n; a'_0 = a_n, a'_n = b_n \quad (7)$$

В) краевые условия (6):

$$\sum_{j=k-1}^{k+1} M''_j(X_k) c_j = A'_k, k=0,n; A'_0 = A_n, A'_n = B_n \quad (8)$$

Г) краевые условия (7):

$$\sum_{j=-1}^1 M_j''(X_0) c_j = \sum_{j=0}^2 M_j''(X_1) c_j$$

$$\sum_{j=n-2}^n M_j''(X_{n-1}) c_j = \sum_{j=n-1}^{n+1} M_j''(X_n) c_j \quad (9)$$

Уравнения (7) вместе с двумя уравнениями характеризующими краевые условия, дают систему  $n + 3$  уравнений с  $n + 3$  неизвестными. Определитель этой системы отличен от нуля, так как в силу единственности представления (5) система имеет единственное решение.

Достоинством интерполяционных сплайнов является их высокая точность, а недостаток — необходимость решения систем уравнений, что связано с большим временными затратами. Для систем, функционирующих в реальном масштабе времени актуальны те методы, которые позволяют избежать решение систем уравнений.

Значительно упрощаются вычислительные проблемы при обращении к методам локальной сплайн — аппроксимации, в которых значения приближающей функции на каждом отрезке зависят только от значений аппроксимируемой функции из некоторой окрестности этого отрезка. Необходимый объем вычислений не зависит от числа узлов сетки, а определяется лишь степенью сплайна [4, 12].

Для параболических базисных сплайнов приведем локальные формулы в готовом виде:

1. Трехточечная формула

$$b_i = \frac{1}{8}(-f_{i-1} + 10f_i - f_{i+1})$$

2. Пятиточечная формула

$$b_i = \frac{1}{64}(f_{i-2} - 12f_{i-1} + 86f_i - 12f_{i+1} + f_{i+2})$$

Эти формулы сохраняют свойства гладкости приближений, а значения параметров не зависят от отсчетов в точках, достаточно удаленных от текущей точки с индексом  $i$ . Они являются симметричными, но работают только внутренних точках области  $[a, b]$ .

#### Литература:

1. Ахмед, Н., Рао К. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов. — М.: Связь, 1980. — 248 с.
2. Верлань, А. Ф., Абдусаттаров Б. Б., Акбаров Ш. А. Алгоритмические и структурные методы повышения быстродействия специализированных устройств при реализации интегральных моделей нелинейных динамических объектов // Электронное моделирование. — 1987. — №6. — с. 42–44.
3. Зайнидинов, Х. Н., Рахимов Б. С. Хамдамов У. Р. Программный комплекс для обработки одномерных и многомерных геофизических сигналов в кусочно — полиномиальных базисах. // Совместный выпуск по материалам респ. науч. конф. «Современное состояние и пути развития информационных технологий» 11–13 октября 2006, г. Ташкент, с. 205–207
4. Касымов, С. С., Зайнидинов Х. Н., Рахимов Б. С. Аппаратно — ориентированный алгоритм вычисления коэффициентов в кусочно-квадратических базисах // ДАН РУЗ. 2003. №3, — с. 18–21.
5. Касымов, С. С., Зайнидинов Х. Н., Рахимов Б. С. Применение базисных сплайнов для предварительной обработки экспериментальных данных // Тезисы докл. XVI — Международная научная конф., Санкт — Петербург, 2003.
6. Мусаев, М. М., Ходжаев Л. К. Спектральный метод полиномиальной аппроксимации для цифровой обработки сигналов. // Электронное моделирование. — 1987. — №6, — с. 30–33.
7. Ракощиц, В. С., Козлов А. В., Можаяев И. А. и др. Специализированные микропроцессоры, реализующие быстрые преобразования // Цифровая обработка сигналов: сб. статей. — М.: Наука, 1981. — с. 206–217.
8. Рахимов, Б. С. Применение кусочно — постоянных, кусочно — линейных и кусочно — квадратических базисных функций Уолша для спектральной обработки сигналов. // Тезисы докл. сб. науч. статьей., Ташкент, — С 319–320.

9. Рахимов, Б. С. Проектирование спецпроцессов для обработки сигналов на основе матричной диаграммы за-  
нятности. // Научно — технический журнал Ферганского политехнического института. 2003, №4, — С 31—34.
10. Рахимов, Б. С. Кусочно — полиномиальные методы на основе функций Уолша. // Актуальные вопросы в об-  
ласти технических и социально-экономических наук. Межвузовский сб. научн. трудов. Ташкент 2006, вып. 1., —  
с. 42—43.
11. Смоллов, В. Б., Свиныин С. Ф., Зенцов В. А. Аппроксимация системами кусочно-полиномиальных функций в за-  
дачах цифровой обработки сигналов. //Изв. АН СССР, Техническая кибернетика, 1982. — N2. — с. 202—209.
12. Kasymov, S. S., Zaynidinov H. N., Rahimov B. S. Methods of the organization of parallel computing structures and  
processes on the basics of basic splines // Proceedings of the 1st Seminar «The opportunities for Application of  
Information Technologies for Development of Education and Economic Growth». Tashkent, july 3—5, 2003., p.  
97—98.

## Методы приближения функций параболическими сплайнами

Рахимов Бахтияр Саидович, кандидат технических наук, доцент  
Ургенчский филиал Ташкентской медицинской академии (Узбекистан)

Значительное место при обработке результатов на-  
блюдений занимают задачи интерполяции и аппрок-  
симации данных измерений, заданных на дискретных  
сетках (обычно в форме таблиц отсчетов). Теория интер-  
поляции функций полиномами целых неотрицательных  
степеней

$$P(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_mx^m \quad (1)$$

где  $a_i$  — коэффициенты полинома ( $i = 0, 1, \dots, m$ ),  $m$  —  
степень полинома, дает нам один из наиболее широких  
классов математических моделей процессов.

Вместе с тем для многих традиционных задач постро-  
ения полиномов высоких степеней  $m$ , интерполирующих  
одной «глобальной» формулой заданные функции в узлах  
отрезка конечной длины, характерны малопривлекательные яв-  
ления, заключающиеся в быстром росте величин ошибок  
между узлами интерполяции с ростом степени полиномов.  
Они ведут к тому, что отсутствует сходимость интерполи-  
рующих полиномов к функции.

Оценки точности приближения функций кусочно-по-  
линомиальными интерполянтами зависят от дифферен-  
циальных свойств интерполируемых функций, от их глад-  
кости и от способа разбиения на малые интервалы полного  
отрезка  $[a, b]$ , на котором задана функция  $f(x)$ . Созда-  
ется сетка узлов интерполяции

$$a \leq x_0 < x_1 < \dots < x_i < \dots < x_n \leq b, \quad (2)$$

которая является равномерной, если шаг интерпо-  
ляции  $h$  выбирается по формуле

$$h = x_{i+1} - x_i = \text{const}, \quad (3)$$

и становится неравномерной, если разбиение отрезка  
производится на интервалы произвольной длины.

Оценки максимальных значений ошибок интерполяции  
кусочными полиномами различных степеней в литературе  
по численному анализу получены в результате исследо-  
вания остаточных членов формул для полиномов, постро-  
енных в соответствии с методами Ньютона и Лагранжа.  
Если метрика задана в пространстве  $C^{(m)}$ , то имеют место

следующие неравенства для кусочных полиномов раз-  
личных степеней [3,8]:

для полиномов нулевой степени (кусочно-постоянных  
функций):

$$|P(x) - f(x)| \leq \frac{1}{2} \max |f'(x)|h; \quad (4)$$

для полиномов 1-й степени (ломанных или кусочно-ли-  
нейных функций):

$$|P(x) - f(x)| \leq \frac{1}{8} \max |f''(x)|h^2; \quad (5)$$

для полиномов 2-й степени (кусочно-квадратических  
функций):

$$|P(x) - f(x)| \leq \frac{\sqrt{3}}{27} \max |f^{(3)}(x)|h^3; \quad (6)$$

для полиномов 3-й степени (кусочно-кубических  
функций):

$$|P(x) - f(x)| \leq \frac{3}{128} \max |f^{(4)}(x)|h^4. \quad (7)$$

В случае не равноотстоящих узлов неравенства (4) —  
(7) также пригодны для оценки точности интерполяции.  
Отличие состоит в том, что в правые части выражений  
подставляется максимальное значение шага  $h_{\max}$ .

Недостатком методов интерполяции кусочными по-  
линомами является отсутствие гладкости интерполянтов  
в некоторых точках, поскольку имеют место разрывы про-  
изводных в узлах. Приведем здесь математическое опре-  
деление понятия гладкой функции [3].

Функция  $f(x)$  называется гладкой на отрезке  $[a, b]$ ,  
если она непрерывна на этом отрезке и имеет на нем не-  
прерывную производную  $f'(x)$ .

Наряду с этим определением с целью подчеркнуть спо-  
собность функций к многократному непрерывному диф-

ференцированию, употребляется термин «степень гладкости». Он означает величину порядка наивысшей производной, которая непрерывна на данном отрезке.

Введем еще несколько необходимых определений:

Функция  $f(x)$  называется кусочно-непрерывной на отрезке  $[a, b]$ , если она определена и непрерывна всюду на  $[a, b]$ , за исключением, быть может, конечного числа точек  $x_i (a < x_1 < x_2 < \dots < x_n < b)$ , в которых существуют пределы  $f$  справа и слева. Таким образом, кусочно-непрерывная на  $[a, b]$  функция непрерывна на каждом из интервалов  $(x_i, x_{i+1})$ .

Функция  $f(x)$  называется кусочно гладкой на отрезке  $[a, b]$ , если она кусочно-непрерывна и имеет кусочно непрерывную производную  $f'(x)$  на этом отрезке.

Частным случаем кусочно-гладкой функции является непрерывная кусочно гладкая на отрезке  $[a, b]$  функция. Она представляет собой функцию, которая непрерывна на  $[a, b]$ , и кроме того, существует разбиение отрезка на частичные отрезки  $[x_i, x_{i+1}]$ , при котором функция является гладкой на каждом из этих отрезков.

Понятие гладкости тесно связано с понятием кривизны и радиуса кривизны. Если функция  $f(x)$  в окрестности точки  $x$  имеет непрерывную производную и в самой точке вторую производную, то радиус кривизны подчиняется следующему соотношению [6]:

$$\frac{1}{R(x)} = \frac{|f''(x)|}{(1 + f'(x)^2)^{3/2}}. \quad (8)$$

Кривизной радиуса  $R$  называется число  $1/R$ . При малых значениях  $f'(x)$  ( $f' \ll 1$ ) радиус приближенно равен  $R(x) \cong 1/f''(x)$ .

Сплайны как класс кусочных функций вследствие ряда преимуществ перед другими методами аппроксимации находят все более широкое применение при разработке аппаратных и программных средств анализа и восстанов-

ления сигналов, расширяя рамки традиционных подходов к приближению функций [3, 4].

К этим преимуществам относятся:

- устойчивость сплайнов относительно локальных возмущений, в отличие от полиномиальной интерполяции;
- хорошая сходимости сплайн-интерполяции в отличие от интерполяции многочленами;

- экстремальные свойства сплайнов. Сплайны обеспечивают значения функционалов, доставляющими минимальную гладкость функций в гильбертовом пространстве и в пространстве ограниченных функций.

- построение интерполяционных сплайнов сводится к решению ленточных (квазидиагональных) систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), для которых в численном анализе разработаны эффективные методы и алгоритмы решений.

Понятие «сплайн» происходит от английского слова «spline», что в чертежном деле означает в переводе «рейка, гибкая линейка». Если разбить отрезок  $[a, b]$  оси абсцисс точками  $a = x_0 < x_1 < \dots < x_n = b$ , называемыми узлами сетки, на интервалы  $[x_i, x_{i+1}]$ , то определение сплайна можно привести в следующей форме:

полиномиальным сплайном степени  $m$  называется функция  $S_m(x)$ , обладающая следующими свойствами [7–10]:

1) функция  $S_m(x)$  непрерывна на отрезке  $[a, b]$  вместе со всеми своими производными до некоторого порядка  $r$ ;

2) на каждом интервале  $[x_i, x_{i+1}]$  функция  $S_m(x)$  совпадает с алгебраическим полиномом  $P_{m,i}(x)$  степени  $m$ :

$$S_m(x) = P_{m,i}(x) = a_{0,i} + a_{1,i}(x-x_i) + a_{2,i}(x-x_i)^2 + \dots + a_{m,i}(x-x_i)^m \quad (9)$$

Разность между степенью сплайна и наивысшим порядком  $r$  ( $m-r$  целое число) непрерывной на отрезке  $[a, b]$  производной называется дефектом сплайна [3].

#### Литература:

1. Агевич, С. Н. Сплайн-Виленкина-Крестенсона функции в представлении сигналов. // Научное приборостроение. 2002, Т. 12, № 1, с. 79–89.
2. Алгоритмы и программы восстановления зависимостей / Под. ред. В. Н. Вапника. — М.: Наука, 1984. — 816 с.
3. Ахмед, Н., Рао К. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов. — М.: Связь, 1980. — 248 с.
4. Бахвалов, Н. С., Жидков Н. П., Кобельков Г. М. Численные методы. М.: Наука, 1987.
5. Верлань, А. Ф., Абдусаттаров Б. Б., Акбаров Ш. А. Алгоритмические и структурные методы повышения быстродействия специализированных устройств при реализации интегральных моделей нелинейных динамических объектов // Электронное моделирование. — 1987. — № 6. — с. 42–44.
6. Зайнидинов, Х. Н., Алгоритмы быстрых спектральных преобразований и их применение для восстановления сигналов. // Актуальные проблемы радиотехники, электроники и связи. (Секция вычислительной техники). Тезисы докл. научн. — техн. конференции. Санкт-Петербург, 1992 С.
7. Зайнидинов, Х. Н., Рахимов Б. С. Хамдамов У. Р. Программный комплекс для обработки одномерных и многомерных геофизических сигналов в кусочно — полиномиальных базисах. // Совместный выпуск по материалам респ. науч. конф. «Современное состояние и пути развития информационных технологий» 11–13 октября 2006, г. Ташкент, с. 205–207
8. Касымов, С. С., Зайнидинов Х. Н., Рахимов Б. С. Аппаратно — ориентированный алгоритм вычисления коэффициентов в кусочно — квадратических базисах // ДАН РУЗ. 2003. № 3, — с. 18–21.



9. Касымов, С. С., Зайнидинов Х. Н., Рахимов Б. С. Применение базисных сплайнов для предварительной обработки экспериментальных данных // Тезисы докл. XVI — Международная научная конф., Санкт — Петербург, 2003.
10. Малоземов, В. Н., Певный А. Б. Дискретные периодические В-сплайны // Вестник СПбГУ. Сер. 1. 1997. Вып. 4 (№22). с. 14–19.
11. Микропроцессорных комплект БИС серии К 1815 для цифровой обработки сигналов: Справочник/А. И. Белоус, О. В. Подрубный, В. М. Журба; под ред. А. И. Сухопарова. — М.: Радио и связь, 1992. — 256 с.
12. Мусаев, М. М., Ходжаев Л. К. Спектральный метод полиномиальной аппроксимации для цифровой обработки сигналов. // Электронное моделирование. — 1987. — №6, — с. 30–33.
13. Ракошиц, В. С., Козлов А. В., Можавев И. А. и др. Специализированные микропроцессоры, реализующие быстрые преобразования // Цифровая обработка сигналов: сб. статей. — М.: Наука, 1981. — с. 206–217.
14. Рахимов, Б. С. Применение кусочно — постоянных, кусочно — линейных и кусочно — квадратических базисных функций Уолша для спектральной обработки сигналов. // Тезисы докл. сб. науч. статьей., Ташкент, — С 319–320.
15. Рахимов, Б. С. Проектирование спецпроцессов для обработки сигналов на основе матричной диаграммы занятости. // Научно — технический журнал Ферганского политехнического института. 2003, №4, — С 31–34.
16. Рахимов, Б. С. Кусочно — полиномиальные методы на основе функций Уолша. // Актуальные вопросы в области технических и социально-экономических наук. Межвузовский сб. научн. трудов. Ташкент 2006, вып. 1., — с. 42–43.
17. Смолов, В. Б., Свиныин С. Ф., Зенцов В. А. Аппроксимация системами кусочно-полиномиальных функций в задачах цифровой обработки сигналов. //Изв. АН СССР, Техническая кибернетика, 1982. — N2. — с. 202–209.
18. Kasymov, S. S., Zaynidinov H. N., Rahimov B. S. Methods of the organization of parallel computing structures and processes on the basics of basic splines // Proceedings of the 1st Seminar «The opportunities for Application of Information Technologies for Development of Education and Economic Growth». Tashkent, July 3–5, 2003., p. 97–98.

## Получение данных для построения образовательного процесса вуза в среде современных web-технологий

Стаин Дмитрий Александрович, аспирант;  
Часовских Виктор Петрович, доктор технических наук, профессор  
Уральский государственный лесотехнический университет (г. Екатеринбург)

*Статья посвящена проблематике наполнения исходных структур данных для полноценного функционирования ИКТ-модели образовательного процесса вуза. Рассмотрены организационно-технические способы обеспечения актуальности данных ИКТ-модели вуза. Наиболее подробно рассмотрены технологии удаленного ввода информационных структур в модель. Показано преимущество современных web-технологий при моделировании образовательного процесса вуза в ИКТ-среде. Предложена функционально-организационная структура ИКТ-среды образовательного процесса вуза в виде вертикально-интегрированных web-сайтов, являющихся модельными отображениями реальных объектов организационной структуры вуза — институтов, кафедр, конкретных преподавателей. Рассмотрены преимущества подобного подхода в условиях академической мобильности и ориентации на облачные вычисления Cloud Computing.*

**Ключевые слова:** автоматизированная система управления (АСУ), база данных (БД), метод доступа, web, сайт вуза, модель, образовательный процесс.

Вступивший в действие с 2013 года Федеральный закон «Об образовании в Российской Федерации» определяет новое содержание высшего профессионального образования, новые модели и технологии образовательного процесса в университете [2,6,7] Является очевидным, что выполнение этих требований невозможно без применения информационно-коммуникационных технологий в образовательной деятельности и учебном процессе для всех видов и на всех уровнях образования.

При построении образовательного процесса в среде ИКТ-технологий, является очевидным необходимость в обеспечении каналов взаимодействия между реальными организационно-социальными процессами, проистекающими в университете и их отображении в математической модели, функционирующей в программной ИКТ-среде. Без обеспечения подобного взаимодействия, модель будет абстрактной и бессмысленной для данной социальной системы [8,9].

Является очевидным, что с точки зрения информационных потоков, существует два основных способа взаимодействия ИКТ системы вуза с внешней средой: ЧМИ (человеко-машинный интерфейс) а также посредством взаимодействия с другими системами. [1] Остановимся на данном вопросе подробнее.

ЧМИ — совокупность инженерных решений, обеспечивающих взаимодействие человека-оператора с информационной системой. [4] Для управления современной ИКТ системой вуза могут быть использованы два подхода к формированию ЧМИ.

Первый заключается в компиляции программных средств в машинном коде под конкретную программно-аппаратную составляющую вычислительной техники оператора. Полученное приложение устанавливается на операторском месте, его функционирование поддерживается техническим персоналом вуза. Приложение может функционировать с обеспечивающим оборудованием посредством широкого набора сетевых технологий. Данный подход обладает рядом недостатков, а именно:

- относительная дороговизна и сложность в обслуживании. Прикладное программное обеспечение, распространяемое и эксплуатируемое относительно небольшим тиражом с большей долей вероятности, имеет ошибки, которые будут устраняться в период эксплуатации системы при конкретной конфигурации оборудования. Требуется относительно большой штат квалифицированного персонала, обеспечивающих корректную обработку внештатных ситуаций и оперативное устранение ошибок без остановки информационного процесса;

- относительная дороговизна сложность разработки. Наличие значительного количества возможных конфигураций программно-аппаратных средств операторов, свойственное вузу, ставит перед программистами задачу формирования кросс-платформенного ПО, что в значительной мере удорожает разработку;

- ограниченность круга конечных пользователей обслуживанием, на котором установлено интерфейсное ПО.

Преимущества данного метода:

- гибкая возможность выбора и использования сетевых технологий;

- практически неограниченные возможности по визуализации и обработки данных на стороне клиента;

- возможность хранения временных областей на стороне клиента и их корректная обработка, а как следствие, лояльные требования системы к стабильности канала передачи данных.

Другим методом, являющимся частным случаем технологии «тонких» клиентов, является так называемая web-технология [8,9]. Процесс взаимодействия подразумевает наличие сервера со специально настроенным программным обеспечением, подключенным к интернету и имеющим определенную адресацию. Данный сервер по определенным запросам формирует документы, размеченные посредством языка гипертекста. Современные гипертекстовые документы обладают солидными харак-

теристиками по визуализации содержимого, в том числе, по включению активного программного кода. Уровень развития web-технологий позволяет формировать приложения, которые по функциональной составляющей относительно недавно были реализуемы только посредством компиляции прикладного программного обеспечения. В первую очередь на web-технологии преобразуются приложения, работа которых связана с удаленной обработкой данных на сервере. Но технология оказалась настолько удачной, что посредством нее начали разрабатываться и относительно изолированное программное обеспечение — например, офисный пакет Google docs [5] или Microsoft office online (<https://office.live.com/start/default.aspx>)

Обеспечение визуализации ЧМИ на клиентской машине посредством программы-браузера, обуславливает эффективное решение проблематик, описанных выше как недостатки традиционных компилируемых приложений, что делает web-технологии безусловным лидером для решений задач информатизации вуза. Более того, новые требования законодательства РФ [2] к открытости и прозрачности деятельности вузов в среде интернет посредством WEB-технологий напрямую обязывают вузы использовать данную технологию для отчетности и визуализации своей деятельности в сети Интернет. Безусловно, унификация технологий внешнего и внутреннего взаимодействия ИКТ-среды вуза является единственно правильным и эффективным решением сложившейся ситуации. Тем не менее, первый способ может использоваться в качестве дополнительной составляющей. В частности, в виде программного средства для мобильной платформы iOS или Android, органично дополняющего основную web-службу.

В условиях, когда ИКТ система вуза самодостаточна и единична, основным способом ввода информации является ЧМИ. Но в современных условиях такая ситуация может являться скорее исключением, чем правилом. В реальности, любая ИКТ-система должна взаимодействовать с другими ИКТ-системами как внутри вуза так и с внешней составляющей. Примером внешней системы является ФИС ЕГЭ, примером внутренней — информационные системы различных подразделений, внедренных в разное время. В данном контексте следует предусмотреть в архитектуре интерфейсные модули для взаимодействия с другими системами.

Предлагается при построении web-модели вуза взять структурную составляющую самого хозяйствующего субъекта — вуза с иерархической структурой в виде вертикально интегрированных элементов — институтов, кафедр, конкретных преподавателей и студентов [3] Таким образом, структура web-модели университета будет также содержать указанные относительно независимые элементы и посредством ссылочной связи из них формируется макроструктура — университет.

Формирование сайтов отдельных преподавателей и сосредоточение в них учебного процесса качественно повы-

шает эффективность научно-преподавательской деятельности конкретного ППС.

Также такая система легко ложится на концепцию облачного сервиса, Cloud computing. [3] В условиях такой системы, сайт преподавателя является неким образом реального ППС в среде интернет. Все научно-преподавательские достижения сотрудника мгновенно находят отражение в его сайте.

В условиях глобализации научно-технического сообщества, погружение сайта преподавателя в среду Cloud computing стирает организационные границы вуза, позволяя вертикально интегрировать такой ресурс в сайты разных вузов и НИИ, в процесс деятельности которых может быть вовлечен данный преподаватель. Подобная система акцентирует и выделяет конкретных ученых и их достижения.

В случае представления сайта вуза как совокупности отдельных сайтов, или подсистем, на первый план выходит проблематика работы с данными и их вертикальное интегрирование в единую структуру. Данный процесс можно

осуществлять вручную, вводя ссылочные связи в специально созданные формы, либо непосредственно в исходный код сайта; так и автоматизировано — либо договорившись об интерфейсных структурах данных в БД (например, договорившись о структуре и расположении XML-документов, или о схемах таблиц SQL), либо осуществляя индексирование вертикально — интегрированных страниц. Первый способ предпочтительнее, т.к. минимизируется вероятность ошибки и неверного отображения данных, но требует принятия единого документа — стандарта. Второй способ может функционировать без стандарта, но в определенных условиях может привести к неверной интерпретации данных.

Таким образом, в статье рассмотрены основные вопросы получения данных в ИКТ системах АСУ вуза. Показаны преимущества web-технологий над альтернативными в контексте ИКТ-системы вуза. Рассмотрена структура информационных потоков web-модели вертикально-интегрированной системы вуза.

#### Литература:

1. Мезенцев, К. Н. Автоматизированные информационные системы/К. Н. Мезенцев. — М.: Academia, 2013. — 176 с.
2. Часовских, В. П., Стаин Д. А. Структура, содержание и среда разработки веб-сайта вуза//Эко — Потенциал: журнал мульти дисциплинарных научных публикаций, Уральский государственный лесотехнический университет. Екатеринбург. 2013. №3–4, с. 160–173. ISSN 2310–2888.
3. Стаин, Д. А. Cloudcomputing в корпоративной информационной системе вуза/Д. А Стаин // Актуальные вопросы реализации федеральных государственных образовательных стандартов: материалы международной научно-методической конференции. — Екатеринбург, 2012. — с. 161–163
4. Человеко-машинный интерфейс. Википедия: свободная электронная энциклопедия: на русском языке [Электронный ресурс] // URL: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Человеко-машинный\\_интерфейс](http://ru.wikipedia.org/wiki/Человеко-машинный_интерфейс)
5. Справочный центр — Редакторы Google Документов [Электронный ресурс] // <http://support.google.com/docs/?hl=ru#topic=1382883/>
6. Часовских, В. П., Стаин Д. А. Представление и сравнительный анализ модели образовательного процесса университета в форме реляционных таблиц SQL и их мультипликативном отображение. // Техника и технология: новые перспективы развития, научный журнал «Естественные и технические науки». Москва. 2014. с. 101–106.
7. Часовских, В. П., Стаин Д. А. Модель образовательного процесса и сайт вуза 2.0// Эко — Потенциал: журнал мульти дисциплинарных научных публикаций, Уральский государственный лесотехнический университет. Екатеринбург. 2014. №2 (6), с. 113–119. ISSN 2310–2888.
8. Фримен, Адам. MVC 5 с примерами на C# для профессионалов, 5-изд.: Пер. с англ. — М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2015. — 736 стр. IBN 978–5-8459–1911–3
9. Эспозито Дино. Программирование на основе Microsoft ASP. NET MVC. 2-е издание/Пер. с англ. — М.: Издательство «Русская редакция»; СПб.: БХВ-Петербург, 2012. — 464 стр.: ил. ISBN 978–5-7502–0414–4 («Русская редакция») ISBN 978–5-9775–0885–8 («БХВ-Петербург»)

## 4. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

### Расчет распределения тока в плоском индукционном нагревателе с емкостной связью

Захарова Евгения Игоревна, магистрант;

Науман Ольга Александровна, начальник отдела информатизации управления вузом;

Захаров Игорь Вячеславович, доктор технических наук, профессор

Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова (Казахстан)

Проблема снижения реактивной мощности электротехнических нагревательных устройств возможна за счет совмещения свойств электрического нагрева и повышения собственного  $\cos \varphi$  установки. Примером такого совмещения может служить плоский индуктор с емкостной связью [1], позволяющий отказаться от средств искусственной компенсации, составляющих до третьей части индукционной установки в целом.

В самом простом случае конструкция, поясняющая принцип действия включает в себя следующее. Два проводника одной полярности соединены между собой и между ними размещен третий проводник противоположной полярности (в другом случае не три, а  $n$  проводников). Проводники изолированы друг от друга слоем диэлектриком.

Токи в ленточных проводниках имеют одинаковое направление, а магнитные поля, создаваемые этими токами складываются. Ток в ленточных проводниках существует в виде тока проводимости и замыкается через диэлектрик в виде тока смещения. Интенсивность суммарного магнитного поля зависит от числа витков и тока индуктора и выбирается исходя из активной мощности, требуемой для нагрева загрузки.

Для получения значений токов (в данном случае —  $I_1, I_2, I_3$ ) в проводниках устройства рассмотрим схему, изображенную на рисунке 3. Анализ показал, что наиболее эффективным будет получение итогового решения по методу контурных токов.

Задаемся направлением токов ветвей и обозначаем их на схеме. Произвольно выбираем направление действительных токов в проводниках ( $I_1, I_2, I_3$ ). Затем выделяем четыре контура и указываем направление контурных токов  $I_{11}, I_{22}, I_{33}, I_{44}$ . Направление контурных токов принимаем по часовой стрелке. Далее определяем собственные и взаимные сопротивления элементов схемы. Расчеты проводим по известным (2,3) формулам.

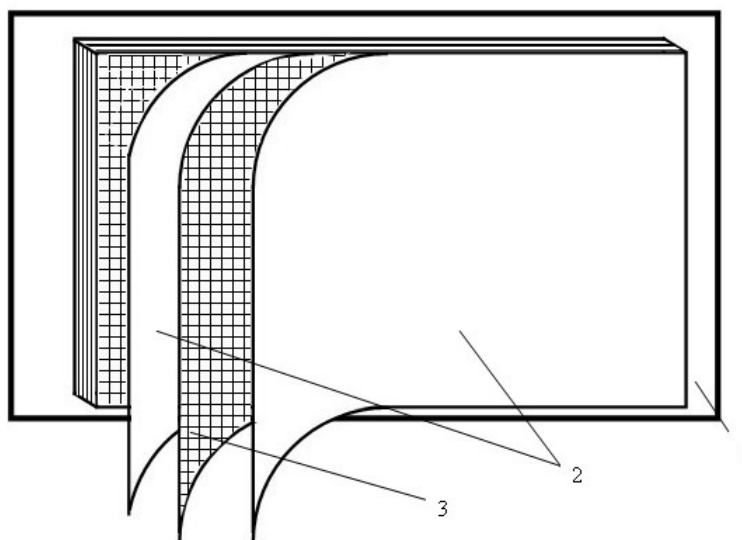


Рис. 1. Эскиз системы «плоский индукционный нагреватель с емкостной связью – нагреваемая поверхность»: 1 – нагреваемая поверхность; 2 – разноименные проводниковые ленты; 3 – диэлектрическая лента

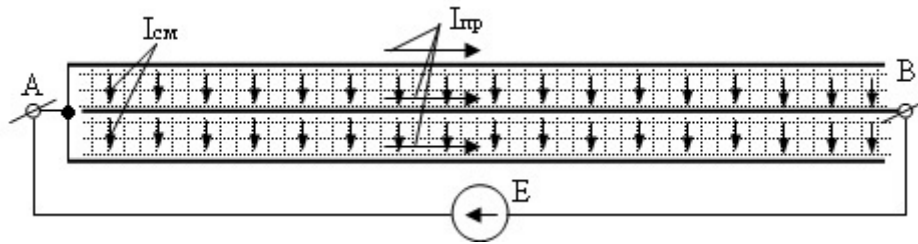


Рис. 2. Принципиальная упрощенная схема устройства

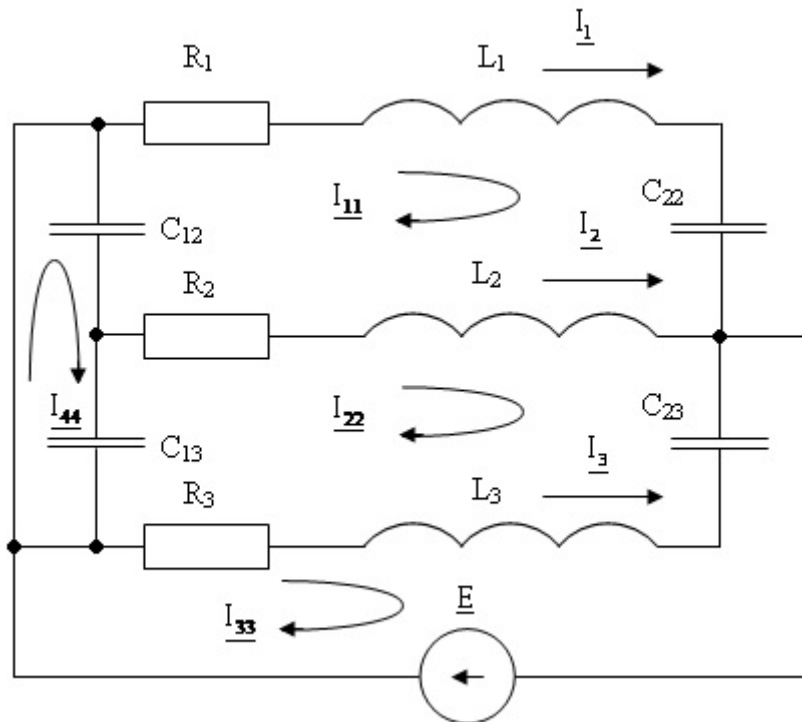


Рис. 3. Электрическая схема замещения устройства

При расчете индуктивности обмотки необходимо учитывать, что плотность тока в аксиальном направлении уменьшается от места ввода тока к периферии, т.е.  $j_a = f(x)$ . Таким образом, индуктивность плоской секции  $L_1$ ,  $L_n$  можно считать эквивалентной проводнику прямоугольного сечения, имеющего те же размеры, что и секция и рассчитать по формуле (2)

$$L_1 = \frac{\mu_0 \cdot l}{2 \cdot \pi} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot l}{b + h} + 0,5 + 0,223 \frac{b + h}{l} \right), \tag{1}$$

где  $l$  – длина секции, см;  
 $h$  – высота секции, см;  
 $b$  – толщина секции, см.

Так как все проводники секции индуктора работают в электромагнитном поле, созданном током индуктора, то взаимное влияние этих проводников друг на друга определится как взаимная индуктивность двух одинаковых прямоугольников с параллельными сторонами

$$M = \frac{\mu_0}{\pi} \cdot \left[ l \cdot \ln \left( \frac{1 + d_1}{1 + D} \cdot \frac{d_2}{x} \right) + h \cdot \ln \left( \frac{h + d_2}{h + D} \cdot \frac{d_1}{x} \right) + 2 \cdot (D - d_1 - d_2 + \delta) \right] \tag{2}$$

где  $\delta$  – толщина диэлектрика, см.

$$d_1 = \sqrt{l^2 + \delta^2}, \tag{3}$$

$$d_2 = \sqrt{h^2 + \delta^2}, \quad (4)$$

$$D = \sqrt{l^2 + h^2 + \delta^2}. \quad (5)$$

Собственная емкость секции индуктора  $C_1$ , пФ, рассчитывается по формуле (3) для плоской многопластинчатой секции, собранной из  $N$  проводников, соединенных через один параллельно

$$C_1 = \frac{0,0884 \cdot \varepsilon \cdot h \cdot l \cdot (N-1)}{\delta}. \quad (6)$$

Активное сопротивление  $R$ , Ом определяется по формуле

$$R = \frac{\rho \cdot l}{h \cdot b}, \quad (7)$$

где  $\rho$  – удельное электрическое сопротивление материала проводника, Ом м.

Определяем независимые контуры и их нумеруем. При наличии в схеме источников тока независимые контуры, для которых составляем уравнения метода контурных токов, можно определить, если мысленно удалить источники тока. Выбираем направление контурных токов (целесообразно в одну сторону) и составляем уравнения по методу контурных токов, обходя каждый контур в направлении его контурного тока. Контурный ток, проходящий через источник тока, известен и равен току источника тока (через источник тока проходит только один контурный ток). Полученную систему алгебраических уравнений решаем относительно неизвестных контурных токов.

Составляем систему уравнений контурных токов. В левой части уравнений входят падения напряжений в контуре, а в правой ЭДС данного контура.

$$\begin{aligned} (R_3 + jX_{L3}) \cdot \underline{I}_{11} - \underline{I}_{22} \cdot (R_3 + jX_{L3}) &= \underline{E} \\ -\underline{I}_{11} \cdot (R_3 + jX_{L3}) + \underline{I}_{22} \cdot (-jX_{C13} + R_2 + R_3 + jX_{L2} + jX_{L3} - jX_{C23}) - \underline{I}_{33} \cdot (R_2 + jX_{L2}) - \underline{I}_{44} \cdot (-jX_{C13}) &= 0 \\ -\underline{I}_{22} \cdot (R_2 + jX_{L2}) + (R_2 + R_1 + jX_{L1} + jX_{L2} - jX_{C22} - jX_{C12}) \cdot \underline{I}_{33} - \underline{I}_{44} \cdot (-jX_{C12}) &= 0 \\ -\underline{I}_{22} \cdot (-jX_{C13}) - \underline{I}_{33} \cdot (-jX_{C12}) + \underline{I}_{44} \cdot (-jX_{C12} - jX_{C13}) &= 0 \end{aligned} \quad (8)$$

Определители системы уравнений (8)

$$\Delta = \begin{vmatrix} (R_3 + jX_{L3}) & -(R_3 + jX_{L3}) & 0 & 0 \\ -(R_3 + jX_{L3}) & (-jX_{C13} + R_2 + R_3 + jX_{L2} + jX_{L3} - jX_{C23}) & -(R_2 + jX_{L2}) & jX_{C13} \\ 0 & -(R_2 + jX_{L2}) & (R_2 + R_1 + jX_{L1} + jX_{L2} - jX_{C22} - jX_{C12}) & jX_{C12} \\ 0 & jX_{C13} & jX_{C12} & (-jX_{C12} - jX_{C13}) \end{vmatrix}$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} \underline{E} & -(R_3 + jX_{L3}) & 0 & 0 \\ 0 & (-jX_{C13} + R_2 + R_3 + jX_{L2} + jX_{L3} - jX_{C23}) & -(R_2 + jX_{L2}) & jX_{C13} \\ 0 & -(R_2 + jX_{L2}) & (R_2 + R_1 + jX_{L1} + jX_{L2} - jX_{C22} - jX_{C12}) & jX_{C12} \\ 0 & jX_{C13} & jX_{C12} & (-jX_{C12} - jX_{C13}) \end{vmatrix}$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} (R_3 + jX_{L3}) & \underline{E} & 0 & 0 \\ -(R_3 + jX_{L3}) & 0 & -(R_2 + jX_{L2}) & jX_{C13} \\ 0 & 0 & (R_2 + R_1 + jX_{L1} + jX_{L2} - jX_{C22} - jX_{C12}) & jX_{C12} \\ 0 & 0 & jX_{C12} & (-jX_{C12} - jX_{C13}) \end{vmatrix}$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} (R_3 + jX_{L3}) & -(R_3 + jX_{L3}) & \underline{E} & 0 \\ -(R_3 + jX_{L3}) & (-jX_{C13} + R_2 + R_3 + jX_{L2} + jX_{L3} - jX_{C23}) & 0 & jX_{C13} \\ 0 & -(R_2 + jX_{L2}) & 0 & jX_{C12} \\ 0 & jX_{C13} & 0 & (-jX_{C12} - jX_{C13}) \end{vmatrix}$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} (R_3 + jX_{L3}) & \underline{E} & 0 & 0 \\ -(R_3 + jX_{L3}) & 0 & -(R_2 + jX_{L2}) & jX_{C13} \\ 0 & 0 & (R_2 + R_1 + jX_{L1} + jX_{L2} - jX_{C22} - jX_{C12}) & jX_{C12} \\ 0 & 0 & jX_{C12} & (-jX_{C12} - jX_{C13}) \end{vmatrix}$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} (R_3 + jX_{L3}) & -(R_3 + jX_{L3}) & \underline{E} & 0 \\ -(R_3 + jX_{L3}) & (-jX_{C13} + R_2 + R_3 + jX_{L2} + jX_{L3} - jX_{C23}) & 0 & jX_{C13} \\ 0 & -(R_2 + jX_{L2}) & 0 & jX_{C12} \\ 0 & jX_{C13} & 0 & (-jX_{C12} - jX_{C13}) \end{vmatrix}$$

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} (R_3 + jX_{L3}) & -(R_3 + jX_{L3}) & 0 & \underline{E} \\ -(R_3 + jX_{L3}) & (-jX_{C13} + R_2 + R_3 + jX_{L2} + jX_{L3} - jX_{C23}) & -(R_2 + jX_{L2}) & 0 \\ 0 & -(R_2 + jX_{L2}) & (R_2 + R_1 + jX_{L1} + jX_{L2} - jX_{C22} - jX_{C12}) & 0 \\ 0 & jX_{C13} & jX_{C12} & 0 \end{vmatrix}$$

Токи в контурах с 1 по 4 определяются как

$$\underline{I}_{11} = \frac{\Delta_1}{\Delta}; \underline{I}_{22} = \frac{\Delta_2}{\Delta}; \underline{I}_{33} = \frac{\Delta_3}{\Delta}; \underline{I}_{44} = \frac{\Delta_4}{\Delta}.$$

Токи в проводниках индукционного нагревателя определяются как

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_{33}; \underline{I}_2 = \underline{I}_{22} - \underline{I}_{33}; \underline{I}_3 = \underline{I}_{11} - \underline{I}_{22}.$$

Представленная методика расчета реализована в виде программы REZCUR (рисунок 4), созданной в программной среде Borland DELPHI.

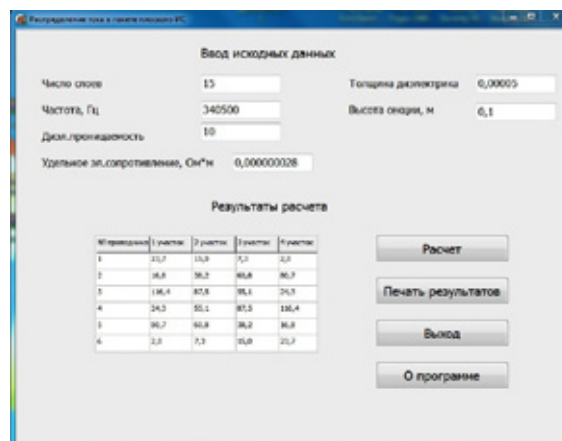


Рис. 4. Панель исполнительного модуля программы «REZCUR»

С использованием указанной программы проведен расчет распределения тока в проводниках и диэлектрике плоского индуктора с емкостной связью.

При исследовании распределения тока по длине проводниковых лент замечена симметрия, ось которой проходит по центральной части конструкции: в случае нечетного количества проводников — по центральному проводнику, в случае четного количества проводников — между двумя центральными проводниками. При этом конструкция условно делится на верхнюю и нижнюю идентичные части (рис. 5, рис. 6).

Изменение тока, как в его нарастании, так и в снижении происходит в основном линейно. Некоторая нелинейность замечена в правой части конструкции.

Наиболее токонагруженная часть устройства включает в себя проводники из центральной зоны конструкции. Остальные проводники попарно взаимно-противоположно уменьшают токовые значения до периферии.

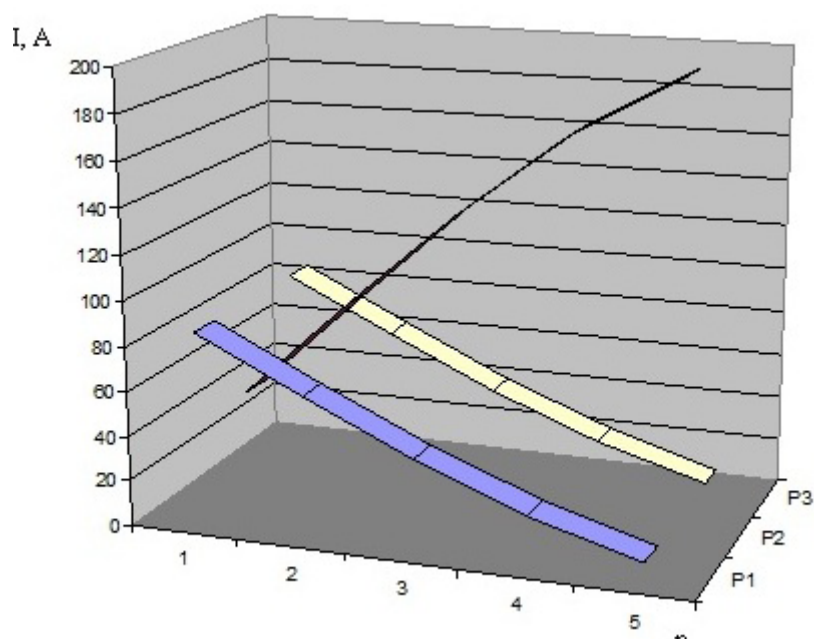


Рис. 5. Зависимость изменения тока  $I$  по длине проводников  $L(n)$  плоского индуктора с емкостной связью при трехпроводниковой конструкции

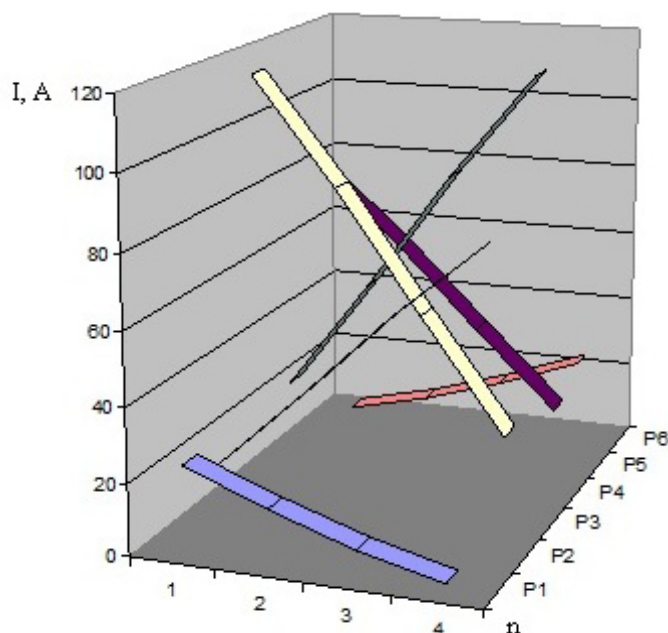


Рис. 6. Зависимость изменения тока  $I$  по длине проводников  $L(n)$  плоского индуктора с емкостной связью при шестипроводниковой конструкции

Характерно, что сумма токовых значений в пределах одной зоны проводников есть величина постоянная по всей их длине, т. е.  $\sum_{i=1}^n I_i = \text{const}$ .

При исследовании распределения тока по длине диэлектрика конструкции также отмечена симметрия, ось которой проходит по центральной части конструкции (рис. 7, рис. 8). В трехпроводниковой конструкции ток в диэлектрике от входа несколько увеличивается, затем снижается до конца диэлектрика. Существенная токонагруженность соответствует  $2/5$  всей длины диэлектрика. В конструкции, представленной на рис. 8, центральная значительно токонагруженная часть приходится на среднюю зону с ярко выраженным максимумом.



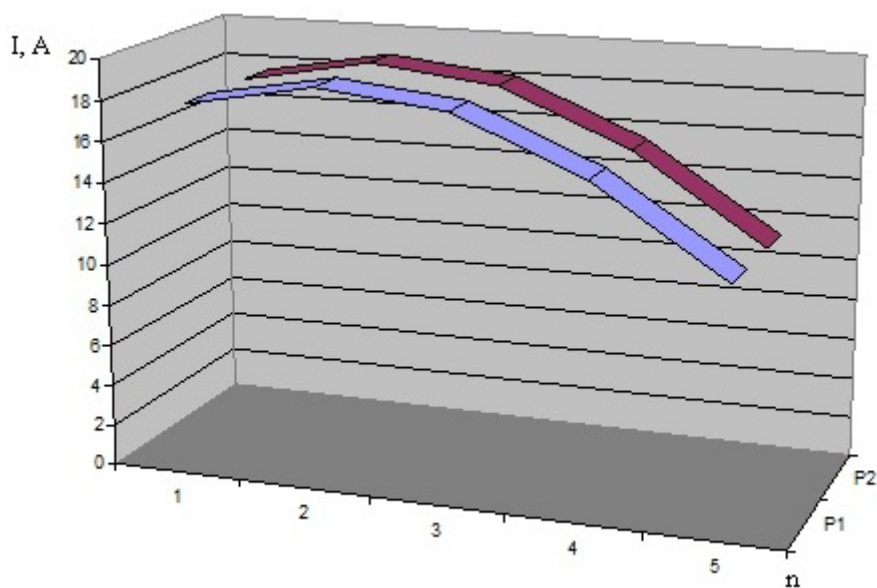


Рис. 7. Зависимость изменения тока  $I$  в диэлектрике по его длине  $L$  ( $n$ ) в плоском индукторе с емкостной связью при трехпроводниковой конструкции

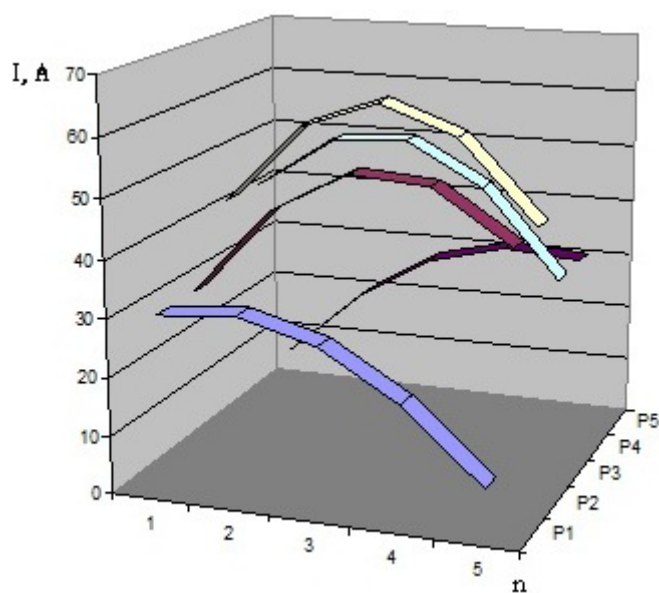


Рис. 8. Зависимость изменения тока  $I$  в диэлектрике по его длине  $L$  ( $n$ ) в плоском индукторе с емкостной связью при шестипроводниковой конструкции

Таким образом, исследования помогли выяснить, что наиболее токонагруженная зона конструкции приходится на центральную ее часть. Этот фактор необходимо учитывать при проектировании устройства с целью обеспечения допустимого теплового режима.

#### Литература:

1. Мухаметшин, Р.Р., Науман О.А., Захаров И.В. Исследование резонансного режима плоских индукционных систем с емкостной связью. Технические науки в России и за рубежом: материалы III Международной научной конференции, Москва, 2014. — М.: Буки-Веди, 2014.
2. Калантаров, П.Л., Цейтлин Л.А. Расчет индуктивностей: Справочная книга. — Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1986.

3. Расчет электрической емкости/Ю.Я. Иоссель, Э.С. Кочанов, М.Г. Струнский. — Л.: Энергоиздат, Ленингр. отд-ние, 1981.

## Разностно-потенциальные коэффициенты как параметры схемы замещения электрического процесса в ванне многоэлектродных печей

Ильгачёв Анатолий Николаевич, кандидат технических наук, доцент  
Чувашский государственный университет (г. Чебоксары)

Работа многих действующих трёхфазных руднотермических печей (РТП) происходит в условиях несимметричности электрического режима печного контура и ванны, которая может наблюдаться как в переходных, так и в стационарных режимах. Несимметричность электрического режима РТП обусловлена действием различных причин геометрического, электрического и технологического характера. Проявление этих факторов обнаруживается в отсутствии равенства действующих значений токов в электродах и мощностей в фазах и участках ванны, в различии значений и знака переносимой мощности с фазы на фазу и, как следствие, в перекосе активных и реактивных мощностей фаз, появлении «дикий» и «мертвой» фаз [1, 2]. При этом наблюдается неодинаковое относительно электродов распределение электрической мощности по объёму ванны, приводящее к неодинаковым условиям протекания электротехнологических процессов вокруг них. Все это ведет к ухудшению энергетических и технологических показателей работы установок.

В значительной части электродных РТП тепло в технологических зонах выделяется в основном за счет протекания тока по нагретым электропроводящим материалам среды ванны. Такие печи являются установками резистивного объемного нагрева. Существующие методы исследования электрических процессов в печном контуре и характеристик электрического поля ванн электродных установок резистивного нагрева не позволяют с необходимой точностью выявлять, учитывать и устранять действия факторов, приводящих к несимметричности электрического режима. Важной задачей повышения энергетической эффективности рассматриваемых установок является разработка методов исследования параметров схем замещения ванн в этих условиях.

При решении задач анализа и синтеза электрических режимов РТП в случае гармонической формы питающих ванну токов токоподвод, электроды, шихтовые, шлаковые материалы и расплав, расположенные в ванне, необходимо рассматривать как единую систему и производить расчёт электромагнитного поля одновременно для всей системы решением квазиволнового уравнения

$$\nabla^2 \dot{\vec{F}} = j\gamma\mu\mu_0\omega\dot{\vec{F}},$$

где  $\dot{\vec{F}}$  — вектор электрической или магнитной напряжённости поля в комплексной форме;  $\mu\mu_0$  — магнитная проницаемость среды;  $\gamma$  — удельная проводимость среды;  $\omega$  — круговая частота переменного тока.

При пренебрежении влиянием поверхностного эффекта в шлаке и шихте ванны и предположении однородности удельной электрической проводимости их материалов электрическое поле ванны является потенциальным, квазистационарным, описывается уравнением Лапласа и может быть рассчитано без учета действия магнитного поля.

В настоящее время для характеристики ванны электродных печей резистивного нагрева как приёмника электрической энергии и анализа её взаимодействия с токоподводом и источником питания находят применение две разновидности схем её замещения: 1) в виде звезды входных сопротивлений; 2) в виде полного многоугольника с частичными проводимостями. Достоинство первой схемы замещения состоит в простоте представления и определения характеристик ванны как приёмника электроэнергии. Вместе с тем она обладает недостатком, состоящим в том, что параметры её элементов зависят не только от геометрии ванны, формы, пространственного расположения электродов и электрических свойств расположенных в ней материалов шихты, но и от режима питания, например от соотношения напряжений на электродах,

$$Z_{\text{вх}i} = \frac{\dot{U}_{\text{э}i}}{\dot{U}_{\text{э}i}g_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (\dot{U}_{\text{э}j} - \dot{U}_{\text{э}i})g_{ij}}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

где  $g_{ii}, g_{ij}$  — частичные проводимости схемы замещения ванны,  $\dot{U}_{\text{э}i}$  — напряжение на участке «электрод — подина»  $i$ -го электрода.



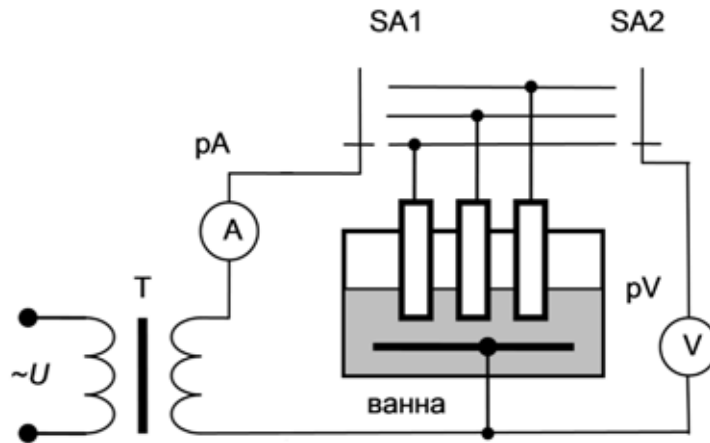


Рис. 2. Электрическая схема физической модели ванны трёхэлектродной печи для определения РПК схемы замещения

Сущность опыта холостого хода ванны модели состоит в том, что её питание осуществляется путём подключения вывода источника питания к одному из электродов, а другой его вывод подключается к подовому электроду. Оставшиеся электроды оставляют не подключенными к электрической цепи источника питания модели. В процессе моделирования фиксируется пространственное положение электродов в ванне и к каждому из них поочередно с помощью переключателя SA1 подключается вывод вторичной обмотки трансформатора Т, второй вывод которого постоянно подсоединён к металлической пластине, расположенной на дне ванны. С помощью амперметра pA измеряются ток, протекающий в электроде. Переключатель SA2 коммутирует электрод и вольтметр pV, посредством которого измеряют напряжения на участках «электрод — подина». По результатам измерения определяют РПК схемы замещения ванны:

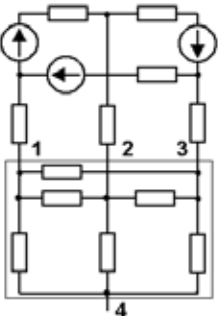
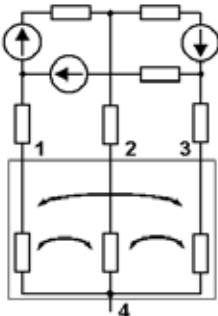
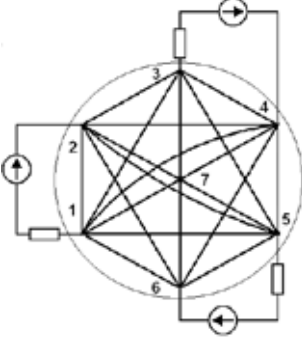
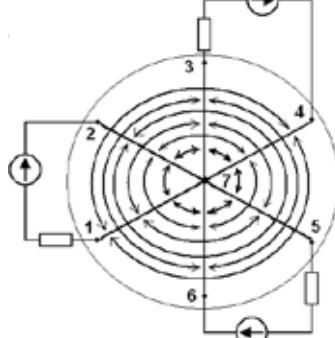
$$\text{собственные РПК} \quad R_{k,k} = \frac{U_{\text{э}k}^{(k)}}{I_{\text{э}k \text{ x.x}}}, \quad k = 1, 2, \dots, n;$$

$$\text{взаимные РПК} \quad R_{k,i} = \frac{U_{\text{э}k}^{(i)}}{I_{\text{э}i \text{ x.x}}}, \quad k \neq i, \quad k, i = 1, 2, \dots, n.$$

В таблице 1 приведены данные о количестве ветвей  $N_B$ , узлов  $N_V$  и контуров  $N_K$  электрических цепей с частичными проводимостями, входными сопротивлениями или РПК схем замещения ванн РТП, рассчитанные для некоторых многоэлектродных электрических печей.

Таблица 1. Сравнение параметров электрических цепей многоэлектродных печей для различных схем замещения ванн

п	С частичными проводимостями			С входными сопротивлениями или разностно-потенциальными коэффициентами				
	Схема	$N_B$	$N_V$	$N_K$	Схема	$N_B$	$N_V$	$N_K$
3		9	5	5		3	2	2

3		12	7	6		6	4	3
6		24	7	18		3	1	3

Эти данные показывают, что применение РПК в качестве элементов схемы замещения ванны позволяет значительно уменьшить число узлов, ветвей и контуров электрической цепи печи по сравнению с использованием частичных проводимостей при сохранении преимущества

перед входными сопротивлениями ванны — независимости параметров элементов схемы замещения от электрического режима. Это преимущество усиливается с увеличением числа электродов печи.

#### Литература:

1. Струнский, Б. М. Расчеты руднотермических печей. М.: Металлургия. 1982.
2. Данцис, Я. Б. Методы электротехнических расчетов мощных электропечей. Л.: Энергоиздат, Ленингр. отд-ние. 1982. 232 с.
3. Ильгачёв, А. Н. Разностно-потенциальные коэффициенты ванн многоэлектродных печей резистивного нагрева/А. Н. Ильгачёв // Вестник Чувашского университета. 2006. №2. с. 227–235.
4. Ильгачёв, А. Н. Исследование разностно-потенциальных коэффициентов ванн многоэлектродных печей резистивного нагрева // Региональная энергетика и электротехника: проблемы и решения: сб. науч. тр. Вып. 7. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2011. с. 196–209.

## К вопросу контролирования тока при работе многокатушечного длинноходового электромагнита

Ромшин Ярослав Андреевич, магистрант  
Тольяттинский государственный университет (Самарская обл.)

Для правильной работы многокатушечного длинноходового электромагнита [1] очень важным является обеспечение хорошей магнитной связи между катушками с целью эффективной передачи энергии из одной катушки в другую. Однако может возникнуть режим, при котором индукция в магнитопроводе достигнет значения индукции насыщения, и тогда магнитные свойства материала маг-

нитопровода резко ухудшатся. Это неизбежно приведёт к снижению КПД устройства и преждевременному выходу из строя. Для исключения подобных режимов необходимо контролировать значение силы тока в катушках, особенно на этапе отладки устройства.

Ухудшение магнитных свойств материала выражается уменьшением его относительной магнитной проницае-

мости  $\mu$  согласно формуле 1 и увеличением магнитного сопротивления  $R_M$ , определяемого по формуле 2 [2]:

$$H = \frac{B}{\mu_0 \cdot \mu} \rightarrow \mu = \frac{B}{\mu_0 \cdot H}, \quad (1)$$

где  $H$  — напряженность магнитного поля,  $\mu_0$  — магнитная постоянная,  $B$  — индукция магнитного поля.

$$R_M = \frac{l}{\mu \cdot \mu_0 \cdot S}, \quad (2)$$

где  $l$  — длина участка магнитопровода,  $S$  — площадь его поперечного сечения.

Из закона полного тока известно:

$$H \cdot l = i \cdot w, \quad (3)$$

где  $i$  — сила тока в катушке,  $w$  — число витков катушки.

Определим связь  $B$  и  $i$ , объединив формулы 1 и 3:

$$B = \frac{i \cdot w \cdot \mu_0 \cdot \mu}{l}. \quad (4)$$

Отсюда видим, что индукция в магнитопроводе прямо пропорциональна току в катушке, и чрезмерное увеличение тока может привести к насыщению и потере мате-

риалом своих ферромагнитных свойств. Возникает задача каким-то образом контролировать значение силы тока.

Самым простым и наиболее очевидным способом контроля является включение в цепь катушки амперметра. Однако процессы нарастания тока и передачи энергии в электромагните происходят достаточно быстро, и инерционность амперметра в этом случае может не позволить произвести правильное и своевременное измерение. Кроме того большинство амперметров, как аналоговых, так и цифровых показывают действующее или среднее значение тока, в то время как для оценки превышения допустимого уровня тока требуется его мгновенное значение. Отсюда возникает потребность в определенном рода сигнализаторе превышения заданного уровня тока.

Простейшим решением является включение в цепь катушки  $L_k$ , подключенной к источнику  $U_n$ , дополнительного резистора (рисунок 1), который, по сути, будет являться датчиком тока, и падение напряжения  $U_R$  на котором согласно закону Ома будет пропорционально протекающему через него току [3]:

$$U_R = I \cdot R. \quad (5)$$

Напряжение  $U_R$  можно использовать для включения сигнализирующего светодиода  $VD$ , подключенного па-

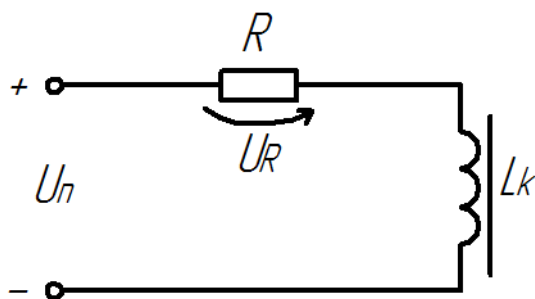


Рис. 1. Схема включения измерительного резистора

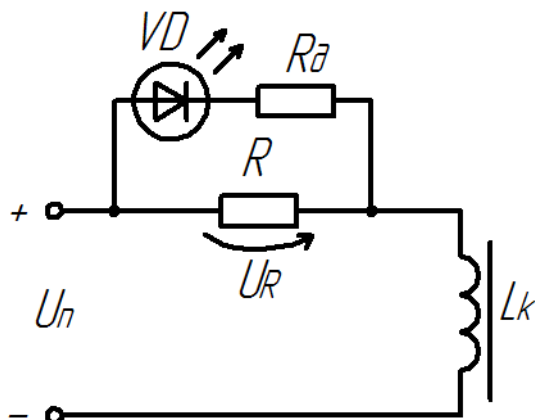


Рис. 2. Схема включения сигнализирующего светодиода

раллельно резистору  $R$  через добавочный резистор  $R_d$  (рисунок 2).

До тех пор, пока напряжение  $U_R$  будет меньше порогового напряжения  $U_0$  светодиода, ток в цепи  $VD - R_d$  протекать не будет. Как только ток через  $R$  достигнет значения, при котором выполнится условие  $U_R = U_0$ , светодиод откроется и загорится, сигнализируя о превышении допустимого тока.

Для выбора сопротивления резистора  $R$  необходимо задаться значениями тока срабатывания  $I_{cp}$  и напряжения  $U_R$ , необходимого для включения светодиода. Тогда

по формуле 5 получим:  $R = \frac{U_R}{I_{cp}}$ . Мощность  $P$  этого резистора должна быть не менее  $P = I_{cp}^2 \cdot R$ .

Резистор  $R_d$  должен обеспечивать прямой ток  $I_{VD}$  через светодиод достаточный для его яркого свечения. Сопротивление  $R_d$  определяется как  $R_d = \frac{U_R}{I_{VD}}$ . Для большин-

ства маломощных светодиодов достаточно тока 15–20 мА.

Кроме того необходимо защитить светодиод от обратного напряжения, которое может возникнуть при работе электромагнита. Для этого достаточно параллельно ему во встречном направлении подключить шунтирующий диод  $VD_{ш}$  (рисунок 3) с обратным напряжением не менее  $1,4 \cdot U_n$ .

Кроме световой сигнализации, дополнительно может быть использована звуковая. Схема в этом случае требует некоторой доработки и введения дополнительных элементов. Вместо светодиода  $VD$  в схему включается диодно-транзисторный оптрон  $U1$ , передающий сигнал из силовой цепи в цепь сигнализации, осуществляя дополнительно гальваническую развязку. Транзистор оптрона является ключом, коммутирующим нагрузку, ко-

торой служат параллельно подключенные светодиод  $VD1$  и генератор звуковой частоты ГЗЧ (рисунок 4).

Работа схемы аналогична предыдущему варианту. Когда ток в катушке достигнет значения  $I_{cp}$ , падение напряжения на резисторе  $R$  вызовет открытие диода оптрона и протекание через него тока. За счет светового потока транзистор на вторичной стороне оптрона откроется и подключит ГЗЧ и  $VD1$  к источнику питания  $U_{п.у.}$  Нагрузкой ГЗЧ может быть динамическая головка или пьезоизлучатель. Резистор  $R1$  ограничивает ток через  $VD1$ . Его сопротивление определяется как  $R1 = \frac{U_{п.у.}}{I_{VD1}}$ , где  $I_{VD1} = (15 \div 20)$

мА — ток через диод  $VD1$ . За счет быстродействия полупроводниковых элементов система своевременно реагирует на превышение тока.

Однако стоит отметить, что применение подобных схем целесообразно при значении тока в катушках не больше 5–6 А, потому как с увеличением тока сильно увеличиваются тепловые потери в резисторе  $R$ , а также затрудняется его подбор. Для более мощных электромагнитов можно использовать специальные неконтактные датчики, основанные, например, на эффекте Холла [3]. Представленная же схема в принципе может использоваться в любом устройстве, работающем на постоянном токе и требующем контроля значения этого тока.

Несмотря на то, что процессы, протекающие в электромагните, лежат в диапазоне десятков-сотен миллисекунд, энергия, преобразуемая при работе из электрической в механическую, весьма значительна, а потери этой энергии будут приводить к нагреву катушек, которые, учитывая конструкцию длинноходового электромагнита, не смогу рассеять эту энергию в окружающую среду. Поэтому стоит уделить повышенное внимание расчету и отладке устройства, не допуская его работы в критических режимах. При проек-

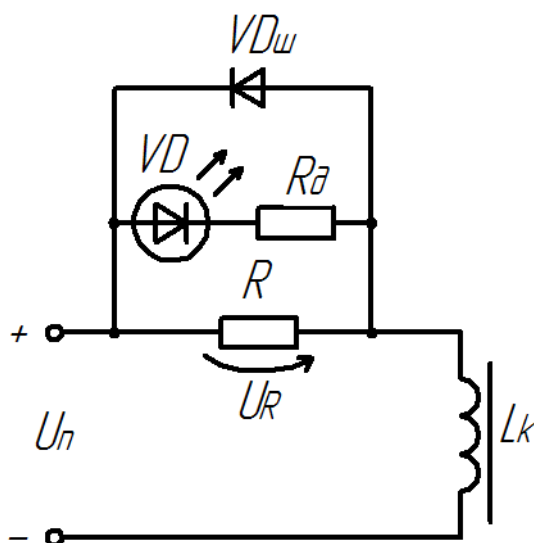


Рис. 3. Схема подключения шунтирующего диода

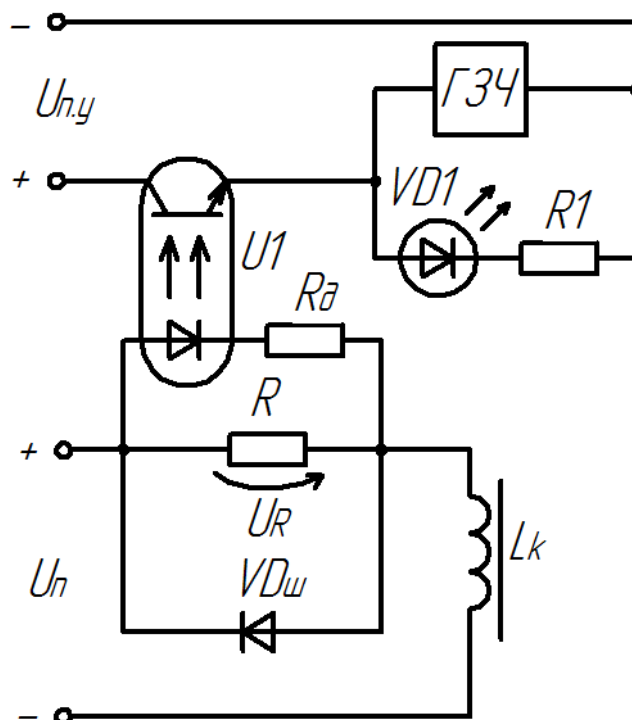


Рис. 4. Схема с использованием световой и звуковой сигнализации

тировании не стоит пренебрегать математическим моделированием. Современные САПР позволяют достаточно точно рассчитать и смоделировать работу практически любой си-

стемы, и электромагнита в частности. При грамотном моделировании можно избежать множества ошибок, возникающих при реализации готового устройства.

#### Литература:

1. Технические науки в России и за рубежом: материалы IV Междунар науч. конф. (г. Москва, январь 2015 г.). — М.: Буки-Веди, 2015. — 140 с. — ISBN 978-5-4465-0596-8.
2. Зорохович, А.Е., Калинин В.К. Электротехника с основами промышленной электроники. — М.: «Высшая школа», 1975. — 432 с.: ил.
3. Уильямс, Б. Силовая электроника: приборы, применение, управление. Справочное пособие: Пер. с англ. — М.: Энергоатомиздат, 1993. — 240 с.: ил.



## 5. ЭНЕРГЕТИКА

### Создание алгоритма программы-советчика технолога СРЗА при проработке ремонтных и оперативных заявок на вывод оборудования, входящего в тракт передачи сигналов ПА

Кузьмин Сергей Юрьевич, магистрант;

Научный руководитель: Полищук Владимир Иосифович, кандидат технических наук, доцент

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

**Ц**ель работы: Представить результаты создания алгоритма программы-советчика технолога СРЗА при проработке ремонтных и оперативных заявок на вывод оборудования, входящего в тракт передачи сигналов ПА

Передача сигналов и команд противоаварийной автоматики осуществляется по каналам связи (каналы ПА). При «потере» канала ПА есть вероятность потери противоаварийного управления в рассматриваемом регионе. Ведение режима без учета потери противоаварийного управления может привести к неблагоприятному развитию аварий. Для предотвращения последствий потери противоаварийного управления в регионе необходимо оценивать состояние трактов передачи УПАСК. [1]

Оценка состояния трактов передачи УПАСК при проработке ремонтных заявок осуществляется сотрудниками службы РЗА. [2] В качестве исходной информации описываемого процесса используются схемы на бумажных носителях, а также диспетчерские заявки на вывод в ремонт ЛЭП и устройств (комплексов) ПА из ПК «Заявки».

Специалисты технологического блока диспетчерских центров ОАО «СО ЕЭС» вручную производят сопоставление существующих трактов передачи интересующего сигнала с полученными заявками на вывод ЛЭП и устройств (комплексов) ПА на конкретную дату. Процесс проработки ремонтных заявок на вывод в ремонт

оборудования, входящего в тракт передачи УПАСК представлен на рисунке 1

Результаты проведенного анализа фиксируются в графе «Потери РЗА» диспетчерской заявки и используются:

- для вынесения решения по разрешению вывода в ремонт ЛЭП и устройств (комплексов) ПА на основании поданных диспетчерских заявок;

- в качестве исходных данных для определения максимально допустимых перетоков мощности в контролируемых сечениях технологами СЭР. [2]

Назначение программы: автоматизация анализа возможности передачи сигналов и команд противоаварийной автоматики в режиме краткосрочного планирования.

Цели создания программы:

- сокращение времени и трудоемкости процесса рассмотрения заявок на вывод из работы УПАСК, ЛЭП;

- снижение степени влияния человеческого фактора на реализацию процесса.

Для достижения поставленных целей разработан алгоритм программы (рисунок 2). Пользователь задает исходные данные для расчета. К исходным данным для расчета относится тип графика заявок и дата, на которую производится анализ. По полученным исходным данным из базы данных ПК «Заявки»/ПО «Ремонты» выбираются заявки на оборудование, входящее в тракт передачи сигналов ПА (УВК АДВ ЛАПНУ, УПАСК, ЛЭП, УОГ,

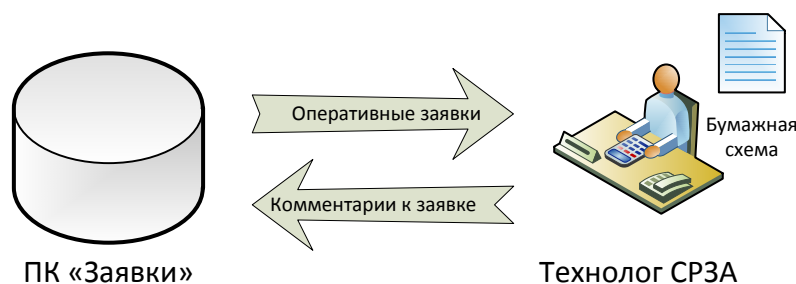


Рис. 1. Процесс проработки ремонтных заявок на вывод в ремонт оборудования, входящего в тракт передачи УПАСК

УОН). Из полученного списка заявок, выбираются идентификаторы оборудования, и запускается процедура анализа трактов. Процедура анализа трактов заключается в переборе и сравнении идентификаторов оборудования входящего в цепи передачи УПАСК с идентификаторами из списка заявок. При совпадении идентификаторов текущая цепь считается отключаемой, в обратном случае — остающейся в работе. В результате, для текущего тракта формируется список отключаемых и остающихся в работе цепей. В случае наличия в тракте отключаемых цепей производится анализ сигналов с целью выявления тех сигналов, которые протекают только по отключаемым цепям текущего тракта. Если такие сигналы существуют, то они выводятся в список потерянных сигналов, в противном случае сигнал считается оставшимся в работе.

При выборе пользователем заявки для просмотра по ней совета первоначально производится определение типа обо-

рудования, на которое подана заявка. Если оборудование относится к УПАСКам, то тогда необходимо в качестве рекомендации предложить для вывода из работы встречного УПАСКа, находящегося на одной линии связи с запрашиваемым в ремонт. Если же оборудование в рассматриваемой заявке является линией, то тогда необходимо в качестве рекомендации пользователю предложить для вывода из работы названия УПАСКов, находящихся на ней.

Для заполнения полей рассматриваемой заявки «Осталось в работе» предлагается в качестве рекомендации выводить список оборудования, которое входит в оставшиеся в работе цепи тракта.

В случае отключения всех цепей, входящих в тракт пользователь должен самостоятельно принять и согласовать решение о разрешении/запрете ремонтной заявки.

Закключение: В результате реализации представленного алгоритма была получена программа-советчик тех-

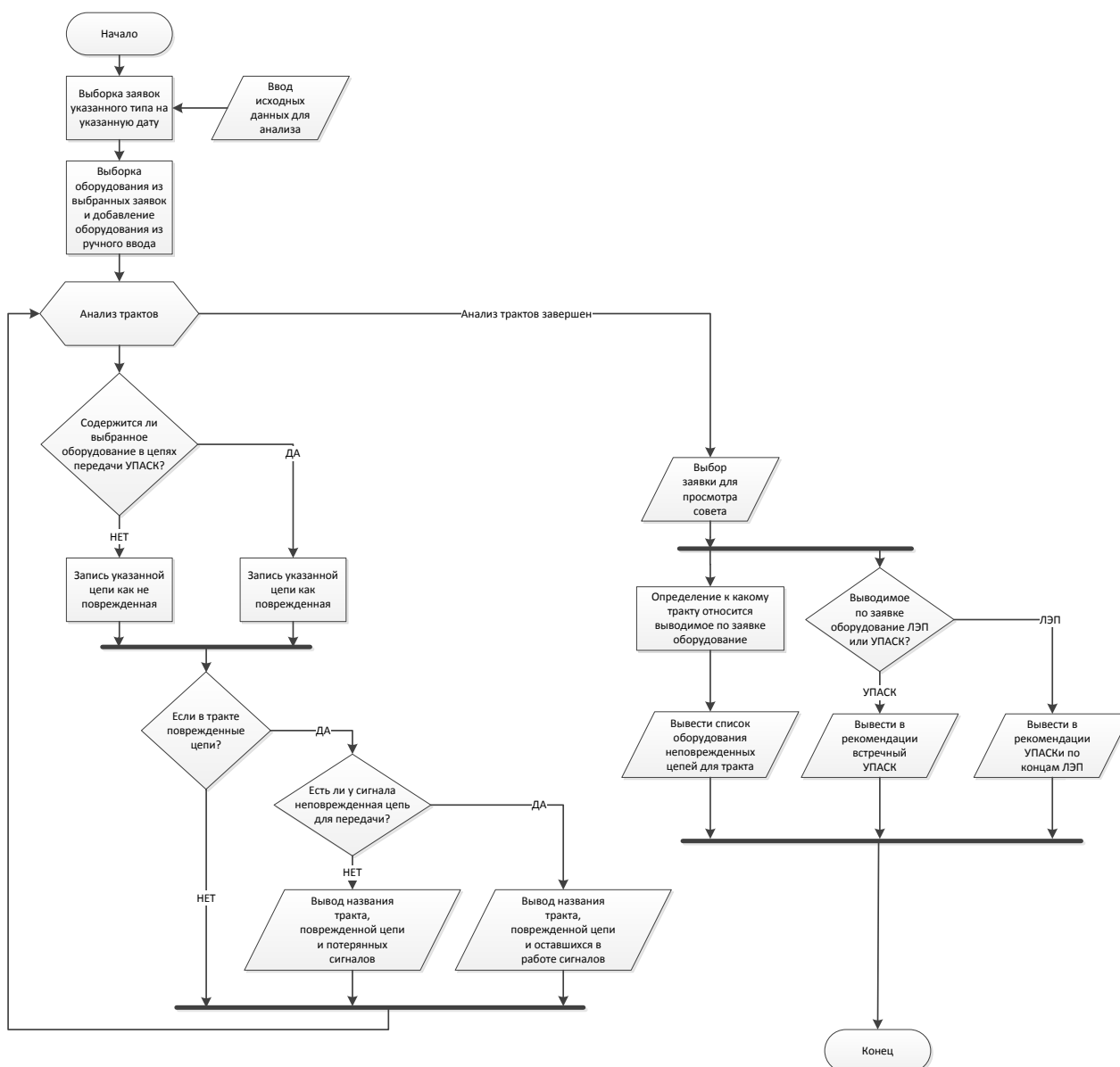


Рис. 2. Алгоритм работы программы

нолога СРЗА при проработке ремонтных и оперативных заявок на вывод оборудования, входящего в тракт передачи сигналов ПА. В виду отсутствия в каких-либо программных комплексах информации об оборудовании, входящем в тракт передачи УПАСК, для работы про-

граммы потребовалось создание дополнительной подпрограммы-справочника, где формируются эквиваленты схем прохождения сигналов ПА. На стадии тестирования программа-советчик показала достижение поставленных целей.

#### Литература:

1. Стандарт организации ОАО «СО ЕЭС» Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Противоаварийная автоматика энергосистем. Условия организации процесса. Условия создания объекта. Нормы и требования. М.: 2008. 62 с.
2. Дьяков, А. Ф. Надежная работа персонала в энергетике. М.: Энергоатомиздат, 1990
3. Описание структуры БД программного комплекса «Заявки». Самара: СМС-Автоматизация. 2014. 39 с.

## Влияние регулирования водоподдачи насосов на водноэнергетические параметры насосных станций

Уришев Боборахим Уришевич, кандидат технических наук, доцент;  
Бейтуллаева Румия Хамидуллаевна, соискатель;  
Гайимназаров Исроилю Холикович, соискатель;  
Умиров Асрор Пардаевич, соискатель  
Каршинский инженерно-экономический институт (Узбекистан)

Регулирование водоподдачи насосов представляет собой процесс искусственного изменения характеристики трубопровода или насоса для обеспечения его работы в требуемой режимной точке, т.е. для сохранения необходимого энергетического и материального баланса водоподъемной системы. Под оптимальным или экономичным регулированием режима работы подразумевается обеспечение работы насосов в такой режимной точке, которая отвечает оптимальному значению КПД при минимуме водноэнергетических затрат и максимальном покрытии нужд водопотребления.

Использование неэкономичных способов регулирования водоподдачи агрегатов заметно снижает энергоэффективность насосной станции. В настоящее время для этой цели часто используют способ дросселирования трубопровода или способ подключения и отключения агрегатов (ступенчатое регулирование), т.е. изменения числа одновременно работающих насосов. Как известно, основная часть агрегатов, установленных в насосных станциях, приводятся в движение нерегулируемыми по скорости электроприводами. Установленная мощность электроприводов в силу обеспечения пусковых режимов в среднем 1,5–3 раза больше реально необходимой мощности, а средняя их загрузка имеет величину в пределах 30–60%. В таких условиях расхождение между потребляемой и полезной мощностями электроприводов имеет очень большую величину, кроме этого, для регулирования подачи воды насосами применение вышеприведенных способов добавляет к этому еще и дополнительных потерь энергии.

Дросселирование трубопровода является весьма распространенным способом регулирования давления и подачи воды. При этом регулирующим элементом может быть запорное устройство в виде задвижки, дискового затвора, диафрагмы, шиберы и т.п., которое располагается на напорном трубопроводе насоса и за счет выдвигания запорного органа изменяет живое поперечное сечение трубопровода.

Несмотря на простоту использования данного способа регулирования он имеет ряд недостатков. Одним из них является снижение КПД насоса за счет потери энергии, затраченной на преодоление дополнительного сопротивления регулирующего устройства, что и определяет низкую энергоэффективность данного подхода. Помимо этого, рост давления на выходе насоса при закрытии запорного устройства приводит к сокращению его срока службы, а также к увеличению утечек воды через стыки и соединений. Другим недостатком этого способа является возможность одностороннего регулирования, т.е. оно может осуществляться только в сторону уменьшения подачи.

Ступенчатое регулирование подачи воды насосной станцией характеризуется простотой управления, так как не требует дополнительных регулирующих устройств. Однако данный способ не позволяет обеспечить плавного, точно отвечающего требованиям графика потребления регулирования и вызывает частые пуски и остановки двигателей, что уменьшает срок службы оборудования. Кроме того, электродвигатели работают не в оптимальном режиме, особенно при совместной работе насосов в общий напорный трубопровод, что снижает КПД всей насосной станции.

Несоответствие графиков водопотребления и водоподдачи при использовании данного способа является неизбежным явлением, так как в этом случае график водоподдачи, как правило, является равноступенчатым, а графики водопотребления зачастую зависят от климатических и других местных условий и имеют неравноступенчатый характер.

При неравноступенчатом графике в случае максимального водопотребления будут подключены все рабочие насосы, а при минимальном водопотреблении работает только один насос. В других периодах водоподдачи могут быть подключены 2 или 3 насоса. При таком режиме работы нерегулируемых насосов величина водоподдачи может не соответствовать значениям водопотребления в некоторых периодах водоподдачи. Например, в периоде подачи воды с продолжительностью  $t_6$  эти параметры имеют величины  $q$  и  $Q$ , а соответствующие этим величинам мощности можно выразить таким образом

$$N_{НС} = 9,81Q \cdot H / \eta_{НС}; N = 9,81q \cdot H / \eta_{НС}$$

В этом случае при имеющейся разнице мощности  $\Delta N = N_{НС} - N$ , потери электроэнергии составляет  $\Delta \mathcal{E} = \Delta N \cdot t_6$

Как показывают результаты расчетов эти потери могут быть существенными, например, при работе насосной

станции с напором 20 м, величиной КПД 75 % и производительностью  $Q = 5,0 \text{ м}^3/\text{с}$ , которая превышает на 5 % требуемого расхода воды ( $q = 4,75 \text{ м}^3/\text{с}$ ), за счет этой разницы КПД насосной станции снижается до 71 %, при этом теряемая электроэнергия за 200 часов работы может составлять 1300 кВт. часов.

Упомянутые способы регулирования крупных осевых и вертикальных центробежных насосов хотя и снижают расход электроэнергии, но не обеспечивают эффективного регулирования. Более высокую эффективность обеспечивают способы регулирования, основанные на изменении частоты вращения рабочих колес насосов.

Одним из таких способов, основанных на изменении частоты вращения рабочих колес насосов предложен в запатентованной новой системе управления электродвигателем насоса [1]. Данная система позволяет при отклонении технологического параметра (например, расход воды в напорном трубопроводе) от оптимального значения дополнительно формировать сигналы на повышение или понижение частоты вращения двигателя с тем, чтобы поддержать необходимого значения технологического параметра, которое нужно для того, чтобы иметь более высокие значения КПД насосного агрегата.

#### Литература:

1. Патент №2625, Система управления электродвигателем насоса/Мухаммадиев М. М., Уришев Б. У., и др., Бюл. изобр. №2, 1996 г.

## Энергосбережение. Презентация

Хакимьянов Айрат Азатович, студент

Научный руководитель: Фаррахова Светлана Николаевна, преподаватель

Нефтекамский нефтяной колледж (Башкортостан)



**В**се мы знаем, что наши жизненные потребности неразрывно связаны с постоянным использованием энергии: едем ли мы куда-то на общественном транспорте, работаем ли за компьютером, моем посуду, смотрим любимый фильм по телевизору.

Но лишь единицы задумываются над тем, сколько энергии уходит на реализацию наших повседневных дел. И мы даже не замечаем, что на самом деле потребляем энергии больше, чем нам необходимо.

Вопросы энергосбережения и повышения энергоэффективности в последнее время становятся все более актуальными. Сегодня вся мировая научная элита участвует в разработке мер по сокращению человеческого воздействия на качество окружающей природной среды.

**Для чего нам необходимо экономить энергию?**

**На это есть масса причин!**

**Экологическая причина.** Сбалансированность природных процессов в биосфере сохраняется на протяжении многих веков. Любые изменения, вносимые человеком

в эти процессы, не могут пройти бесследно. Важными примерами последствий таких вмешательств человека являются глобальное изменение климата, выпадение кислотных осадков, разрушение озонового слоя, исчезновение биологических видов и так далее.

**Ограниченность ресурсов.** Уголь, нефть и газ являются исчерпаемыми ресурсами. Сейчас мы об этом не задумываемся, но рано или поздно эти запасы закончатся. К сожалению, нетрадиционные источники энергии пока не вышли на такие объемы выработки электричества, чтобы удовлетворить все наши потребности в нем.

**Экономическая причина.** Включенный свет во всех комнатах, постоянно работающий телевизор, капающий кран, оставленная в розетке зарядка от телефона... на наш взгляд, это все несущественно. Но мы ошибаемся! Ты даже не представляешь, в какую сумму все эти мелочи в течение года выльются!

**Давайте попробуем разобраться, что такое энергосбережение и как экономить электроэнергию.**

**Оказывается, освещение занимает третью часть в структуре расходов на бытовое потребление всей электроэнергии.**

— Попробуй установить энергосберегающие лампы. Они стоят дороже обычных, но обрати внимание — потребляют они в 5 раз меньше энергии, а служат значительно дольше.

— Чаще используй дневной свет. Это поможет не только сэкономить электроэнергию, но и даст меньше нагрузки на зрение.

— Для торшеров и бра можно использовать лампы меньшей мощности, чем для люстр. Это позволит создать более уютную обстановку в комнате и сэкономить электроэнергию.

— Обращай внимание на то, чтобы в квартире без необходимости не работали лишние приборы. Например: телевизор, если его никто не смотрит, компьютер, за которым никто не работает, включенный свет, оставленный в пустых комнатах и т. д.

— Следи за чистотой ламп и плафонов, пыль на них снижает освещенность в квартире до 15%.

— Незыблемое правило — уходя, гасите свет. Это, пожалуй, самый простой и в то же время, самый эффективный способ экономии электроэнергии.

**Не оставляй оборудование работать в режиме ожидания — оно расходует энергию впустую.**

Оказывается, что даже не работающие, а просто включенные в розетку такие электроприборы, как телевизор, магнитофон, зарядка для мобильного и тому подобное продолжают потреблять электроэнергию в режиме ожидания.

Если их выключить из розетки, то можно сэкономить до 500 рублей в год. Если обращать внимание на все электроприборы, которые «ждут» своей работы и не забывать выдергивать их из розетки, представь, сколько электроэнергии можно сэкономить, соответственно, сколько всего можно купить на сэкономленные деньги!

**Эффективные электроприборы.**

При покупке любых электроприборов всегда консультируйся с продавцом-консультантом о классе энергоэффективности товара, и они вам посоветуют:

Энергоэффективный уют, Энергоэффективная стиральная машина, Энергоэффективный фен, Энергоэффективный холодильник.

А сейчас я бы хотел представить вам таблицу энергосбережения, которую я начал заполнять, используя все эти советы, в течении 6 месяцев.

И результату я удивился сам, сейчас моя семья начала экономить до 50 кВт/ч, по сравнению с самыми первыми показателями.

**Заключение!**



Надеюсь, что для вас это только начало познания основ энергосбережения. Я бы очень хотел, чтобы, по окончании колледжа, университета и став руководителем предприятия, инженером или политиком, вы смогли принять, профессиональные решения о внедрении современных энергосберегающих и энергоэффективных технологий.

## 6. МЕТАЛЛУРГИЯ

### Освоение технологии производства высокоуглеродистого феррохрома с содержанием кремния 1–2%

Толымбеков Азамат Магауович, кандидат технических наук  
Аксуский завод ферросплавов (Казахстан)

Жунусов Аблай Каиртасович, кандидат технических наук, доцент;  
Толымбекова Ляззат Байгабыловна, кандидат технических наук  
Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова (Казахстан)

В настоящее время возросли потребности рынка в высокоуглеродистом феррохроме с содержанием 1–2% кремния, в связи с чем на Аксуском заводе ферросплавов были начаты поисковые промышленные испытания технологии выплавки такого сплава на ферросплавных электропечах с геометрическими, конструкционными и энергетическим параметрами: установленная мощность трансформатора — 21 МВ·А; внутренний диаметр и глубина ванны — 7000 и 3200 мм, соответственно; диаметр распада электродов и диаметр электрода — 3490 и 1200 мм; число леток — 1 при магнезитовой футеровке плавильной зоны.

До опытных испытаний на печи выплавляли стандартный высокоуглеродистый феррохром с содержанием кремния <0,5%. Как следует из практики производства высокоуглеродистого феррохрома наряду с хромом и железом частично восстанавливается и кремний в зависимости от температуры процесса, количества кремнезема в шихте, избытка восстановителя против стехиометрии для восстановления хрома и железа в сплав. Содержание кремния в сплаве может составить 2–4%, если применить в качестве флюса кварцит. При большом избытке углеродистого восстановителя содержание кремния в феррохроме при нормальном режиме процесса будет в пределах 5–8% [1, 2]. Поэтому было решено увеличить доли кварцита и кокса в шихте. Намечено было установить навеску кусковой хромовой руды в количестве 300 кг, рядовой руды — 700 кг и кварцита — 50 кг на колошу шихты. Снижением доли кусковой руды (до 300 кг) полагалось уменьшить толщину рудного слоя в печи, так как при прохождении ферросплава через рудный слой он рафинируется не только от углерода, но и от кремния. Металлоконцентрат и оборотные отходы необходимо было вывести из шихты. Однако с учетом опасения расстройств хода печи за счет подачи в нее большого количества мелочи шихтовых материалов, колоша шихты была составлена из следующих компонентов, кг: хромовая руда кусковая и рядовая — по 500, кокс фракции 5–25 мм — 240, кварцит

фракции 20–60 мм и металлоконцентрат — по 50 и хромовые оборотные — 100.

За первые сутки испытаний выпуски продуктов плавки проходили недостаточно бурно, с постоянной подшуровкой. Печь работала на 1–3 ступени напряжения, а перед выпуском металла и шлака на 7–9 ступени. Выпуск продуктов плавки производили три раза в смену. За сутки работы навеска кокса была резко увеличена до 290 кг на колошу шихты, т.е. на 50 кг, что привело к технологическому расстройству хода процесса — работе печи с переизбытком восстановителя. Печь работала с полной нагрузкой на электродах и средней мощностью 15–17 МВ·А. Посадка электродов была мелкой. Через день была изменена рудная составляющая колоши шихты на 600 кг рядовой и 400 кг кусковой хромовой руды, после чего возросло количество выбросов и глубинных обвалов на печи. Содержание кремния в феррохроме оставалось на уровне менее 0,5%. В последующие сутки печь продолжала работать с явным избытком кокса на 9–11 ступени напряжения: содержание оксида хрома в шлаке стало снижаться, выпуски протекали вяло с постоянной шуровкой. Шлак по количеству распределялся между выпусками неравномерно. Он плохо переливался в промежуточный ковш, а в разливочном ковше образовывал затвердевшую «корку». Производительность печи снизилась до 2 выпусков в отдельные смены. Через два дня на печи в феррохроме начало расти содержание кремния, а содержание углерода увеличилось до 9%. В тот же день из навески колоши шихты были выведены хромовые оборотные и металлоконцентрат, а навеска кокса была снижена на 60 кг и составила 230 кг на колошу. Навеска кокса в дальнейшем была уменьшена до 180 кг и работа печи несколько улучшилась. Однако из-за инерционности печи высокое содержание углерода в металле удерживалось на одном уровне. При разливке металла в напольные изложницы отмечалось его шипение, искрение и выделение бурого дыма, что показательно для повышенного содержания кремния в металле. Посменный химический состав ме-

Таблица 1

Химические составы металла и шлака кампании выплавки кремнистого высокоуглеродистого феррохрома

Дата	Смена	Химический состав феррохрома, %					Состав шлака, %	
		Cr	C	S	P	Si <sub>жидк</sub> /(Si <sub>ТВ</sub> )	SiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
18.06	с 0.00,	70,2	7,95	0,05	0,020	0,5	31,6	3,9
	с 8.00,	70,3	7,50	0,05	0,022	0,5	31,8	4,1
	с 16.00	69,3	7,8	0,052	0,021	0,56	32,8	4,77
19.06	с 0.00,	69,4	8,07	0,056	0,023	0,5	33,7	3,40
	с 8.00,	69,2	8,36	0,043	0,022	0,5	34,7	2,75
	с 16.00	68,6	8,70	0,032	0,022	0,5/(0,5)	33,1	2,11
20.06	с 0.00,	68,4	9,00	0,024	0,022	0,87/(0,81)	33,1	1,73
	с 8.00,	68,8	9,18	0,014	0,023	1,13/(1,22)	32,2	1,37
	с 16.00	67,9	9,05	0,012	0,023	1,38/(1,00)	30,8	0,88
21.06	с 0.00,	68,3	9,04	0,014	0,023	1,43/(1,14)	31,2	1,96
	с 8.00,	68,7	9,04	0,012	0,023	1,34	32,4	1,54
	с 16.00	67,9	8,94	0,015	0,022	1,18	33,8	1,99
22.06	с 0.00,	68,7	9,13	0,014	0,021	1,15	34,6	2,30
	с 8.00,	69,5	8,99	0,012	0,021	0,55	34,2	3,01
	с 16.00	69,6	8,95	0,015	0,020	0,52	36,0	4,05

талла и шлака за период кампании выплавки кремнистого феррохрома приведен в таблице 1.

Избыток восстановителя в ванне печи снизил производительность печного агрегата: при плановой производительности 65 тонн хрома, печь не производила за семь дней 50 тонн хрома. Низкий удельный расход хромовой руды (3189 кг против 3578 кг по норме) также объясняется большим избытком кокса в шихте, что практически полностью восстановило хром, заданный рудой в печь. Вследствие чего содержание  $Cr_2O_3$  в шлаке снизилось до 1%. За время опытных испытаний было выплавлено 404 тонн хрома, из них 145 тонн с содержанием более 1% кремния. При конъюнктурной необходимости технологический процесс выплавки кремнистого высокоуглеродистого феррохрома будет отработан также на закрытой электропечи.

На Аксуском заводе ферросплавов одновременно с испытаниями по выплавке кремнистого феррохрома были проведены исследования по получению такого феррохрома посредством введения ферросиликохрома фракции 0–30 мм в ковш на выпуске высокоуглеродистого феррохрома, то есть методом смешения твердого ферросиликохрома с жидким феррохромом [2]. Ферросиликохром подавали в разливочный ковш при его заполнении расплавом феррохрома примерно наполовину, так как дробленный ферросиликохром значительно легче расплавленного феррохрома, поэтому он реагирует, плавая на поверхности расплава феррохрома, затягиваясь в него падающей струей. Если подавать ферросиликохром ближе к концу выпуска, то у него не будет времени полнее прореагировать и основная ее масса будет вынесена в шлаковую чашу. Практически все добавки ферросиликохрома подавались на струю металла и шлака. При этом отмечалось бурное реагирование в ковше, сопровождавшееся кипением, а иногда с выплескиванием шлака. От жид-

кого феррохрома отбирали во время выпуска в ковш три пробы при разной высоте его наполнения, чтобы установить распределение кремния в раскисленном металле. При разливке металла на разливочной машине визуально наблюдались признаки повышения содержания кремния: поверхность слитков получалась более ровной, на сколе феррохром был пористым по сравнению с необработанным сплавом. Этот эффект раскисления позволил снизить расход алюминия для раскисления феррохрома. Содержание кремния в феррохrome повысилось в 35% проведенных опытов. Недостаточно высокое усвоение ферросиликохрома вызвано тем, что некоторые добавки его приходилось давать на струю с преобладанием шлака, или не успевший прореагировать ферросиликохром, выносило в шлаковую чашу. Для увеличения выхода целевого феррохрома необходимо подавать ферросиликохром на струю металла или расплава с преобладанием металла. Гранулометрический состав ферросиликохрома, подаваемого в расплав феррохрома, %: фракции 0–5 мм — 51,1; фракции 5–10 мм — 25,6; фракции 10–30 мм — 23,3, то есть содержание мелочи в нем высокое. При практическом равенстве масс насыпной ферросиликохрома и наливной шлака высокоуглеродистого феррохрома мелкие фракции ферросиликохрома не пробивают слой шлака, запутываются в нем и не доходят до феррохрома. С увеличением количества ферросиликохрома, подаваемого в ковш, выход металла с повышенным содержанием кремния увеличился до 70%. Наряду с увеличением содержания кремния в феррохrome концентрации углерода и серы в нем снижались.

Таким образом, методом смешения твердого ферросиликохрома с жидким низкокремнистым высокоуглеродистым феррохромом в ковше был получен феррохром с содержанием 1–2% кремния.

*Литература:*

1. Елютин, В. П., Павлов Ю. А., Левин Б. Е., Алексеев Е. М. Производство ферросплавов. — М.: Metallurgizdat, 1957. — 436 с.
2. Бобкова, О. С. Силикотермическое восстановление металлов. — М.: Metallurgiya, 1981. — 132 с.



## 7. МАШИНОСТРОЕНИЕ

### Применение режущих инструментов из синтетических сверхтвёрдых материалов для повышения экологичности и качества механической обработки

Васильева Нателла Валерьевна, преподаватель  
Курский электромеханический техникум

*В статье изложено одно из наиболее эффективных направлений в решении проблемы экологичности технологических процессов и качества выпускаемых изделий машиностроения — экологически чистая сухая обработка резанием без применения смазочно-охлаждающих жидкостей, используя прогрессивный современный режущий инструмент из синтетических сверхтвёрдых материалов.*

Технология машиностроительного производства на современном этапе развития машиностроения достигла такого уровня, когда современные процессы обработки резанием вплотную приблизились к возможности получения предельного диапазона точности обработанных деталей. Для повышения производительности и достижения качества обработки металлов резанием в настоящее время эффективные производства используют в основном жидкие смазочно-охлаждающие технологические среды (СОТС).

Одним из определяющих факторов развития и совершенствования современных производств является создание экологически чистых технологий в машиностроении, в том числе в металлообрабатывающих областях. Количество потребляемых жидких СОТС в индустриально развитых странах весьма велико и составляет миллионы тонн в год [1,2].

Вместе с тем, современные технологические процессы обработки резанием с применением СОТС являются причиной вредного воздействия на окружающую среду. Испарение, распыление, пролив, концентрация в стружке и поверхностях обработанных деталей, возможный слив

в канализационную систему — всё это оказывает непоправимый ущерб окружающей среде.

Кроме того, традиционно используемые СОТС чрезвычайно вредны для здоровья человека и являются причиной роста числа профессиональных заболеваний. Отрицательное воздействие на организм человека проявляется как через непосредственный контакт, вследствие чего резко увеличивается вероятность возникновения кожных заболеваний, так и через атмосферу цеха, поражая дыхательную систему и другие жизненно важные органы [3]. Безусловно, такое положение требует пересмотра традиционных схем эксплуатации смазочно-охлаждающих технологических сред в сторону экономически эффективных и экологически ориентированных решений в этой области.

Одной из наиболее серьезных проблем развития современного машиностроения является необходимость обеспечения постоянно растущих и ужесточающихся требований к экологичности технологических процессов и качеству выпускаемой продукции. Для отечественной продукции качество приобретает особое значение в связи с необходимостью повышения конкурентоспособности на мировом рынке. Одним из наиболее эффективных на-



Рис. 1. Процесс сверления отверстия с использованием СОТС

правления в решении данной проблемы является применение экологически чистой сухой обработки без применения смазочно-охлаждающих жидкостей, используя прогрессивный современный режущий инструмент.

В последние годы во всем мире растет производство и применение лезвийных режущих инструментов из синтетических сверхтвердых материалов (СТМ), например, кубического нитрида бора [5]. Это связано с широким внедрением новых технологий обработки — высокоскоростная обработка резанием, обработка металлов в закаленном состоянии, экологически чистая сухая обработка без использования СОТС.

Отечественные поликристаллические СТМ на основе нитрида бора были созданы и исследованы целым рядом научно-исследовательских организаций.

Кубический нитрид бора (КНБ) или CUBIC BORON NITRIDE (CBN) — второй по твердости после алмаза синтетический материал, получаемый при высоких давлении и температуре, обладает исключительной твердостью в горячем состоянии, что позволяет использовать его при очень больших скоростях резания [4]. Он также характеризуется хорошей прочностью и термостойкостью.

Кубический нитрид бора широко используется для чистовой токарной обработки закалённой стали, имеющей твердость более 45 HRC. При твердости обрабатываемого материала более 55 HRC пластины из CBN становятся единственным возможным решением, способным заменить традиционно используемые методы шлифования.

Производительность при обработке закаленных материалов до сего момента достигалась за счет изменения конструкции инструмента и усовершенствования оборудования. Сейчас, новые инструментальные материалы позволяют работать с высокими скоростями, а геометрия режущей части достигать высоких значений рабочих подач. Современные материалы представляют собой керамические композиты с содержанием CBN порядка 40–65%. Керамическая связка добавляет кубическому нитриду бора износостойкости, без чего этот материал был бы подвержен химическому износу. Существует группа сверхтвердых материалов с высоким содержанием CBN, от 85% до почти 100%. В них может применяться металлическая связка, что повышает их прочность.

Режущий инструмент из кубического нитрида бора выводит обработку закаленных материалов на новый уровень [6,7]. Основные преимущества обработки закаленных материалов инструментом из КНБ:

- высокая производительность за счет высоких скоростей резания и снижения вспомогательного времени;
- высокая гибкость применения;
- минимальные коробления заготовки;
- ударная устойчивость;
- химическая инертность;
- высокая температурная устойчивость (до 1300 С);
- широкий спектр обрабатываемых материалов (твердость 30–90 HRC);

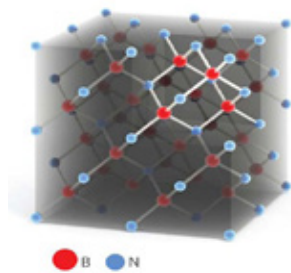


Рис. 2. Структура кристаллической решетки кубического нитрида бора

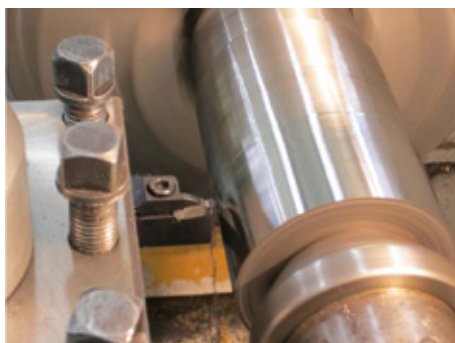


Рис. 3. Наружное продольное точение гильзы из закаленной стали сборным резцом с пластиной из инструментального материала на основе нитрида бора

- возможность нарезания резьбы в закаленных сталях;
- возможность калибровки и шлифовки резьбы за один проход;
- возможность унификации оборудования для полной обработки детали.

Наибольший эффект дает применение сменных многогранных пластин (СМП) из КНБ при обработке следующих материалов:

- закаленная сталь > 50 HRC (цементированная сталь, плазменная и индукционная закалка);
  - рессорные стали (типа С145, 340 CrMo4, 50 CrY4, 58 CrY4);
  - быстрорежущие стали (HSS);
  - стали холодной технологии (типа X165CrMo12 (1.2601), (1.3207));
  - стали горячей технологии (типа X210Cr12 (1.2080));
  - отбеленный чугун 50 HRC, части отливок изложницы и двухслойного литья;
  - специальный отбеленный чугун — 50 HRC;
- N1 — «Hard» (хромоникелевый сорт чугуна с высокой ударопрочностью и высокой износостойкостью);  
особо стойкие к износу сорта чугуна с твердостью до 600 HB.

Скорость резания — важнейший фактор интенсификации обработки материалов резанием с применением инструмента из синтетических сверхтвердых материалов, в целях, когда резервы существенного повышения скоростей резания традиционным инструментальным материалом практически исчерпана.

Технологию создания СМП из КНБ для обработки сверхпрочных металлов освоили на одном из предприятий Москвы. Инструмент получается настолько надежным, что по прочности может соперничать с синтетическим алмазами и позволяет в разы сократить время на обработку металлических деталей. Технология создания СМП начинается с синтеза порошка. В печи, которая одновременно выполняет функции пресса, из порошка делают заготовки. На специальном оборудовании их поверхность шлифуют, затем отправляют под луч лазера — на «раскройку». Финальная стадия — обработка на шлифовально-программируемом центре, который корректирует размеры с точностью до микрона.

Применение сменных режущих пластин из сверхтвердых материалов на основе кубического нитрида бора позволяет эффективно решить ряд технических и экономических задач [8,9]:

Таблица 1

Скорость резания при обработке материалов инструментом из КНБ

Материал	Твердость, HB	V, м/мин
Низкоуглеродистые стали (<0,3% C) и автоматные стали	120–150	150–350
Среднеуглеродистые и высокоуглеродистые стали (>0,3% C)	150–190	140–300
Легированные и инструментальные стали (в т. ч. закаленные)	< 450 (< 48 HRC)	80–300
Чугун с шаровидным графитом	150–350	150–350
Серый чугун	160–240	800–1400
Закаленная сталь	45–55 HRC	120–300
Закаленная сталь	55–65 HRC	130–250
Отбеленный чугун или закаленный	400–500	100–140



Рис. 4. Порошок кубического нитрида бора в виде режущей массы и конечная продукция компании — технологичные СМП по металлу

1. Значительно увеличить скорость резания, доведя ее до уровня 80–120 м/мин. (т.е. минимум в 10 раз). При этом трудоемкость обработки снижается в 2–6 раз.

2. Получить шероховатость обрабатываемой поверхности Ra 3.2–1.6 (уровень шлифовки). При этом соблюдается стабильность полученных геометрических размеров, что является важнейшим фактором получения сопрягаемых деталей дробилок.

3. При точении или фрезеровании марганцовистых сталей инструментом на основе КНБ (благодаря отрицательной геометрии передних углов) в поверхностном слое обрабатываемого материала глубиной до 50–70 мкм создаются сжимающие напряжения, что повышает эксплуатационные свойства детали. При высоких скоростях резания ( $V=80–120$  м/мин) в поверхностном слое обрабатываемой детали не происходит структурных изменений, т.к. большая часть тепла уходит со стружкой.

4. Токарная обработка инструментом из КНБ позволяет исключить применение плазменного подогрева при обработке броней, что снижает общие затраты на механическую обработку, уменьшает расход электроэнергии, исключает затраты на приобретение и ремонт плазмотронов.

5. Применение сборного инструмента (с механическим креплением сменных поворотных пластин) позволяет значительно сократить вспомогательное время, куда в частности входит: снятие инструмента со станка, заточка инструмента, размерная подналадка.

6. Высокоскоростная обработка пластинами из КНБ на порядок снижает усилие резания, что предотвращает преждевременный износ дорогостоящих станков. Снижение нагрузки на станок происходит вследствие того, что имея большой резерв скорости обработки, появляется возможность в два раза уменьшить глубину обработки и подачу на оборот. При этом минутная подача инструмента из КНБ в 4–5 раз превзойдет подачу резцов из ВК8. Следует отметить, что токарно-карусельные станки моделей 1540, 1563, SC43, SKD50, KY487, SK-40A не предназначены для силового резания (при обработке твердым сплавом усилия резания достигают 12500 кг, а при обработке КНБ — 800...1000 кг; исследования проводились при помощи универсального динамометра УДМ конструкции ВНИИинструмент).

Инструменты с вставками из КНБ успешно применяются на всех этапах машиностроения и авиационно-космической промышленности. Сверхпрочный компонент пользуется успехом не только среди отечественных производителей, но также получил высокие оценки зарубежных экспертов. Использование инструментов из синтетических сверхтвердых материалов позволяет во многих случаях осуществить обработку без СОЖ, т.е. так называемое «сухое» резание, что уменьшает затраты и улучшает экологическую обстановку на рабочем месте, а также уменьшает вредные выбросы в окружающую среду.

#### Литература:

1. Кириллов, А. К., Верещака А. С. Разработка системы экологически безопасной формообразующей обработки резанием. — Межд. Науч.-техн. Сборник. «Резание и инструмент в технологических системах». — Харьков: ХГТУ, 2001 — 102 с.
2. Смазочно — охлаждающие технологические средства и их применение при обработке резанием: справочник/Л. В. Худобин, А. П. Бабичев, Е. М. Булыжев и др./Под общ. Ред. Л. В. Худобина — М.: Машиностроение, 2006—544 с.
3. Кундиев, Ю. Н., Трахтенберг И. М., Поруцкий Г. В. Гигиена и токсикология смазочно-охлаждающих жидкостей для механической обработки металлов. — Киев: Здоровье, 1992—120 с.
4. Инструменты из сверхтвердых материалов/Под ред. Н. В. Новикова. — М: Машиностроение, 2005. — 555 с.
5. Малышев, С. Н., Филоненко В. П., Захаревич Е. М., Перфилов С. А. Опыт промышленного применения сверхтвердых инструментальных материалов // РИТМ. 2011. №2
6. Грубый, С. В. Исследование режущих свойств резцов из нитрида бора — М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. — 96 с.
7. Маслов, А. Р./Инструментальные системы машиностроительных производств: М.: Машиностроение, 2006. — 336 с.
8. Инструмент для высокопроизводительного и экологически чистого резания/Андреев В. Н., Боровский Г. В., Боровский В. Г., Григорьев С. Н. — М.: Машиностроение, 2010. — 480 с.
9. Производство и эксплуатация современного режущего инструмента/А. А. Борисов, Г. В. Боровский, В. А. Вычеров и др. — М.: Издательство «ИТО», 2011. — 104 с.

## Лазерная обработка как перспективный метод повышения износостойкости металлорежущего инструмента

Водин Дмитрий Владимирович, автоматчик  
Тамбовский завод «Электроприбор»

В настоящее время в машиностроении широко используется лазерная обработка металлорежущего инструмента с целью повышения его износостойкости. В основе лазерной обработки лежит применение лазерного луча, который как технологический инструмент не имеет себе равных по степени гибкости, быстродействия и износостойчивости. Сегодня лазерная обработка способна конкурировать с фотохимическими и электроэрозионными процессами обработки, способствуя при этом повышению производительности и снижению износа металлорежущего инструмента. В будущем лазерная обработка металлорежущего инструмента найдет более широкое применение в связи с уменьшением размеров лазерных установок.

Лазерная обработка основана на применении мощного светового потока, вызывающего плавление или испарение обрабатываемого материала. Лазерное излучение фокусируется в определенный участок обрабатываемого материала металлорежущего инструмента [1, с. 5]. Источником светового излучения является лазер. Работа лазера основана на принципе генерирования светового излучения. Лазерная обработка способствует улучшению многих эксплуатационных свойств облученного материала металлорежущего инструмента. Лазерное облучение позволяет в широких пределах изменять напряженно-деформированное состояние материала металлорежущего инструмента. Изменяя условия облучения, можно получать остаточные напряжения разной величины. Основным результатом такой обработки является тонкий поверхностный слой обрабатываемого материала металлорежущего инструмента, который нагревается и охлаждается со сверхвысокими скоростями за счет быстрого отвода тепла в основную массу металла [2, с. 15]. В этих условиях поверхность металлорежущего инструмента подвергается «автозакалке». Этот способ позволяет повысить микротвердость и износостойкость поверхности материала металлорежущего инструмента от 2 до 5 раз без термического деформирования характерного для традиционных методов термообработки.

Основными преимуществами лазерной обработки являются:

- проведения обработки в местах, недоступных для другого обрабатывающего инструмента;
- способностью луча проникать через любую прозрачную среду, не нарушая ее и не снижая свою интенсивность;
- высокая степень автоматизации;
- высокая производительность;
- экологичность.

Основными недостатками лазерной обработки являются:

- обработка материала металлорежущего инструмента на ограниченной глубине;
- низкий коэффициент полезного действия лазеров;
- высокая стоимость лазерных установок и комплексов.

Лазерная обработка в зависимости от мощности и плотности лазерного луча делится на следующие виды:

- упрочнение без фазового перехода;
- упрочнение с фазовым переходом;
- лазерное легирование;
- лазерная наплавка;
- шокое упрочнение.

Упрочнение без фазового перехода приводит к структурным изменениям в материале металлорежущего инструмента при уровне плотности и мощности лазерного излучения, не приводящего к расплавлению облученной зоны. При этом виде обработки сохраняется исходная шероховатость обрабатываемой поверхности металлорежущего инструмента.

Упрочнение с фазовым переходом приводит к плавлению материала металлорежущего инструмента в облученной зоне. Данный вид упрочнения требует более высокой плотности и мощности лазерного излучения, что позволяет достигнуть значительной глубины упрочненного слоя материала металлорежущего инструмента. При этом упрочнении изменяется исходная шероховатость материала металлорежущего инструмента и необходимо применение шлифования, чтобы добиться нужного показателя шероховатости. При применении рассмотренных видов обработки не требуется специальной среды, и процесс проводится на воздухе.

Для применения лазерного легирования как одного из методов лазерной обработки для насыщения поверхностного слоя легирующими элементами требуется специальная среда (газообразная, жидкостная, твердая).

В результате на обрабатываемой поверхности материала металлорежущего инструмента образуется новый сплав, отличный по составу и структуре от исходного материала.

Применения лазерной наплавки (напыления) как одного из методов лазерной обработки позволяет нанести па поверхность обрабатываемого материала металлорежущего инструмента слой другого материала, улучшающий эксплуатационные свойства основного.

Применение лазерного легирования и лазерной наплавки (напыления) наиболее перспективны, так как происходит рост дефицита чистых металлов типа W, Mo, NiCr.

Существуют следующие способы подачи легирующего элемента (среды) в зону лазерного воздействия:

- нанесение легирующего состава в виде порошка на обрабатываемую поверхность материала металлорежущего инструмента;
- обмазка поверхности специальным легирующим составом;
- легирование в жидкости (жидкой легирующей среде);
- накатывание фольги из легирующего материала на обрабатываемую поверхность материала металлорежущего инструмента;
- легирование в газообразной среде;
- удержание легирующих элементов на обрабатываемой поверхности магнитным полем;
- электроискровое нанесение легирующего состава;
- плазменное нанесение покрытия;
- электролитическое осаждение легирующего покрытия;
- подача легирующего состава в зону обработки одновременно с лазерным излучением.

Каждый из этих способов имеет свои достоинства и недостатки, которые определяют целесообразность его использования в конкретном случае.

Размеры легированной зоны зависят в основном от параметров излучения и толщины покрытия легирующего материала. Как правило, легирование импульсным излучением обеспечивает меньшие размеры легированной зоны, чем при обработке непрерывным излучением. В частности, если при импульсной обработке глубина зоны достигает 0,3–0,7 мм, то применение непрерывного излучения мощных CO<sub>2</sub>-лазеров позволяет увеличить глубины зоны до 3 мм.

Шоковое упрочнение применяется при воздействии на материал металлорежущего инструмента мощного импульса лазерного излучения наносекундной длительности. До воздействия лазерного излучения на материал металлорежущего инструмента наносится тонкий слой легкоплавкого металла. Воздействие мощного импульса лазерного излучения вызывает быстрое испарение легкоплавкого металла, что приводит к возникновению импульса отдачи, что приводит к возникновению мощной ударной волны в материале. В результате происходит пластическое деформирование материала, а при нагреве поверхностного слоя происходят изменения в его структуре.

Далее рассмотрим основные элементы лазерной установки необходимой для проведения лазерной обработки. Основными элементами лазерной установки являются:

- активная среда (активный элемент);
- устройство для накачки активной среды;
- зеркала оптического резонатора;
- элемент вывода энергии из резонатора;
- фокусирующая оптическая система;
- система управления.

Несмотря на простоту принципиальной схемы, лазеры отличаются большим разнообразием. Разнообразие лазеров объясняется применением в них разных видов активных сред:

- диэлектрические кристаллы;
- полупроводники;
- газовые смеси;

Лазер обеспечивает энергетические и временные параметры воздействия, оптическая система формирует характеристики светового пучка как инструмента обработки. Точность, производительность и удобство обработки определяются характеристиками системы управления и координатным столом при перемещении обрабатываемого металлорежущего инструмента или лазерного луча. Для проведения лазерной обработки необходимо применение лазерной установки, которая состоит из лазера с блоком питания, оптической системы, системы управления и контроля обработки.

Применяемые лазеры при лазерной обработке могут быть:

— Твердотельные лазеры с применением в качестве активной среды диэлектрических кристаллов. Накачка оптическая и от полупроводниковых лазеров, осуществляется по трёх- или четырёхуровневой схеме. Современные твердотельные лазеры способны работать в импульсном и непрерывном режиме;

— Электроразрядные CO<sub>2</sub> лазеры используют электроразрядные возбуждения и прокачку газовой смеси CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>. Они используются для непрерывной обработки.

Таким образом, лазерная обработка приводит к повышению теплостойкости (термостойкости) материала металлорежущего инструмента [3, с. 25]. Она позволяет снизить в 3–4 раза износ металлорежущего инструмента путем повышения его поверхностной твердости при сохранении общей высокой динамической прочности, повышения теплостойкости, снижения коэффициента трения пары металлорежущий инструмент — заготовка.

Лазерная обработка представляет собой воздействие лазерного луча испускаемого лазером на металлическую поверхность и является эффективным и перспективным методом повышения износостойкости металлорежущего инструмента.

#### Литература:

1. Вакс, Е. Д., Миленский М. Н., Сапрыкин Л. Г. Технологические процессы лазерной обработки. — М. изд. Техносфера 2013. — 696 с.
2. Вейко, В. П. Опорный конспект лекций по курсу «Физико-технические основы лазерных технологий». Раздел: Технологические лазеры и лазерное излучение. Изд. 2 — е, испр. и дополн. — СПб: СПбГУ ИТМО, 2007. — 52 с.

3. Григорьянц, А.Г., Шиганов И.Н., Мисюрлов А.И. Технологические процессы лазерной обработки М.: изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. — 664 с.

## Исследование эффективности использования биотоплива в дизельных двигателях

Попов Константин Сергеевич, магистр, инженер-конструктор;  
Юнусов Айдар Фенисович, инженер-конструктор;  
Кашапов Ринат Расилевич, инженер-конструктор;  
Никишин Вячеслав Николаевич, доктор технических наук, профессор  
НТЦ ОАО «КАМАЗ» (Татарстан, г. Набережные Челны)

### Введение.

«Во всем мире идут интенсивные исследования по поиску альтернативных источников энергии. Весьма привлекательным является использование метанола в качестве топлива для дизелей. Это объясняется наличием сырья, отлаженного производства и относительной дешевизной метанола. Если для бензиновых двигателей использование метанола как добавки к бензину (15%) не представляет проблемы, то при использовании метанола в дизелях возникают трудности. Основная причина это то, что дизельное топливо без специальных присадок не смешивается с метанолом, что исключает его подачу в смеси с дизельным топливом в камеру сгорания.» [1].

### Цель задачи и исследования.

- непосредственная подача во впускной патрубок;
- подача непосредственно в камеру сгорания.
- Проведение испытаний и выявление изменение показателей работы двигателя.

### Основная часть.

Испытания проводились на двигателе КАМАЗ 8ЧН 120/130 объемом 11,67 л.

Была организована следующая подача топлива в двигатель (рис. 1).

Это позволяет при соответствующей разнице установочных углов опережения впрыскивания дизельного топлива и метанола подавать метанол в факел распыленного дизельного топлива и способствует лучшей организации воспламенения метанола в цилиндре.

«При работе на метаноле с воспламенением от запальной порции дизельного топлива снижается максимальное давление сгорания и жесткость процесса сгорания. Это объясняется тем, что метанол впрыскивается в уже горящий факел запального топлива и воспламеняется сразу же при соприкосновении с ним, сгорая постепенно по мере впрыскивания и поступления в цилиндр.» [2].

«Применение биодизельного топлива в сравнении с нефтяным дизельным топливом в полном жизненном цикле позволяет снизить расход невозобновляемых природных ресурсов на 55 — 65%; уменьшить выбросы парниковых газов в 3,5–4,6 раза; снизить ущерб окружающей среде на 15–16%; уменьшить затраты с учетом экологического

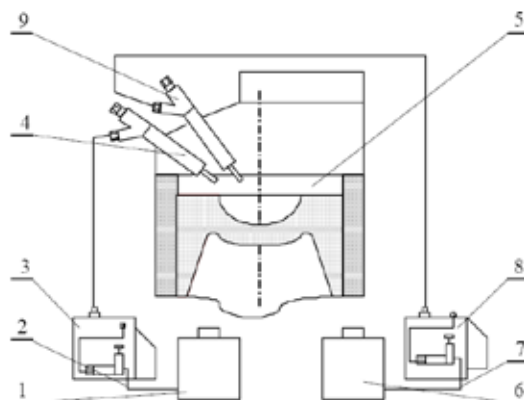


Рис. 1. Схема двухтопливной системы топливоподачи в цилиндр дизеля (основное топливо — метанол, запальное топливо — ДТ): 1 — топливный бак для ДТ; 2 — топливопровод для ДТ; 3 — топливный насос для подачи ДТ; 4 — форсунка для подачи ДТ; 5 — цилиндр дизеля; 6 — топливный бак для метанола; 7 — топливопровод для метанола; 8 — топливный насос для метанола; 9 — форсунка для подачи метанола

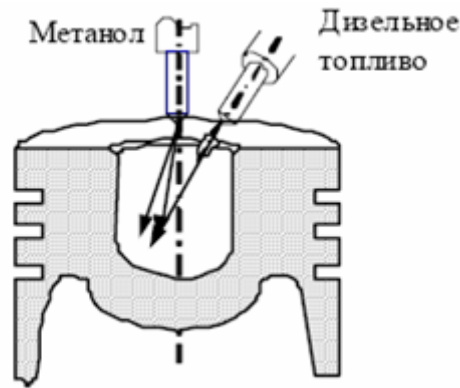


Рис. 2. Подача воздуха в двигатель

ущерба на 40%. В то же время применение биодизельного топлива связано с увеличением затрат энергии в полном жизненном цикле на 10–20% по сравнению с дизельным топливом.» [2].

Для нормальной работы двигателя необходимо подавать не менее 10% запальной дозы топлива. Это позволяет обеспечить экономию 80% дизельного топлива.

При этом наблюдается снижение  $\text{NO}_x$  в 3,25 раза и сажи на 38%.

Была организована следующая подача воздуха в двигатель, так как это наиболее хорошо конструктивно реализуется на разрабатываемом дизельном двигателе. (рис. 2).

Способ обеспечивает подачу метанола через центрально расположенный многодырчатый распылитель при закрутке воздушного потока. В данном случае обеспечивается снижение максимального давления сгорания,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$  и  $\text{CH}$ .

Содержание метанола в метанола-дизельной эмульсии не должно превышать 25% объема с целью обеспечения нормальной долговечности работы двигателя.

Следует отметить, что должен использоваться обезвоженный метанол и учитываться, что со временем происходит поглощение влаги из атмосферы, что приводит к расслоению смесей.

Как и следовало ожидать, добавка к дизельному топливу энергоносителя с меньшей теплотой сгорания увеличила расход топливной смеси. Однако не в том отношении, в каком уменьшилась ее расчетная  $Q_n$ . Последнее объясняется эффектом утилизации теплоты и улучшением организации процесса сгорания, увеличением его термического и индикаторного КПД, уменьшением индикаторного расхода энергоносителя. Жесткость работы сохранялась при первоначальном незначительном увеличении скорости нарастания давления и неизменном положении точки максимального давления по углу поворота коленчатого вала. Концентрация сажи при добавлении 50% метанола снизилась в 3 раза, расход ДТ в среднем на 20%, в 3–4 раза  $\text{CH}$  при некотором росте  $\text{CO}$ . Выбросы  $\text{NO}_x$ , по мнению авторов, не изменились.

При таком способе реализации питания двигателя и применении метанола-дизельной смеси (в соотношении 90:10) были достигнуты следующие эффективные показатели:

$N_{e \max} = 223,6$  (кВт) — Максимальная эффективная мощность при  $n_N = 1900$  мин<sup>-1</sup>.

$M_{e \max} = 1334,4$  (Н×м) — Максимальный эффективный крутящий момент при  $n_M = 1200$  мин<sup>-1</sup>.

Результаты испытаний спиртов на дизеле 8ЧН 120/130

Таблица 1

Показатель	Величина добавки, %	Нагрузка двигателя, %			
		25	50	75	100
Увеличение расхода топливной смеси при различных добавках метанола по массе, %	10	2,7	2,7	2	0
	30	8,3	12,9	15,3	12,7
	50	25	23	27,3	23,4
Уменьшение расхода дизельного топлива при различных добавках метанола по массе %	10	5,6	7,4	7,3	8,7
	30	11,3	13,9	14	16,3
	50	18,3	20,4	21,3	26



$P_{e \max} = 1,425$  (МПа) — Максимальное эффективное давление при  $n_M = 1200$  мин<sup>-1</sup>.

$g_{e \min} = 233,7$  (г/кВт×ч) — минимальный удельный эффективный расход топлива при  $n_M = 1200$  мин<sup>-1</sup>.

#### Литература:

1. Звонов, В. А., Козлов А. В., Кутенев В. Ф. Экологическая безопасность автомобиля в полном жизненном цикле. М.: НАМИ, 2001, 248 с.
2. Звонов, В. А., Козлов А. В., Теренченко А. С. Методика оценки эффективности применения альтернативных топлив на автотранспорте в полном жизненном цикле. Сб. науч. тр. Моск. семинара по газохимии 2004–2005. М.: ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2006, с. 114–129.

## Защита автомобиля от посягательств злоумышленника многомодульным охранным устройством посредством встроенной CAN-шины

Юрьев Дмитрий Русланович, аспирант;

Дьяковский Валерий Геннадьевич, инженер;

Рогова Олеся Сергеевна, магистрант;

Научный руководитель: Варлатая Светлана Климентьевна, кандидат технических наук, профессор

Дальневосточный федеральный университет (г. Владивосток)

*Автомобиль — для кого-то это просто средство передвижения, для кого-то целая жизнь. Почти каждый автолюбитель задумывается о защите своего авто от вскрытия и/или угона, устанавливая на него разнообразные средства защиты (механические, секретные кнопки, иммобилайзеры, автосигнализации, охранные комплексы GSM/GPS). У большинства таких средств защиты существуют недостатки, а именно аналоговая передача сигнала, для которой требуется собственная проводка, и они легко обнаруживаемы — как правило, из-за своих больших габаритов, а также отдельной проводки, по которой легко узнать местоположение блока.*

Идея защиты автомобилей по CAN-шине не нова. У существующих систем защиты есть недостатки — они одномодульные и имеют внушительные размеры. Учитывая эти основные недостатки, предлагается совершенно новый подход в области автомобильной безопасности — многомодульная система защиты, основанная на технологии CAN — MyAutoCAN (MAC)/ МойАвтоКан (МАК).

Представим ситуацию, когда срабатывает система охраны автомобиля, и злоумышленник пытается её отключить. Первое что он делает — ищет секретные кнопки и индикационные светодиоды охранных систем. По проводам этих элементов он добирается до самого модуля охраны. Зная модель модуля и его устройство, злоумышленник отключает его простым демонтажем и/или замыканием размыкающего реле. Далее происходит попытка угона, которая в большинстве случаев успешна, кроме того даже самая сложная аналоговая система защиты не устоит более 10 минут от прямого физического взлома.

Основной модуль охраны имеет габариты 2х3 сантиметра и спрятан в жгуте проводов или в блоке управления двигателем или в каком-либо другом блоке, а GSM/GPS модуль располагается в 2 метрах от основного модуля, с габаритами 3х3 сантиметра. Также модуль аналогового

управления (для машин, у которых ограничен функционал CAN-шины) располагается в задней части автомобиля и имеет физическое управление контактной парой посредством электромагнитного реле. Индикация системы охраны происходит посредством штатной индикации на приборной панели. Управление модулем охраны производится не с выделенной специальной кнопки, а с родных кнопок автомобиля, расположенных на приборной панели, либо кнопок брелока ключа автомобиля, либо сигналами штатного иммобилайзера. Блокировка двигателя в случае насильственных действий злоумышленником происходит по контролю оборотов двигателя, показаний скорости спидометра, нажатия на акселератор педали газа или по каким-либо другим параметрам, блокировкой диагностического разъёма от нештатного подключения диагностических устройств или так называемых «считалок», которые прописывают внештатные ключи к автомобилю в блок иммобилайзера.

«МАК» — это новый принцип построения защиты автомобиля, основанный на технологии CAN и многомодульной системы. Многомодульность данной системы позволяет обмениваться данными между блоками охраны в реальном времени по средствам штатной проводки и технологии CAN. Малые габариты устройств и простота их установки позволяет повысить скрытность устройств

практически на 100%. Мало какой из злоумышленников будет разбирать автомобиль и пытаться поменять блок управления двигателем, в котором спрятан охранный модуль или разбирать всю консоль приборов и просматривать специальную проводку в поисках именно этого модуля. Достоинством данной системы является то, что если даже происходит демонтаж главного модуля, охранные функции возлагаются на дополнительные модульные блоки этой системы с потерей функции управления, что полностью обездвиживает автомобиль и лишает его дальнейшую эксплуатацию до подключения резервного ключа в диагностический разъём автомобиля.

Помимо охранных функций и контроля CAN-шины, при имеющейся технической возможности устройство

способно управлять штатными дополнительными устройствами, например, записать код со штатного иммобилайзера с отправкой смс или звонка на GSM-модуль; дистанционно — без автомобильного ключа — завести транспортное средство; управлять подсветкой; закрывать все окна и боковые зеркала при постановке в охранный режим; контролировать расход топлива и местоположение транспортного средства по средствам GSM/GPS и многое другое.

Данная разработка имеет очень большое практическое значение, которое заинтересует многих автолюбителей и компании, предоставляющие транспортные услуги как в области защиты транспортного средства, так и в области удалённого контроля за транспортным средством.

#### *Литература:*

3. Controller Area Network (CAN) — С. А. Третьяков НПКФ «Дэйтацик»
4. <http://bookasutp.ru> — Энциклопедия АСУ ТП/Промышленные сети и интерфейсы/CAN
5. ISO1050 Isolated CAN Transceiver — Texas Instruments

## 8. СТРОИТЕЛЬСТВО

### Исследование влияния комплексных минеральных модифицирующих добавок, включая нанодобавки, на свойства мелкодисперсного бетона

Буренина Ольга Николаевна, кандидат технических наук;  
Давыдова Наталья Николаевна, младший научный сотрудник;  
Андреева Айталина Валентиновна, младший научный сотрудник;  
Даваасенгэ Сардаана Суреновна, младший научный сотрудник;  
Саввинова Мария Евгеньевна, кандидат технических наук  
Институт проблем нефти и газа СО РАН (г. Якутск)

**Ключевые слова:** нанодисперсный модификатор, анортит, шпинель магния, прочность при сжатии, прочность после увлажнения, прочность после промораживания, плотность, открытые некапиллярные поры, условно закрытые поры, дисперсность.

Тонкомолотые минеральные наполнители, являясь центрами кристаллизации зародышей новообразований, образуют развитую поверхность взаимодействия клинкерных минералов с наполнителем.

Для подтверждения того, что, используя нанодисперсный модификатор, причем в очень малых концентрациях, возможно управлять кинетикой взаимодействия цемента с водой затворения и добиваться максимальных положительных эффектов были выбраны нанодисперсные порошки анортита и шпинеля магния, синтезированные в Институте химии твердого тела и механохимии СО РАН.

Особенностью нанопорошков являются высокая дисперсность (размер частиц порядка 50–70 нм) и развитая удельная поверхность (от 40 до 170 м<sup>2</sup>/г), одинаковое соотношение оксидных фаз. Основой пространственной решетки является кубическая плотная гранецентрированная упаковка отрицательных кислородных ионов, между которыми образуются два вида промежутков: октаэдрические и тетраэдрические. Заполненные и незаполненные ок-

таэдрические пустоты чередуются через одну, образуя цепочки.

Целью данной работы является исследование влияния комплексных минеральных модифицирующих добавок, включая нанодобавки, на свойства мелкодисперсного бетона.

В табл. 1 и 2 представлены результаты исследований физико-механических свойств наномодифицированных бетонов.

Анализ полученных результатов показал, что введение наномодификаторов способствует существенному повышению прочности при сжатии и ее сохранению после воздействия промораживания и воздействия влаги.

Исходя из того, что капиллярные поры — это та часть общего объема системы цемент-вода, которая не заполнена продуктами гидратации, можно косвенно оценить степень гидратации.

В табл. 2 представлены данные по полному объему пор ( $P_{\text{П}}$ , %), по объему открытых некапиллярных пор

Таблица 1

Прочностные характеристики наномодифицированных бетонов

Добавки, % от веса цемента	Прочность при сжатии, МПа		Прочность после увлажнения, МПа		Прочность после промора- живания, МПа	
	Анортит	Шпинель	Анортит	Шпинель	Анортит	Шпинель
0	23,0		25,0		29,0	
0,005	26,1	29,0	21,1	23,1	28,6	26,8
0,01	35,3	31,2	29,0	27,2	31,5	27,3
0,05	32,4	29,6	28,4	16,4	31,0	28,9
0,1	33,2	30,1	23,9	21,0	33,2	29,7
0,5	23,8	33,7	30,0	16,1	30,0	30,0
1,0	27,1	30,3	17,2	17,8	20,0	23,4

Таблица 2

## Основные физические характеристики бетонных образцов

№	Образец	$\rho$ , г/м <sup>3</sup>	$P_p$ , %	$P_{M3}$ , %	$P_3$ , %	W, %	$\lambda$ , Вт/м
1.	Исх.	1,964	6,59	1,97	4,6	9,8	0,64
2.	Ц (акт) 10	1,946	7,76	3,76	3,9	10,1	0,78
3.	Ц (акт) 20	1,924	7,59	4,18	3,4	10,13	0,80
4.	Ц (акт) 30	1,919	7,57	6,28	1,2	10,26	0,83
5.	Ц (акт) 50	1,546	7,81	5,61	2,1	10,54	0,57

( $P_{M3}$ , %) и по объему условно закрытых пор ( $P_3$ , %) модифицированных частью активированного в АГО-2 цемента бетонных образцов по сравнению с исходными образцами. Установлено, что структура порового пространства бетона, хотя в значительной степени и определяется поровой структурой цементного камня, имеет свои характерные особенности, которые значительно влияют на свойства бетона. Так, объем открытых некапиллярных пор в модифицированных бетонных образцах увеличиваются по сравнению с исходными до 2, 5 раз, полный объем пор увеличивается до 10%, тогда как объем условно закрытых пор — снижается почти в 2 раза.

Положительную динамику изменений физико-механических свойств модифицированных образцов можно объяснить, вероятно, тем, что при введении активированных минеральных добавок увеличивается число межчастичных контактов при гидратации цементного камня, что значительно повышает реакционноспособную поверхность цемента. Ускоренный рост продуктов гидратации приводит к быстрому заполнению значительного объема капиллярного пространства с образованием большого количества микрокапилляров, но, несмотря на общий рост пористости модифицированных бетонных образцов, прочные взаимосвязи между частицами и предположительно более равномерное распределение микропор влияют на улучшение показателей прочности при сжатии, сопровождающееся снижением теплопроводности материала (табл. 2).

Причем наилучший эффект наблюдается в образцах модифицированных нанопорошком анортита. Прочность при сжатии образцов, модифицированных малым количеством добавок (0,01%–0,5%) увеличивается в среднем на 35%. Прочность после увлажнения характеризуется

коэффициентом размягчения, который для всех составов наномодификатора анортит не ниже 0,8. Прочность увлажненных образцов при этом повышается на 50%. Сохраняемость прочности при сжатии после 25 циклов промораживания — оттаивания улучшается на 22%.

Повышение прочности мелкозернистого бетона при наномодифицировании можно объяснить тем, что нанопорошки способствуют уплотнению цементного камня за счет блокирования пор сопоставимого размера. Нанодисперсии обладают повышенной поверхностной энергией и, соответственно, обладают большей подвижностью, в результате этого они вовлекают большее количество частиц цемента в гидратационные процессы и препятствуют возможному образованию перенапряжений в твердеющей системе, а также равномерно распределяются во всем объеме твердеющей системы, диспергируя частицы цемента.

Об уплотнении структуры искусственного камня свидетельствуют результаты микроскопических исследований (рис. 1 и 2).

Видно, что структура образца мелкозернистого бетона с добавкой анортита (рис. 1) более плотная, чем исходный образец (рис. 2). Наблюдается однородный ровный слой продуктов гидратации вяжущего, заполняющего межзерновые полости волокнистыми новообразованиями, образуя сеть прочных пространственных связей, которые повышают плотность и, соответственно марочную прочность бетонного изделия.

На рис. 3 представлены зависимости прочности бетонов, модифицированных комплексным наполнителем: механоактивированной минеральной добавкой и нанопорошком анортита.

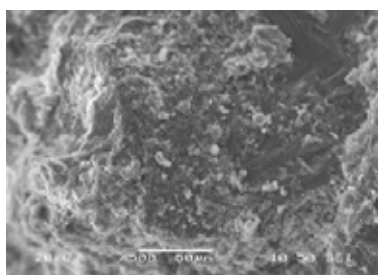


Рис. 1. Исходный образец мелкозернистого бетона, х500

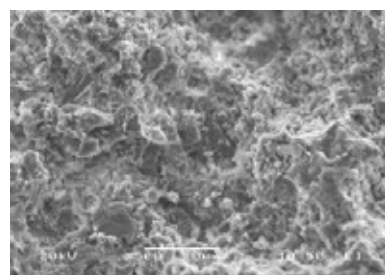


Рис. 2. Образец мелкозернистого бетона с анортитом 0,01 мас. % от веса цемента, х500

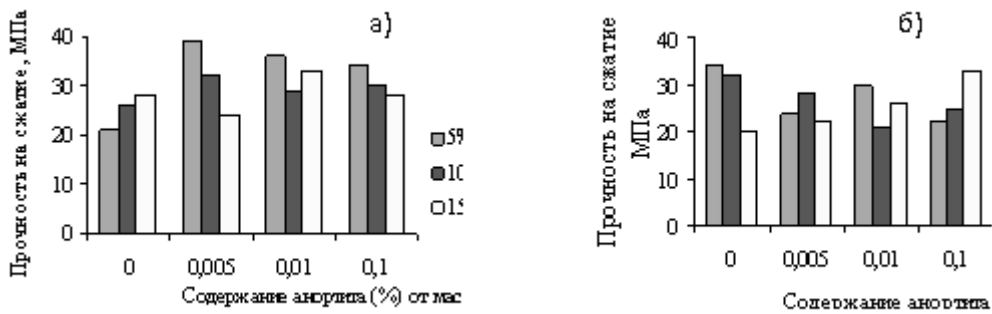


Рис. 3. Прочность бетонов, модифицированных механоактивированными глиной (а) и цеолитом (б)

Установлено увеличение прочности при сжатии образцов, модифицированных комплексной добавкой. Причем максимальный эффект достигается при использовании механоактивированной глины — до 56%. Использование цеолита в смеси с анортитом к положительному эффекту не приводит.

Эффективность введения анортита в состав бетона, модифицированного глиной, можно объяснить его химической природой и оптимальным содержанием кальция, отсутствующего в составе глины, необходимого для ускорения процессов гидратации и твердения бетона. Цеолиты, характеризующиеся повышенным содержанием кальция, способствуют замедлению процессов гидратации и твердения бетона.

Электронно-микроскопические исследования элементного состава модифицированного бетона показали (рис. 4), что атомы кальция равномерно распределены как по всей поверхности, так и в малом участке, что свидетельствует об интенсификации гидратационных процессов. Исследование распределения кальция в исходных образцах показывает, что его содержание на поверхности заметно отличаются, что свидетельствует о нерав-

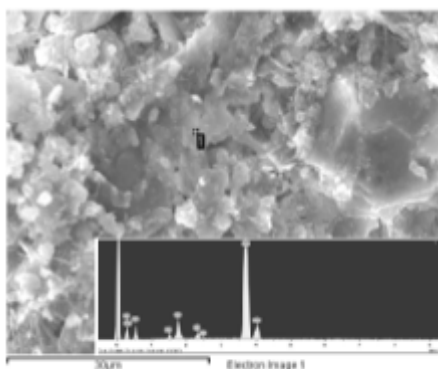
номерном распределении зерен гидратных фаз цемента по всему объему цементного камня.

Анализируя результаты исследований влияния добавки на свойства бетонов, можно сделать следующие выводы:

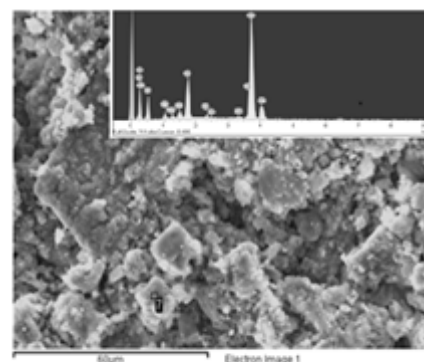
1. Выявлены оптимальные дозировки нанодобавки при постоянном водоцементном отношении и равноподвижных бетонных смесях для мелкозернистых бетонов марок по прочности В20, В25, В30, В35. Содержание нанодобавки составляет от 0,005 до 0,01 масс. % от веса цемента.

2. Наномодифицирование мелкозернистого бетона ускоряет процесс гидратации, что способствует набору прочности на ранних сроках твердения, при этом прочность образцов увеличивается на 35–40% в марочном возрасте.

3. Установлена возможность использования комплексных модификаторов бетонных смесей, включающих нано и минеральные добавки, позволяющие улучшить прочностные свойства мелкозернистых бетонов, за счет ускорения процессов гидратации на ранних сроках твердения и полного завершения гидратации в проектом возрасте.



а)



б)

Рис. 4. Элементный состав малого участка исходного (а) и модифицированного комплексной добавкой (б) мелкозернистого бетона

*Литература:*

1. Гусев, Б. В. Проблемы создания наноматериалов и развития нанотехнологий в строительстве // Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал [www.nanobuild.ru](http://www.nanobuild.ru) №2, 2009 — с. 5–12.
2. Лесовик, В. С. Наносистемы в строительном материаловедении — прорыв в будущее. // Технолог, 2008, №8.
3. Лушникова, А. А., Соковикова М. А., Пудов И. А. Формирование структуры и свойств бетонов, модифицированных дисперсными добавками // Вестник ЮУрГУ. 2011. №16. — с. 30–33.

**Влияние наполнителей на структуру мелкозернистых бетонов**

Буренина Ольга Николаевна, кандидат технических наук;  
 Давыдова Наталья Николаевна, младший научный сотрудник;  
 Андреева Айталина Валентиновна, младший научный сотрудник;  
 Даваасенгэ Сардаана Суреновна, младший научный сотрудник;  
 Саввинова Мария Евгеньевна, кандидат технических наук  
 Институт проблем нефти и газа СО РАН (г. Якутск)

**Ключевые слова:** нанодисперсный модификатор, дисперсность, механоактивация, микроструктура, мелкозернистый бетон, цемент, гидратация.

Эксплуатационные свойства любых строительных материалов существенно зависят от их надмолекулярной структуры. Одним из основных способов регулирования процессов структурообразования в композиционных материалах на основе бетона являются: 1) использование технологических приемов; 2) использование наполнителей, обеспечивающие прочную силу сцепления между отдельными частицами новообразований в структуре монолитного твердого тела.

**Целью данной работы** является изучение микроструктуры бетонов, твердеющих в различных условиях.

На микрофотографии образца мелкозернистого бетона с добавкой цемента, активированного в АГО и гидратировавшего в водной среде (рис. 1, обр. №1) видна конфигурация мелких кристаллических образований призматической формы, поверхность в целом однородная, с ярко выраженными отдельными участками скопления кристаллов. Можно предположить, что это области ускоренных процессов гидратации вокруг активированных зерен цемента. Кристаллические образования продуктов

гидратации плотно расположены и имеют четкие грани, что свидетельствует о более полной реакции гидратации, произошедшей в водной среде.

На микрофотографии бетонного образца аналогичного состава, гидратировавшего в воздушной среде (рис. 1, обр. №2) наблюдается структура с пластинчатыми и игольчатыми новообразованиями, характерными для ранней стадии, что может говорить о незавершенных процессах гидратации для образцов, твердевших в воздушной среде.

Электронно-микроскопическими исследованиями установлено, что цементный камень бетона водного твердения обладает более плотной, однородной и мелкокристаллической структурой. Кристаллические образования продуктов гидратации плотно расположены и имеют четкие грани, что свидетельствует о более полной реакции гидратации, произошедшей в водной среде.

Рентгенофазовый анализ опытных образцов позволил установить, что трехкальциевый силикат ( $C_3S$ ) — алит, который участвует в нарастании прочности цемента

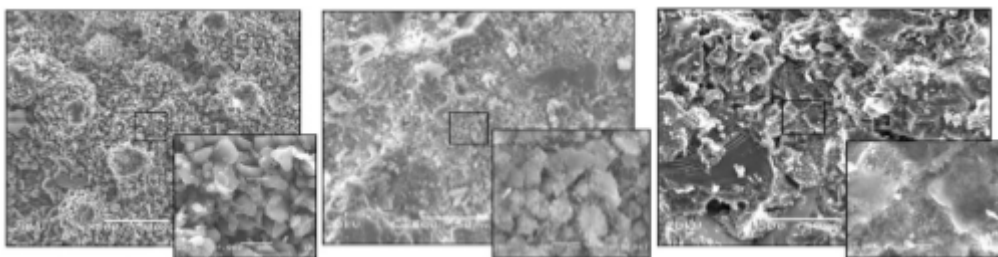


Рис. 1. Микроструктура (x500) бетонных образцов с 50 мас. % механоактивированным цементом: 1 — АГО-водное твердение 2 — АГО-воздушное твердение 3 — Пульверизетте — водное твердение

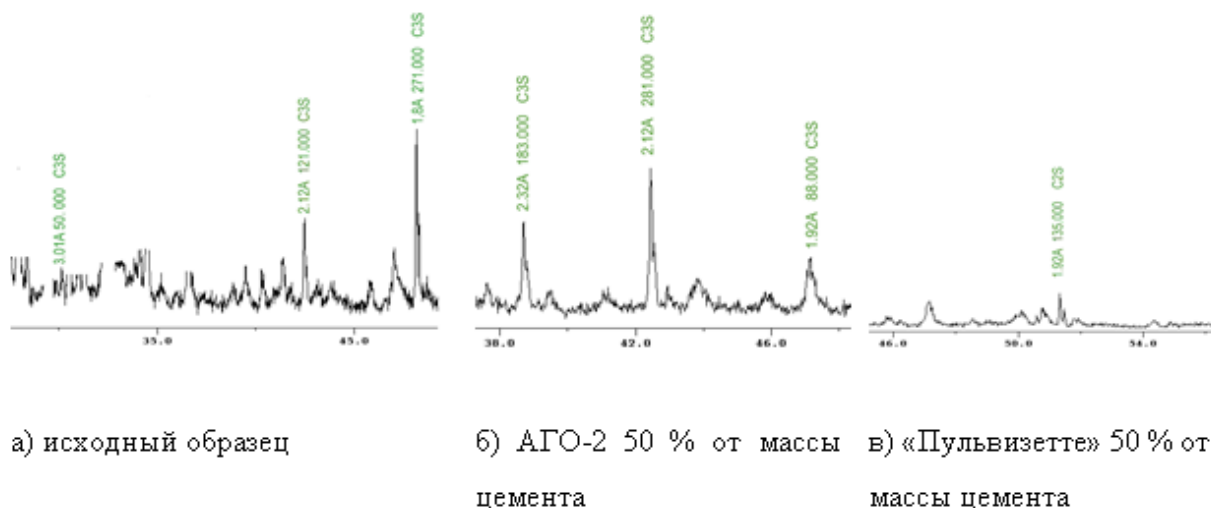


Рис. 2. Интенсивность трехкальциевого силиката  $C_3S$  – алита в опытных образцах

на протяжении всего времени, присутствует на линиях 1,88, 2,12, 1,82, 1,92, 2,32, 3,01Å (рис. 2).

По количественному составу того или иного соединения можно говорить о полноте гидратации. Так, данные РФА показывают, что количественный состав трехкальциевого силиката исходных образцов составляет 49,5%, в составе образцов с модифицированным цементом в планетарных мельницах АГО-2 и «Пульверизетте» в течение 2 мин. — 17,1% и 17,4%, соответственно, в чистом цементе — 65,2%.

Таким образом, на основании результатов РФА, можно утверждать, что гидратация  $C_3S$  у исходных образцов прошла на 24%, у модифицированных в АГО-2 образцов — на 73% и в «Пульверизетте» — на 74%.

В исследуемых образцах содержание портландита —  $Ca(OH)_2$ , показано в линиях 4,91, 4,92, 4,89Å (рис. 3).

Как показал рентгенофазовый анализ в исходных образцах (а) и в образцах с механоактивированным цементом АГО-2 (б) и «Пульверизетте» (в) можно выделить характерные для цемента минеральные фазы продуктов его гидратации. По длине пиков портландита  $Ca(OH)_2$  можно охарактеризовать степень гидратации цементного камня в образцах различного состава. Так, например, высота пиков, образованных портландитом неодинакова. Высокое значение пика интенсивности портландита ( $d = 320.000$ ) наблюдается у образцов с содержанием 50% от массы цемента механоактивированного в АГО-2, при содержании механоактивированного цемента 50% от массы цемента в «Пульверизетте» интенсивность пика составляет  $d = 270.000$ , а исходного образца  $d = 120.000$ . Таким образом, РФА установлено, чем ниже интенсивность пика портландита, тем больше прочность будущего материала.

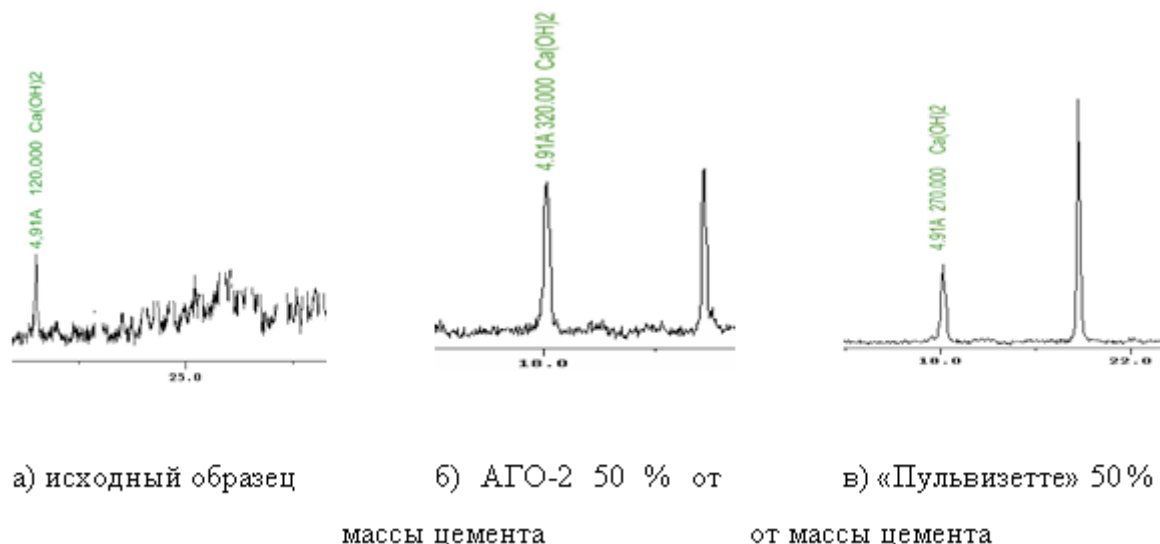


Рис. 3. Интенсивность портландита  $Ca(OH)_2$  в опытных образцах

Количественный состав портландита по результатам РФА разный (рис. 3). Содержание портландита составляет у исходного образца 2,9%, что на 78% и 82% ниже по отношению к образцам, активированным в АГО-2 и «Пулверизетте». Следовательно, в связи с этим можно утверждать, что механическая активация частиц влияет на гидратацию цемента, которая, в свою очередь, влияет на физико-механические свойства композиционного материала.

#### Выводы

1. Показана высокая эффективность применения механоактивационных технологий для улучшения физико-механических свойств цемента и мелкозернистых бетонов на его основе. Установлено, что все использованные в работе механоактивационные аппараты позволяют улучшать свойства лежалого цемента до нормативных и выше. Наилучшие результаты получены при механоактивации цементов на планетарной мельнице АГО-2.

2. Увеличение удельной поверхности методом свободного удара вяжущих компонентов бетонной смеси обуславливает увеличение их реакционной способности, и, как следствие, получение бетонов, имеющих повышенную прочность. Механоактивация цемента позволила повысить прочностные показатели мелкозернистого бетона до 40%.

3. Методом РФА оценена степень гидратации бетонных смесей по интенсивностям пиков алита и портландита. Показано, что применение в бетонных смесях механоактивированного цемента повышает степень гидратации цементного камня. Установлено, что структура бетонов с механоактивированным цементом характеризуется более плотной однородной мелкокристаллической структурой в случае твердения в водной среде по сравнению с твердением в воздушной среде.

4. Установлена эффективность применения механоактивированных добавок минерального происхождения (цеолитов и глины), заключающаяся в улучшении основных эксплуатационных свойств бетонов. Выбор добавок основан на химическом и кристаллическом родстве с цементным вяжущим.

5. Применение механоактивированных цеолита и глины повышает прочность бетонов на 48 и 22% соответственно.

6. Разработаны составы бетонных смесей с повышенным уровнем прочностных характеристик и технология обработки лежалых цементов с целью повышения их эксплуатационных характеристик до нормативных показателей.

#### Литература:

1. Брыков, А. С. Гидратация портландцемента: учеб. пособие. СПб.: СПбГТИ (ТУ). 2008. 30 с.
2. Лушникова, А. А., Соковикова М. А., Пудов И. А. Формирование структуры и свойств бетонов, модифицированных дисперсными добавками // Вестник ЮУрГУ. 2011. № 16. с. 30–33.
3. Овчаренко, Г. И., Гильмияров Д. И., Викторов А. В., Фомичев Ю. Ю. Взаимосвязь фазового состава и прочности автоклавного пресованного материала // Научно-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві». 2012. с. 27–32.
4. Панина, А. А., Лыгина Т. З, Губайдуллина А. М., Николаев К. Г., Халитова А. Н. Исследование портландцемента с модифицированной цеолитсодержащей добавкой // Известия КГАСУ. 2012. № 4 (22). с. 326–331.

## Перспективы применения мембранно-стержневых и пневматических покрытий сооружений в Российской Федерации

Ким Алексей Юрьевич, доктор технических наук, доцент;

Харитонов Семен Павлович, аспирант

Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина

Статья авторов посвящена разработке новых пространственных предварительно напряжённых мембранно-стержневых и пневматических сооружений многоцелевого назначения. Предлагаемые системы являются капитальными сооружениями, отличающимися высокими технико-экономическими показателями при пролётах до 100 метров.

Данное пространственное предварительно напряжённое сооружение содержит внешнее опорное кольцо и облегчённое мембранно-стержневое покрытие. У дан-

ного сооружения есть нижняя вогнутая и верхняя выпуклая мембраны, закрепленные во внешнем опорном кольце и усиленными канатами, соединёнными между собой распорками (см. рис. 1). Мембраны покрытия сооружения (см. рис. 2) могут быть выполнены из полупрозрачных долговечных плёнок. [3]

Опорное кольцо покрытия сооружения выполнено сквозным в виде шарнирно-стержневой фермы, опёртой на внутренние колонны и имеющей прямоугольное или шестиугольное очертание в плане.



Предварительно напряжённое мембранно-стержневое покрытие сооружения, с целью повышения жесткости мембран и их долговечности, может быть усилено за счёт пневматического эффекта. В этом случае сооружение снабжено воздухонагнетательным вентилятором с воздуховодами и датчиками давления воздуха. Мембранно-стержневое покрытие сооружения содержит нижнюю вогнутую и верхнюю выпуклую мембраны, закрепленными во внешнем опорном кольце и соединёнными между собой распорками. В случае, когда мембранно-стержневое покрытие сооружения выполнено пневматическим, необходимое предварительное напряжение его может быть достигнуто за счёт избыточного давления воздуха пневмолинзы и число распорок в двухпоясном покрытии может быть значительно уменьшено. Наибольший экономический эффект достигается тогда, когда распорки в пневматическом покрытии вообще отсутствуют (см. рис. 3). Покрытие в этом случае становится особенно лёгким, материалоемкость сооружения снижается (см. рис. 4), но появляется некоторая зависимость несущей способ-

ности покрытия от технического состояния специального оборудования: вентилятора, щелочного аккумулятора и т. д.

Уклон кровли за счёт выпуклого очертания верхней мембраны обеспечивает необходимый водоотвод с покрытия естественных осадков. Наличие пневматической линзы в покрытии обеспечивает хорошие теплозащитные свойства здания, как летом, так и зимой. Удаление снега с покрытия можно осуществлять подачей нагретого воздуха в пневмолинзу.

Но стоимость сооружения при этом уменьшается на 20...30 процентов, что очень немаловажно в условиях мирового экономического кризиса.

В отличие от воздухоопорных сооружений, линзообразные пневматические сооружения не требуют герметизации внутреннего помещения и устройства шлюзов. [1]

На рис. 5 показано сооружение с оконным витражом, расположенным по внешнему контуру покрытия, на рис. 6 — интерьер внутреннего помещения. Относительно низкая материалоемкость и стоимость сооружения в соче-

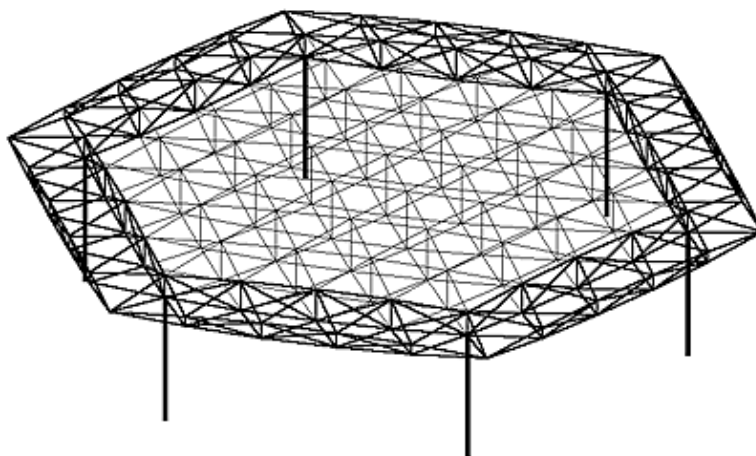


Рис. 1. Расчётная схема мембранно-стержневого сооружения

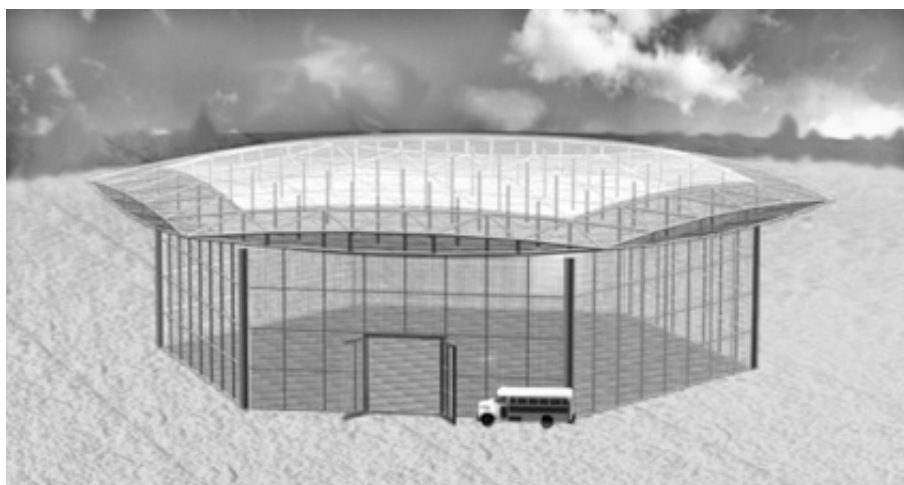


Рис. 2. Мембранно-стержневое сооружение шестиугольное в плане

тании с надежностью и долговечностью конструкций обеспечивают высокую экономическую эффективность сооружения.

За рубежом построено более 100 тысяч мембранно-пневматических сооружений различного типа благодаря их низкой себестоимости и большому сроку службы.

Если в качестве мягкой оболочки воздухоопорного сооружения применяется кевлар, то срок службы сооружения превышает 25 лет, и оно окупается за это время несколько раз.

Расход стали в капитальных сооружениях со стальным мембранно-пневматическим покрытием при пролетах порядка 70 метров обычно в несколько раз меньше, чем в сооружениях с традиционным покрытием. При этом, чем больше пролёт покрытия, тем меньше материалоемкость мембранно-пневматических сооружений по сравнению с традиционными.

Авторами разработан алгоритм расчёта пространственных предварительно напряжённых линзообразных покрытий сооружений больших пролётов шаговым ме-

тодом последовательных нагружений с поэтапным применением метода конечных элементов. [2]

Алгоритм расчёта позволяет учитывать геометрическую и конструктивную нелинейность системы. На каждом шаге приращения параметров системы применяется итерационная процедура Эйлера-Коши третьего порядка точности. Достаточную для инженерных расчётов точность результатов можно получить итерационным расчётом уже при одном шаге нагружения. В тех случаях, когда канаты могут временно выключаться из работы, осуществляется многошаговый процесс расчёта системы.

Макет такого сооружения был выполнен студентами четвертого курса СГТУ имени Ю.А. Гагарина под руководством профессора кафедры ТСК Кима Алексея Юрьевича и принимал участие в областной научно-технической выставке.

Авторы статьи надеются, что данные сооружения найдут достойное место в современной инфраструктуре Российской Федерации в условиях современного мирового кризиса и западных санкций.

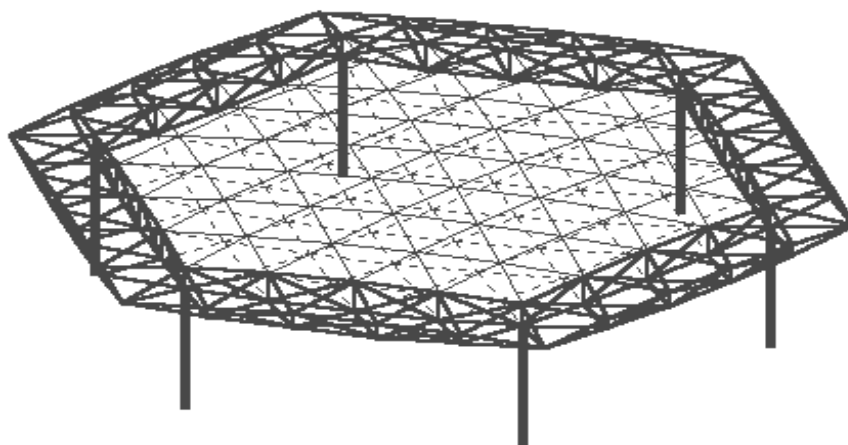


Рис. 3. Расчётная схема мембранно-стержневого сооружения без внутренних распорок, обычно применяется в район с малым снежным покровом

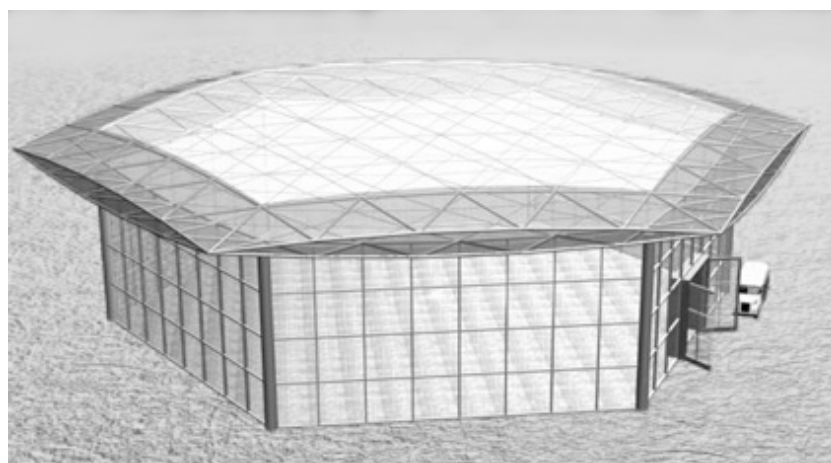


Рис. 4. Мембранно-пневматическое сооружение со светопрозрачным покрытием



Рис. 5. Внутренний интерьер мембранно-пневматического сооружения

#### Литература:

1. Ким, А. Ю. и др. Проектирование мембранно-пневматических сооружений с использованием новых компьютерных технологий. Рекламный проспект. Изд-во Саратовского ЦНТИ, Саратов, 1998—15 с.
2. Петров, В. В. Метод последовательных нагружений в нелинейной теории пластинок и оболочек. — Саратов: Изд-во СГУ, 1975—118 с.

## Оценка эффективности использования низкоэмиссионного энергосберегающего остекления

Морозов Роман Владимирович, студент;

Клёнов Юрий Викторович, студент

Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова (Удмуртская Республика)

*Статья посвящена вопросу применения энергосберегающих стеклопакетов. Рассмотрены особенности их конструкции, технология производства. Произведен расчет по оценке экономической эффективности применения данного вида остекления в сравнении с обычным. Выделены основные достоинства энергосберегающих стекол, их технические характеристики.*

**Ключевые слова:** низкоэмиссионные стекла, энергосберегающий стеклопакет, эмиссидент, теплотехнический расчет остекления.

Мировые тенденции в остеклении современных зданий диктуют максимальную открытость помещения дневному освещению. Помещения, максимально открытые солнечному свету, кроме своих эстетических преимуществ, повышают инсоляцию здания, улучшают самочувствие людей. Но здесь появляется проблема энергосбережения. В настоящее время вопросам энергосбережения и рационального использования энергии уделяется повышенное внимание. Энергоресурсы дорожают, соответственно растут затраты на отопление зданий и сооружений. [1]

Примерное распределение теплотерь здания изображено на рис. 1. Видим, что теплотери, приходящиеся на остекление, могут достигать до трети всех потерь.

А если учесть, что остекление здания составляет большую часть ограждающих конструкций (промышленные здания, торговые и выставочные центры), данная доля может составлять и половину всех потерь тепла.

Что касается теплотерь через окна, на долю прямой теплопередачи, от теплой среды к холодной, через стеклопакет приходится только 30% от общих теплотерь через окна. Более 70% происходят за счет теплового излучения от отопительных приборов, свободно проникающего из помещения наружу через стекла. [2] Возникает проблема: как уменьшить эту долю излучаемых потерь?

Одним из самых эффективных путей снижения теплотерь является применение энергоэффектив-



Рис. 1. Распределение теплотерь в здании

ного остекления, теплосберегающие свойства которого во многом зависят от стекла, задерживающего тепловое излучение.

Придание энергосберегающих свойств стеклу связано с нанесением на его поверхность низкоэмиссионных оптических покрытий, а само стекло с таким покрытием по-

лучило название низкоэмиссионного. Эти покрытия обеспечивают прохождение в помещение коротковолнового, солнечного излучения, но препятствуют выходу из помещения длинноволнового теплового излучения, например, от отопительного прибора (поэтому низкоэмиссионные стёкла ещё называют селективными).



Рис. 2. Действие низкоэмиссионного стекла

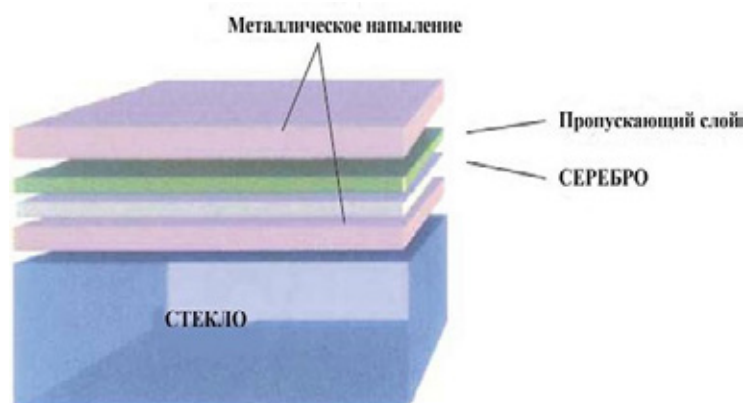


Рис. 3. Структура низкоэмиссионного покрытия

Характеристикой энергосбережения является излучающая способность стекла. Коэффициент теплового излучения является характеристикой поверхности, а не всего тела и это такая же физическая характеристика, как, например, плотность, температура плавления и т. д. Под излучающей способностью стекла (эмиссией) понимают способность стеклянной поверхности отражать длинноволновое, невидимое человеческим глазом тепловое излучение, длина волны которого меньше 16000 Нм. Эмиссидент поверхности ( $E$ ) определяет излучающую способность стекла ( $u$  обычного стекла  $E$  составляет 0,83, а  $u$  селективного меньше 0,04) и, следовательно, возможность как бы отражать обратно в помещение тепловое излучение.

Причина возникновения излучения кроется в движении свободных электронов атомов, находящихся на поверхности стекла, и плотности движущихся электронов. Далеко не все металлы, хорошо проводящие электрический ток, обладают свойством отражать длинноволновое тепловое излучение. Такими свойствами обладают благородные металлы — медь, серебро, алюминий.

Следовательно, чем ниже эмиссидент, тем меньше потери тепла. При этом стекло с оптическим покрытием, имеющим значение эмиссидента  $E = 0,004$ , отражает обратно в помещение свыше 90% тепловой энергии, уходящей через окно. В настоящее время используется два вида низкоэмиссионных стекол — с твёрдым  $K$  и мягким покрытием  $I$ .

Твёрдое селективное покрытие наносится из жидкой фазы методом распыления на горячую флоат ленту, после чего отжигается. Достоинством этого покрытия является высокая стойкость покрытия, что, в принципе, позволяет использовать его вне стеклопакетов, а недостатком — более высокий коэффициент излучения (0,1–0,15). По составу — это проводящие оксиды металлов, чаще всего оксид олова, допированный фтором.

Мягкое селективное покрытие наносится на стекло методами магнетронного распыления в вакууме. Достоинством этого стекла является низкий коэффициент излучения (менее 0,1), а недостатком — невысокая стойкость. Но на потребителя это никак не отражается, этот

недостаток решается на стадии изготовления стеклопакетов. В открытом виде это стекло использовать нельзя. По составу мягкое селективное стекло представляет собой слоистую структуру с общей формулой оксид-металл-оксид. Главную роль играет тонкая плёнка металла, как раз и обладающая свойством спектральной селективности. Обычно это плёнка серебра толщиной 10–15 нанометров. [3]

Изучив технологию производства и работы низкоэмиссионных стекол, важно оценить их экономическую эффективность. Произведем расчет на примере проектируемого промышленного здания гальванического производства в г. Самара, для которого особенно важно поддержание температурного режима и зимой, и летом.

#### Расчет экономической рентабельности

Цель расчета: необходимо рассчитать и сравнить экономические затраты на отопление корпуса, приходящиеся только на долю теплопотерь через два варианта остекления промышленного здания в городе Самара (рис. 4) за расчетный период (10 отопительных периодов), а также сравнить себестоимости данных стеклопакетов. Тепловые потери от остальных ограждающих конструкций условно отбрасываем, считая что для обоих вариантов остекления они идентичны. Важно сравнить экономическую эффективность от использования двухкамерного остекления из обычного стекла (в расчете с индексом 1) с низкоэмиссионным  $i$ -стеклом (в расчете с индексом 2).

Исходные данные:

Размеры в осях: 138мх60 м

Строительный объем: 86000 м<sup>3</sup>

Общая площадь остекления  $F=3400$  м<sup>2</sup>

Район строительства — г. Самара

Условия эксплуатации ограждающих конструкций — нормальный

Влажностный режим помещений зданий — нормальный

Тип здания — промышленное отапливаемое

Расчетный период оценки экономической эффективности — 10 лет (10 отопительных периодов)

Расчет:



Рис. 4. Проектируемый корпус гальванического производства

Определяем требуемое термическое сопротивление теплопередаче для ограждения из условия энергосбережения из СП 131.13330.2012

$$G_{СОП} = (t_{в} - t_{от. пер.}) \cdot z_{от. пер.} [^{\circ}C \cdot сут]$$

где

$t_{в}$  — расчетная температура внутреннего воздуха

$$t_{в} = 20^{\circ}C$$

$t_{от. пер.}$  — средняя температура отопительного периода из СНиП 23-01-99 табл. 1

$$t_{от. пер.} = -5,2^{\circ}C$$

$z_{от. пер.}$  — продолжительность отопительного периода из СНиП 23-01-99 табл. 1

$$z_{от. пер.} = 203 \text{ дня}$$

$$G_{СОП} = (20 + 5,2) \cdot 203 = 5115 [^{\circ}C \cdot сут]$$

$$R_{тро} = aG_{СОП} + v, [м^2 \cdot ^{\circ}C/Вт], \text{ где}$$

$$a = 0,000075$$

$$v = 0,15 \text{ (Таблица 3 СП 50.13330.2011)}$$

$$R_{тр} = 0,000075 \cdot 5115 + 0,15 = 0,50 [м^2 \cdot ^{\circ}C/Вт],$$

Принимаю требуемое сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции (остекления)  $R_{тр} = 0,50 [м^2 \cdot ^{\circ}C/Вт]$

Теплотехнические характеристики выбранных типов остекления удовлетворяют условию  $R_{факт.} > R_{тр}$  (табл. 1)

Расчитаем теплотери через данные типы остекления:

Теплотери через ограждающие конструкции при расчетной температуре определяются по формуле:

$$N = 1/R \cdot (t_{в} - t_{н}) \cdot n \cdot F (1 + \Sigma \beta) [Вт]$$

где

$R$  — термическое сопротивление

$t_{в} = 20^{\circ}C$  температура внутри помещения

$t_{н} = -30^{\circ}C$  расчетная температура наружного воздуха

$n = 1,25$  коэффициент, который зависит от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху

$F = 3400 м^2$  площадь ограждающей конструкции

$\beta = 0,1$  коэффициент учитывающий добавочные теплотери через ограждение

Получим:

$$N_1 = 404952,83 \text{ Вт}$$

$$N_2 = 311050,72 \text{ Вт}$$

Расчитаем количество теплоты, необходимого для возобновления (компенсации) данных потерь в течение одного отопительного периода, равного 203 дн.

$$Q = N \cdot t$$

$N$  - мощность теплотери (Вт)

$t$  - время расчетного периода (с)

$$N_1 = 404952,83 \text{ Вт} \cdot 203 \text{ дн} \cdot 24 \text{ ч} \cdot 60 \text{ мин} \cdot 60 \text{ с} = 7102548,68 \text{ МДж}$$

$$N_2 = 311050,72 \text{ Вт} \cdot 203 \text{ дн} \cdot 24 \text{ ч} \cdot 60 \text{ мин} \cdot 60 \text{ с} = 5455580,87 \text{ МДж}$$

Таблица 1

Теплотехнические характеристики выбранных типов остекления

Тип остекления	Марка*	R, [м <sup>2</sup> ·°C/Вт]	Стоимость ** руб/м <sup>2</sup>
1. Двухкамерное из обычного стекла	4M1 -12-4M1 -12-4M1	0,53	1080
2. Двухкамерное из низкоэмиссионного стекла	4M1 -10-4M1 -10-И4	0,69	1200

\* 4M1 -16-4M1 -16-4M1, где — 4 — толщина стекла, мм; M1 — марка стекла; 16 — расстояние между стеклами, мм; И или К — тип низкоэмиссионного стекла.

\*\* Стоимость указана с НДС [<http://steklopacketoff.ru/price>]

Таблица 2

Расчет газовой смеси

Газ	y <sub>i</sub> %	p <sub>i</sub> , кг/м <sup>3</sup>	y <sub>i</sub> p <sub>i</sub> , кг/м <sup>3</sup>	Q <sub>нр</sub> , МДж/м <sup>3</sup>	Q <sub>нр</sub> y <sub>i</sub>	l <sub>н</sub>	l <sub>в</sub>	y/l <sub>н</sub>	y/l <sub>в</sub>
CH <sub>4</sub>	93	0,717	66,662	35,76	3326	5	15	18,600	6,200
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	3,1	1,356	4,204	63,65	197,3	3	12,5	1,033	0,248
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,7	2,004	1,403	91,14	63,8	2	9,5	0,350	0,074
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,6	2,702	1,621	118,53	71,12	1,7	8,5	0,353	0,071
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0	3,457	0,000	146,18	0	1,35	8	0,000	0,000
CO <sub>2</sub>	0,1	1,977	0,198						
N <sub>2</sub>	2,5	1,251	3,128						
Сумма	100	$\rho$ (смеси) =	<b>0,772</b>	<b>Q (смеси) =</b>	<b>36,58</b>	МДж/м <sup>3</sup>		20,336	6,592

Отопление проектируется от газового котла индивидуального теплового пункта. Рассчитаем объем газа, необходимого для выделения рассчитанного тепла.

Для этого определим теплоту сгорания газовой смеси, характерного по составу для Самарской области (табл.2).

Таким образом

$$Q_{\text{газа}} = 36,58 \text{ МДж/м}^3$$

Рассчитаем объем газа, необходимого для выделения рассчитанного тепла

$$V_1 = Q_1 / (Q_{\text{газа}} \times 0,9) = 215738,68 \text{ м}^3$$

$$V_1 = Q_1 / (Q_{\text{газа}} \times 0,9) = 165712,32 \text{ м}^3$$

Цена газа в г. Самара на 01.01.2015г  $c_0 = 4,81$  руб/м<sup>3</sup> с НДС

Стоимость компенсации теплопотерь, приходящихся на остекление, за один отопительный период равен

$$C_{\text{экспл.}} = V_{\text{газа}} * c_0$$

$$C_{1\text{экспл}} = 1037703,03 \text{ руб.}$$

$$C_{2\text{экспл}} = 797076,24 \text{ руб.}$$

Сумма переплаты при использовании двухкамерного остекления из обычного стекла в сравнении с низкоэмиссионным стеклом за один отопительный период:

$$dC_0 = 240626,79 \text{ руб.}$$

За расчетный период (10 лет) с учетом размера средней инфляции 8% данная переплата составит:

$$dC_{\text{расч}} = 240626,79 * (1 + 1,08 + 1,08^2 + 1,08^3 + 1,08^4 + 1,08^5 + 1,08^6 + 1,08^7 + 1,08^8 + 1,08^9) = 3485855,02 \text{ рублей}$$

За 10 лет использования экономическая выгода использования энергосберегающих стекол весьма значительна.

Стоимость стеклопакетов

$$C_{1\text{себест}} = 3672000,00 \text{ руб.}$$

$$C_{2\text{себест}} = 4080000,00 \text{ руб.}$$

Видно, что себестоимость низкоэмиссионных стеклопакетов выше обычных. Однако уменьшение затрат на отопление окупают применение энергосберегающего остекления всего за 345 дней.

Срок окупаемости =  $(C_{2\text{экспл}} - C_{1\text{экспл}}) \times 203 \text{ дн} / dC_0 = 345 \text{ дней}$

Вывод расчета: при себестоимости энергосберегающих стеклопакетов, превышающих себестоимость обычных стеклопакетов на 408000 руб., экономия на затраты отопления за 10 лет эксплуатации здания составляют 3485855,02 руб. [4–7]

Таким образом, рассмотрев и изучив особенности низкоэмиссионных стеклопакетов, можем смело выделить следующие их преимущества:

1. Первое достоинство — невысокая себестоимость. Стеклопакеты с энергосберегающим покрытием с аналогичной конструкцией (количество камер) превышают в цене обычные стеклопакеты в среднем всего на 100–150 руб/м<sup>2</sup>.

2. Экономическая эффективность эксплуатации. При длительном использовании позволяет сэкономить на отоплении свыше 3 миллионов рублей, которые можно вложить в развитие или расширение производства.

3. Высокая энергоэффективность стеклопакетов, теплопотери здания через которые согласно расчету уменьшаются на 30% по сравнению с обычным стеклом.

4. Благодаря высокотехнологичному покрытию «умное» остекление работает в двух направлениях: зимой сохраняет тепло в помещении, а летом задерживает жару снаружи.

5. Значительно меньшая масса — 20 кг/м<sup>2</sup> против 30 кг/м<sup>2</sup> — которая позволяет уменьшить вес конструкций.

6. Благодаря более низкой пропускаемости УФ-излучения защищает внутренний интерьер здания от выцветания.

7. В сравнении с обычным стеклопакетом на низкоэмиссионных стеклах не выступает конденсат.

И это не все достоинства энергосберегающего остекления, которое действительно можно отнести к одним из самых высокоэффективных энергосберегающих строительных материалов и конструкций. Несмотря на такие высокие показатели технических характеристик, внедрение этих стеклопакетов в жизнь идет не быстрым ходом. Проблемы внедрения и реализации этих материалов в первую очередь связано с изъятиями рыночных отношений: заказчику чаще выгодно как можно быстрее и дешевле возвести дом и как можно за большую сумму продать. А о том, как будет обитателям этого здания или сооружения находится в нем, эксплуатировать его и во сколько это ему будет обходиться, это уже сугубо его дело. [8] Однако очень важно при проектировании здания на дальнейшую его экономичную эксплуатацию провести анализ выбора тех или иных материалов, сделать необходимые расчеты потерь тепла. Ведь грамотный расчет теплопотерь помещения — залог повышения уровня жизни и условий проживания населения, комфортного и благоприятного для человека климата в современном помещении в наше время, а также достижение долговременной экологической безопасности города. [9]

#### Литература:

1. Информационная статья «Низкоэмиссионное стекло» компании «Окна-Питер», режим доступа: <http://www.okna-piter.ru/articles/nizkoemissionnoe.html>
2. Обзорная статья «Энергосберегающие, низкоэмиссионные стекла», режим доступа: <http://www.otk-remont.ru/okna/2okna3.html>
3. Рубрика электронного строительного справочника «Novosibdom.ru» на тему «Низкоэмиссионные энергосберегающие стёкла», режим доступа: <http://build.novosibdom.ru/node/110>
4. СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий».

5. СП 131.13330.2012 «Строительная климатология».
6. СП 23.101–2004. «Проектирование тепловой защиты зданий».
7. Справочник по газоснабжению и использованию газа./Н. Л. Стаскевич, Г. Н. Северинец, Д. Я. Вигдорчик — Л.: Недра, 1990.
8. Article «The latest and current heat insulation materials»/collection «All-Russian student academic conference with international participation»/Grigoriev E. J. — April 22–26, 2013, Izhevsk, Russia — page 342
9. Грахов, В.П., статья «Инвестиционно-строительный комплекс города Ижевска: итоги и перспективы», журнал экономическое возрождение России №2 (12)», 2007 г. стр. 43

## Применение технологии навесных фасадов в реконструкции зданий

Фетисова Мария Александровна, кандидат технических наук, старший преподаватель;  
Маренков Артем Геннадьевич, магистрант  
Орловский государственный аграрный университет

На сегодняшний день в значительной степени возрастает значимость информационно-культурного и эмоционального восприятия города как важных факторов, учитываемых в программе градостроительного проектирования. Причины усиления внимания к этой стороне проектирования связаны с ориентацией на всестороннее развитие человека, на максимальное удовлетворение его материальных и духовных потребностей. Одновременно осознаются недостатки в композиции городов, определяемые монотонностью массового строительства, «эмоциональным голодом», наблюдаемым в условиях современной типовой застройки.

Крупнопанельное домостроение в России составляет около 60% объема строительства, оно стало массовым и в настоящее время является определяющим фактором в создании облика наших городов. Сам по себе этот факт воспринимается как положительное событие, потому что благодаря такому подходу удастся решать жилищную проблему. Но повсеместное применение этого способа возведения зданий существенно меняет облик наших городов, и проблема визуальной среды становится все более острой.

Существуют следующие проблемы, появляющиеся в процессе эксплуатации и определяющие архитектурный облик фасадов зданий: преимущественно «грязно-серое» цветовое решение фасадов типовых зданий; изменение первоначального облика фасадов за счет самовольной замены жильцами оконных и балконных блоков, установки наружных систем кондиционирования и вентиляции, телевизионных «антенн-тарелок»; последствия некачественно проведенных ремонтно-восстановительных работ по заделке межпанельных швов; выборочное остекление балконов, не предусмотренное проектом; загрязнение фасадов.

Фасады зданий, помимо возложенных на них функций по обеспечению архитектурной выразительности жилой застройки, являются наружной частью ограждающих конструкций и защищают помещения от воздействия внешней среды. Воспринимая определенные нагрузки, обуслов-

ленные конструктивной схемой здания, они должны отвечать целому ряду общих требований. А именно: по прочности и устойчивости; по долговечности, соответствующей классу здания; по огнестойкости; по теплозащите; по паропрооницанию; по защите от шума; по ветрозащите и по сейсмостойкости. Однако в процессе эксплуатации ограждающие конструкции подвергаются воздействию агрессивных сред природного и техногенного характера. В результате указанных воздействий происходят изменения первоначальных свойств материалов конструкции, которые приводят к несоответствию многим вышеперечисленным требованиям. Из чего следует необходимость реконструкции фасадов.

Навесные вентилируемые фасады — это эффективная теплозащита фасадов, надежная и долговременная преграда для ветра и дождя. Помимо этого, они соответствуют эстетическим требованиям и, учитывая большое многообразие фактуры и расцветок, а также способов монтажа, подходят практически для любых зданий и архитектурных стилей.

Идея вентилируемого фасада возникла в Германии. Навесной фасад представляет собой конструкцию, состоящую из материалов облицовки (плит или листовых материалов) и несущей конструкции, поддерживающей облицовочный материал, которая крепится к стене таким образом, чтобы между защитно-декоративным покрытием и стеной оставался воздушный промежуток, так называемый вентиляционный зазор. В случае необходимости, для дополнительного утепления наружных конструкций между стеной и облицовкой может устанавливаться теплоизоляционный слой — в этом случае вентиляционный зазор оставляется между облицовкой и теплоизоляцией. Под облицовочная конструкция состоит из кронштейнов, которые крепятся непосредственно на стену, и несущих профилей, устанавливаемых на кронштейны. На несущие профили, образующие каркасную систему, с помощью специальных элементов крепежа монтируются плиты (листы) облицовки. Утеплитель фиксируется на наружной поверхности стены с помощью дюбелей, специальных профилей.





Рис. 1. Общий вид вентилируемого фасада установленного на кирпичную стену

Материалом, используемым для монтажа фасада, может быть металосайдинг, фасадная кассета или какой-либо другой материал.

Навесной вентилируемый фасад образует надежную оболочку перед наружной стеной, обеспечивая гарантированную защиту от погодных воздействий и прекрасное утепление фасада. Ограждающая конструкция остаётся сухой и не подвергается разрушению от перепадов температуры. А утеплитель, который может быть дополнительно

установлен между несущей стеной и навесным фасадом, снижает потери тепла и экономит, таким образом, затраты на отопление. Кроме того, при реконструкции зданий с использованием навесных вентилируемых фасадных систем, не требуется дополнительно ремонтировать старые повреждённые наружные стены. Навесные вентилируемые фасады можно устанавливать в любое время года, а их монтаж конструкции очень прост, производится сухим методом и не зависит от погодных условий.

#### Литература:

1. Белоконев, Е. Н. Основы архитектуры зданий и сооружений. Учебное пособие. — 2-е изд. — Ростов-н/Д.: Феникс, 2005. — 256 с.
2. Вильман, Ю. А. Технология строительных процессов и возведение зданий. Современные прогрессивные методы: Учебное издание. — М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2005 г. — 336 с.
3. Фетисова, М. А., Захаренко А. И. Строительство с использованием несъемной опалубки нового поколения из пенополистерола. // Молодой ученый. Ежемесячный журнал. №5 — Чита.: Издательство ООО «Иркутская типография», 2012. с. 70–71

## Сравнительная характеристика современных отопительных систем

Чалкова Наталья Леонидовна, старший преподаватель;

Ризатдинова Алия Радиковна, студент

Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова (Челябинская обл.)

В современном мире существует многообразие различных отопительных систем, которые имеют свои достоинства и недостатки. При проектировании жилых и производственных зданий и сооружений выбор отопительной системы так же важен, как и выбор материала для стен и кровли, поэтому строители выбирают ту систему, которая более практична, удобна и требует наименьших затрат. Одно из немаловажных требований к отопительной системе предъявляется к долговечности системы.

В регионе Урала и Сибири, где отопительный сезон 6–9 месяцев и на обогрев помещения тратится 25–35 %

от общего числа энергозатрат. Попробуем разобраться в многообразии отопительных систем, какие популярны в настоящее время, в чем заключаются их плюсы и минусы. [1]

Рассмотрим первую отопительную систему — это электрический тёплый пол. Существует три типа электрических тёплых полов: плёнка, термомат, кабель. [2]

Плёночные тёплые полы появились совсем недавно. Основание пленочных полов — очень тонкая полимерная пленка (всего 0,3 мм). Она обладает жаростойкостью, гибкостью. Основное достоинство плёнки то, что укладка производится непосредственно под напольное

покрытие, при этом укладывать пленочные полы можно под любое покрытие, которое предназначается для теплых полов. А вот недостаток таких полов — высокая цена, поэтому выбирать стоит исходя из материальных возможностей. [2]

При установке кабельной системы теплых полов, необходимо ее укладывать в бетонную стяжку, что увеличивает трудоемкость процесса и сложность монтажа. А точный выбор длины кабеля необходимо производить сразу, так как резать его при монтаже нельзя. [2]

Термоматы за счет своей тонкости могут быть уложены в слой плиточного клея или тонкую стяжку. К тому же системы на основе термоматов недороги и просты в монтаже, пользуясь инструкциями их можно уложить самостоятельно. Еще одним удобством системы является то, что монтажную сетку их можно разрезать на части необходимой длины во время монтажа. [2]

К основным достоинствам электрических теплых полов относится: наиболее комфортное распределение температур по высоте помещения; после включения системы на нагрев, температура помещения быстро достигает заданной; долгий срок службы и экологичность применяемых материалов; при дополнительной схеме возможна укладка электрического подогрева и напольного покрытия поверх старого и, наконец, в случае, если возникнет необходимость ремонта электроподогрева, не нужно вскрывать весь пол. К недостаткам же относится повышенное потребление электроэнергии, неравное распределение температурного поля у некоторых систем (результатом этого будет коробление напольных покрытий, которые выполнены из паркета или ламината). [2], [3]

Далее мы рассмотрим такую отопительную систему, как радиаторная. Это наиболее распространённая система отопления на сегодняшний день. По типу материала из которого радиаторы изготовлены делятся на чугунные, стальные, алюминиевые и биметаллические. Простота действия любого радиатора заключена в том, что теплоноситель при поступлении в радиатор замедляет свое движение, затем происходит его остывание, а тепло передается воздуху, окружающему радиатор. Преимуществами такой системы является большая теплоотдача, высокий показатель рабочего давления, небольшой вес, отсутствие тепловой инертности. Недостатками радиаторов является неравномерность прогревания помещения, большие затраты на электроэнергию, коррозионная неустойчивость. [2], [4]

Так же применяется система инфракрасного отопления. ИК-обогреватели — обогреватели, которые нагревают предметы, попавшие под их воздействие. В такой системе нагревается сначала поверхность предметов, находящихся в помещении, а затем от них нагревается воздух. По длине волн инфракрасные обогреватели могут быть: длинноволновыми, средневолновыми и коротковолновыми. Данную систему рекомендуется использовать в качестве дополнительной, так как она требует больших денежных затрат при обогреве огромных помещений. К положительным

чертам относится быстрота монтажа, минимум технического оборудования, долгий срок службы, надёжность и безопасность, а также для них не страшны скачки напряжения в сети или аварийное отключение электроэнергии. К недостаткам относится невписываемость в интерьер (считается как чужеродный объект), такой обогреватель можно устанавливать в помещении с высотой потолка не менее 2,5 метра. [2], [4], [5]

Ещё существует воздушная система отопления. К такой системе относятся воздушно-канальная система, тепловентиляторы, тепловые завесы. Такую систему лучше всего применять в больших помещениях, магазинах, складах. В основе принципа их работы лежит не пассивная конвекция воздуха, а принудительный воздухозабор из помещения, а затем его нагрев, при проходе через раскаленные нагревательные элементы (спирали). После нагрева, воздух возвращается обратно в помещение. Плюсами воздушной системы отопления является практически мгновенный нагрев, а также возможности направленного отопления; в системе перед печью ставится воздушный фильтр, который частично удаляет пыль из воздуха; при желании в такую систему отопления, сразу за воздухонагревателем в воздуховод можно установить испарительный блок кондиционера, который в летний период времени будет охлаждать помещение; легко решается проблема с проветриванием помещения, делая забор воздуха с улицы. Минусы воздушного отопления — довольно высокая стоимость; снижение температуры воздуха при длинной воздушной сети; невозможность установки в уже построенном доме, так как ввиду особенностей системы, она должна быть спланирована на этапе проектирования здания; система сложна в монтаже; имеет место небольшой шум; электрозависимость системы. [4]

Немалое значение имеет печное отопление, хоть это и самая старая система обогрева дома, мы рассмотрим её более современный вид. В общем, печное отопление является наиболее распространённым во всём мире, за счёт доступности топлива. Основными элементами печи являются: топливник (место, где происходит сжигание топлива), газоходы (или каналы), по которым разогретые газы, поступающие из топливника, проходят, и собственно дымовая труба для удаления дыма (дымоход). От стенок топливника тепло передается в помещение, затем через дымовую трубу происходит выведение охлажденных газов. На данный момент существует два вида печей: постоянного и периодического действия. Печи постоянного действия рассчитаны на обогрев в течении нескольких суток, поэтому и рассчитаны на большое количество топлива (каменный уголь, антрацит, древесина, кусковой торф, кора). Печи периодического действия протапливают 1–2 раза в сутки. Положительные качества данной системы отопления — возможность использовать относительно недорогой вид топлива; для монтажа обычной печи не нужны большие финансовые вложения; независимость и автономность системы отопления не требующей доступа к коммуникациям; экологичность системы;

возможность подключения печного отопления к водяному; печное отопление является самым простым способом обогрева дома. К отрицательным качествам относится: данная система требует постоянного контроля, так как топливо в печи прогорает быстро; для полного прогрева здания и поддержания нужной температуры приходится тратить много времени, у печного отопления невысокий показатель КПД; неравномерное прогревание помещения, чем дальше от печи, тем ниже температура воздуха; неправильный уход за печью и нарушение правил эксплуатации могут привести к большому выбросу окиси углерода в помещение; показатель пожароопасности при установке печи в доме значительно повышается. [6], [7]

И последняя отопительная система, которую мы рассмотрим — это водяной тёплый пол. Данная система представляет собой равномерно уложенные в бетонную стяжку трубы, по которым происходит циркуляция теплоносителя. Нагрев теплоносителя осуществляется в газовом или электрическом котле с электрическим насосом. Она обладает экономичностью, по сравнению с радиаторной системой, которая достигается за счет низкой

температуры теплоносителя (30–40С); тёплые полы водяного типа можно устанавливать под любое напольное покрытие; длительный срок эксплуатации. Недостатки: готовое жилое помещение не всегда подходит для установки теплого пола, так как забирает около 15 см высоты помещения; большие материальные затраты на установку; при использовании водяных полов существует вероятность протечки и, как следствие, затопления. [2], [8], [9]

Итак, мы проанализировали несколько самых распространённых в современности отопительных систем, где каждая из них обладает какими-то достоинствами и недостатками. Нельзя считать какую-то из них идеальной, ведь у всего есть свои недочёты. При выборе системы кто-то опирается на материальные затраты, кто-то смотрит на совместимость с интерьером, а кому-то главное — удобство. Поэтому конкретно мы не можем выделить наилучшую из всех рассмотренных систем, но хотелось бы отметить электрический тёплый пол, так как такая отопительная система экологична, долговечна, комфортна, неприхотлива в монтаже и температурное распределение идёт равномерно.

#### *Литература:*

1. <http://stroyka-remont.com/sravnitel'naya-karakteristika-sovremennykh-otopitelnykh-sistem>
2. <http://tp09.ru/articles/sravneniye-sistem-otopleniya>
3. <http://www.builderclub.com/statia/teply-pol-ustroystvo-elektricheskogo-teplogo-pola>
4. [http://plusteplo.ru/otoplenie/sistemy-otopleniya/osnovnye-vidy-sistem-otopleniya-kakaya-iz-nix-podojdet-vam.html#h2\\_5](http://plusteplo.ru/otoplenie/sistemy-otopleniya/osnovnye-vidy-sistem-otopleniya-kakaya-iz-nix-podojdet-vam.html#h2_5)
5. <http://otoplenie-doma.org/infrakrasnoe-otoplenie.html>
6. <http://www.pr-ru.com/%D0%BF%D0%B5%D1%87%D0%BD%D0%BE%D0%B5-%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%BF%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5-10143.html>
7. <http://teplo.guru/sistemy/pechi-dlya-doma.html>
8. <http://polportal.ru/stati/teplyie-vodyanyie-polyi-preimushchestva-i-nedostatki.html>
9. <http://sm-piter.ru/inzhenernye-sistemy/teplyj-pol/preimushchestva-i-nedostatki-vodyanykh-teplykh-polov>

## 9. ТРАНСПОРТ

### Технология работы припортовой станции с местными вагонами

Еременко Егор Андреевич, студент;  
Широков Альберт Павлович, доцент  
Дальневосточный государственный университет путей сообщения (Хабаровск)

*В настоящее время, в период роста объемов перевозок и увеличения числа угольных маршрутов, направленных на экспорт в страны АТР, существует острая проблема в обеспечении эффективной работы станции. Для этого, в статье рассмотрен ряд эксплуатационных показателей за последние 7 лет работы станции Находка, выявлены узкие места во взаимодействии станции с Находкинским морским торговым портом, а именно увеличение простоя местного вагона. По результатам анализа предложен ряд мероприятий для нормализации работы станции и уменьшения временных и денежных издержек.*

**Ключевые слова:** эксплуатационные показатели станции, местные вагоны, простой местного вагона, экспорт, грейферная выгрузка, вагоноопрокидыватель, оптимальная очередность подач, временные издержки, денежные издержки.

### Ways of improving Far eastern railway Nakhodka railway station's methods of working local cars

*At present, during the traffic volume growth and coal export routes increase to Asian-Oceanian countries, there is a pressing problem of effective operation of the railway station. To solve it, the article describes some operating characteristics of Nakhodka railway station for the last 7 years, and some bottlenecks of the cooperation with Nakhodka commercial seaport, local terminal time, to be more exact. The analysis results suppose a range of actions to improve the railway station operation and to decrease time and money loss.*

**Key words:** railway station operating standards, local cars, local terminal time, export, grab discharge, car dumper, optimal sequence of carload delivery, time loss, money loss.

**М**естные вагоны — это вагоны, прибывающие на станцию под выгрузку, погрузку, перегрузку, сортировку груза. [1] Простой местного вагона является важным эксплуатационным показателем работы станции. Его превышение приводит к затруднению нормальной работы станции, снижает пропускную способность станции и способствует повышению оборота вагона и рабочего парка вагонов.

В настоящее время, в период бурного развития Дальнего Востока, из-за смещения экономических интересов России на восток, происходит увеличения объемов перевозок грузов направленных на экспорт в страны Азиатско-Тихоокеанского региона.

Значимую роль, особенно в перспективе, будет играть Находкинский транспортный узел, как большой логистический центр. В этой связи, крайне важно, чтобы все участки этого транспортного узла работали в полном объеме, максимально эффективно. Созрела необходимость проведения серьезного анализа одного из важнейших составляющих Находкинского транспортного узла — взаимодействие станции Находка с Находкинским морским торговым портом, являющийся на сегодняшний день одним из самых важных по грузообороту.

В целях выявления «узких» мест во взаимодействии станции Находка с Находкинским морским торговым портом, выполнен анализ работы станции за 7 лет по выполнению следующих показателей: погрузка в сутки, ваг; выгрузка в сутки, ваг; рабочий парк вагонов, ваг/сут.; расформирование горкой в сутки, ваг/сут.

В последние годы наблюдается снижение погрузки на станции и увеличение объемов выгрузки. Это объясняется тем, что станция является припортовой и большинство грузов прибывает на экспорт. После выгрузки, большая часть вагонов отправляется со станции в порожнем состоянии.

За 7 лет работы станции ежедневная выгрузка увеличилась с 152 до 222 вагонов.

Общая выгрузка станции состоит из выгрузки вагонов, прибывших в адрес станции и для перевалки на экспорт.

За весь рассматриваемый период число вагонов, прибывающих в адрес станции, остается на одном уровне и не проявляет тенденции к росту, в то время как объем выгрузки для перевалки на экспорт ощутимо растет, особенно это заметно по такому виду груза, как уголь.

Стратегия развития угольной отрасли в России предполагает рост добычи и экспорта, что влечет за собой повышение объемов перевозимого угля в целом по стране. На сегодняшний день основное повышение происходит в Приморском крае, из-за смены экспортных ориентиров поставки угля от Европы, к странам Азиатско-Тихоокеанского региона. [2]

Основное влияние на рост экспорта угля оказывают Япония и Китай, активно наращивающие объемы закупок российского угля.

В 2011 году в Японии произошла крупная авария на АЭС «Фукусима-1»<sup>[3]</sup>, что привело к резкому падению потребления атомной электроэнергии и необходимости искать альтернативные источники. В условиях сильной зависимости от тепловых электростанций по причине остановки работы АЭС были увеличены объемы закупок угля российского производства. За последние два года Япония увеличила импорт российского угля в два раза. [2]

Китай сохраняет темпы роста экономики и производства, достигнутые за последние 10 лет, что так же приводит к увеличению потребления угля российского производства.

При сохранении существующих тенденций роста потребность в угле стран АТР будет расти в геометрической прогрессии, и к 2020 году объемы перевозок могут возрасти.

Таким образом, Находкинский морской торговый порт переориентирован на такой вид груза, как уголь.

Увеличения объемов перевозок экспортного груза, поступающего в адрес НМТП, привело к проблемам нормальной работы станции Находка и всего региона в целом. На протяжении последних 7 лет работы станции происходит повышение такого показателя, как простой местного вагона. По отчетным данным простой местного вагона был превышен относительно нормативных параметров.

В целях выявления причин, влияющих на увеличение данного показателя, был проведен детальный анализ простоя местного вагона по элементам и построена диаграмма Парето, представленная на рисунке 1. Проведенный анализ выявил, что наибольшее время приходится на период от прибытия до подачи — 45,8%, на грузовые операции — 17,6%, от окончания выполнения грузовых операций до отправления — 36,6%.

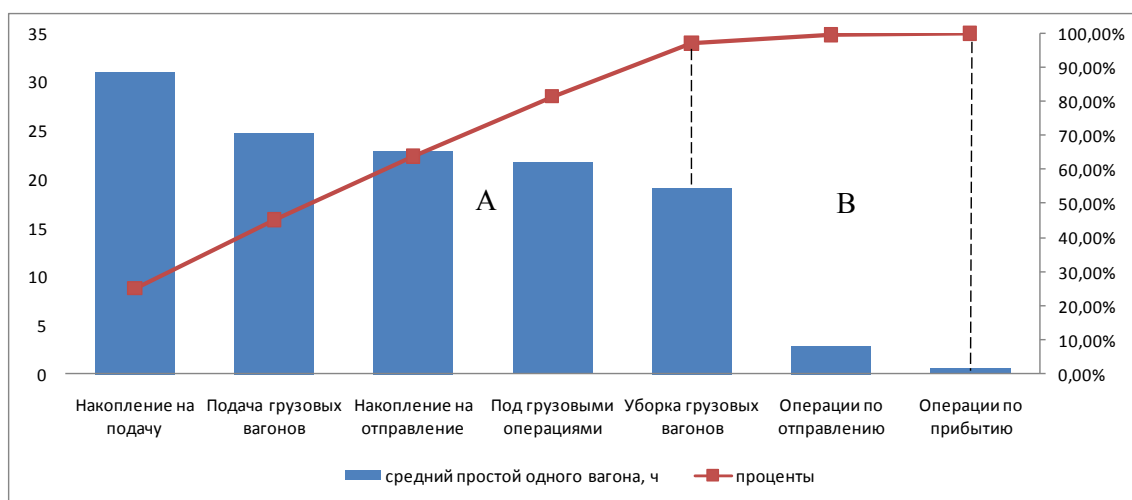


Рис. 1. Диаграмма Парето

По степени влияния все факторы разбиты на две группы. В группу А попали: время накопления на подачу, время на подачу грузовых вагонов, время накопление на отправление, простой под грузовыми операциями, время на уборку грузовых вагонов. Проанализировав каждый элемент, выявлено, что на элементах 2,3,4 произошло завышение существующего времени на выполнение операций к нормативному.

Для выявления факторов, которые воздействуют на данные элементы, строится причинно-следственная диаграмма Исикавы, наглядно демонстрирующая иерархию и взаимозависимость всего комплекса факторов, приводящих к увеличению простоя местного вагона. Причинно-следственная диаграмма Исикавы приведена на рисунке 2.

Одной из важных причин по которой происходит завышение простоя местного вагона — это накопление вагонов в адрес одного получателя — «ЕВРАЗ Находкинский морской торговый порт». Так в адрес грузополучателя ОАО «ЕВРАЗ Находкинский морской торговый порт», среднесуточное наличие экспортного груза по станции Находка на сегодняшний день составляет 507 вагонов, при средней ежесуточной выгрузке — 191 вагона. [4]

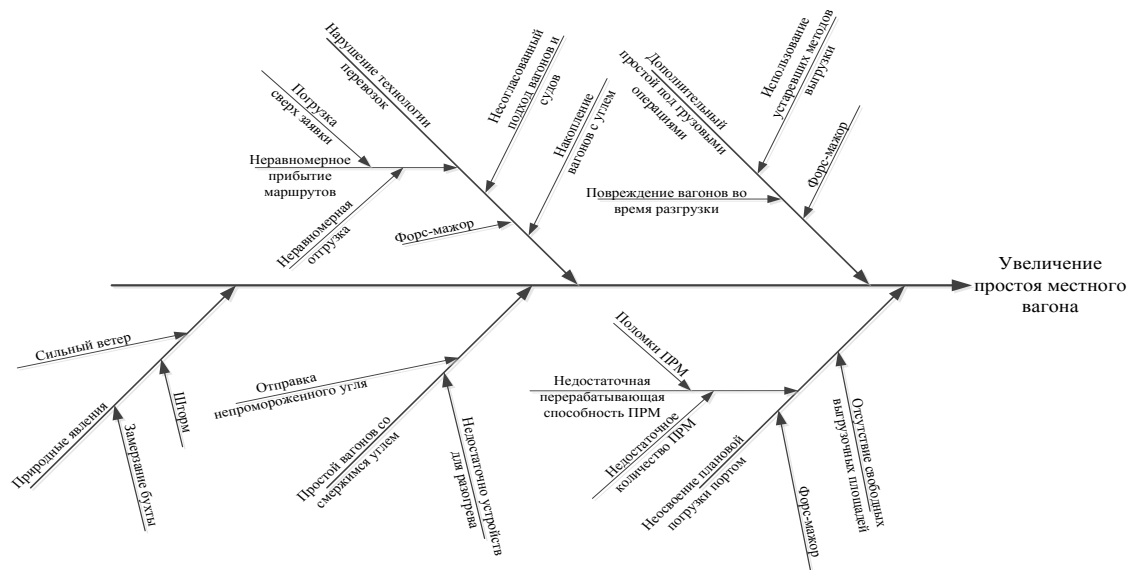


Рис. 2. Основные причины завышения простоя местного вагона

На станции происходит накопление экспортного груза, что, в свою очередь, затрудняет передачу вагонов с одного маневрового района в другой для дальнейшего формирования к отправлению. Невостребованные к выгрузке вагоны в значительной степени парализует маневровую работу станции.

Так же рост простоя местного вагона несет за собой увеличение таких показателей, как рабочий парк вагонов и оборот вагона.

В связи с этим, можно предположить, что при дальнейшей неизменной работе станции, простой местного вагона и накопление вагонов в адрес «ЕВРАЗ» будет с каждым годом увеличиваться, и приведет к еще большим проблемам нормальной работы станции и всего региона в целом.

Для предотвращения дальнейшего увеличения простоя местного вагона и нормализации работы станции предлагается ввести ряд мероприятий:

- Увеличение количества и длины существующих путей на станции и в порту;
- Увеличение мощностей выгрузочных устройств порта;
- Оптимизация очередности подач и уборок.

Увеличение количества и длины существующих путей на станции и в порту не предоставляется возможным под реализацию, так как станция и порт находится в черте города и нет достаточного количества места под их расширение.

В настоящее время, Находкинский морской торговый порт пользуется устаревшими технологиями, грейферной выгрузки угля. В зимнее время до 80% вагонов получают повреждения при выгрузке, и требуется дополнительное время для ремонта вагонов на путях порта, что ведет за собой непосредственное увеличение такого показателя, как простой местного вагона.

Основными причинами повреждения подвижного состава являются нарушения работниками портов единых технологических процессов работы порта и соответствующего госстандарта при выгрузке вагонов грейферными кранами.

В результате повреждений полученных в процессе грузовых операций, вагон выбывает из эксплуатации для проведения ремонтных работ. В условиях дефицита полувагонов на сети российских железных дорог это является серьезной проблемой для операторов, причем не только с финансовой точки зрения, но и с точки зрения своевременного обеспечения заявок грузоотправителей. Поврежденный при грейферной выгрузке вагон нельзя восстановить до начального состояния. Деформации скапливаются, техническое состояние полувагона значительно ухудшается, из-за чего срок службы подвижного состава сокращается.

Одним из мероприятий по увеличению мощностей выгрузочных устройств и уменьшения количества повреждений, получаемых вагонами, является установка на территории Находкинского морского торгового порта вагонопрокидывателя.

Установка данного комплекса механизации позволит:

- Снизить время на выгрузочные работы, темп выгрузки составляет до 30 вагонов в 1 час и позволит обеспечить среднюю выгрузку до 540 вагонов в сутки;
- Уменьшить количество повреждений, получаемых вагонами при выгрузке. При использовании вагонопрокидывателя количество повреждаемых вагонов может снизиться в 2–2,5 раза;

- Сократить время простоя местного вагона под грузовыми операциями и в ожидании уборки;
- Автоматизировать процесс выгрузки.

Уменьшение длительность нахождения местных вагонов на станции, можно достичь определением и вводом оптимального числа подач и уборок вагонов на Находкинский морской торговый порт.

Количество подач на грузовые пункты и уборок с них групп вагонов зависит от ряда факторов. Основные из них: суточный вагонопоток назначением на данный пункт; вместимость фронта погрузки или выгрузки и его удаленность от сортировочного парка; режим работы грузовых пунктов предприятий; техническая оснащённость грузовых пунктов; срочность подачи отдельных групп вагонов с теми или иными грузами по технологическим условиям работы предприятий-получателей; степень загрузки маневровых локомотивов и др.

Чем больше подач-уборок местных вагонов при определенном суточном вагонопотоке, тем меньше общий простой этих вагонов на станции за счет сокращения простоя под накоплением, времени на подачу-уборку, но больше потребности в маневровых средствах. [5]

Очередность подач можно представить, как функцию от трех параметров:

$$O = f(K_{n-y}, t_{n-y}, m_{n-y}),$$

где  $K_{n-y}$  — количество подач уборок на подъездные пути необщего пользования;  $t_{n-y}$  - время, затрачиваемое на подачу, уборку;  $m_{n-y}$  — количество вагонов в одной подаче.

Оптимальное число подач-уборок может быть определено по условию технико-экономической целесообразности и является функцией от 11 параметров:

$$K_{n-y} = f(C_{в-ч}, C_{л-ч}, C_m, t_{n-y}, n_{сут}, l_{ваг}, L_{фр}, T_{гр.он}, q_{бр}, Q_{бр}, m_{n-y})$$

При следующих ограничениях:

- по длине фронта погрузки-выгрузки

$$m_{n-y} \leq f(l_{ваг}, L_{фр})$$

- по силе тяги маневрового локомотива

$$m_{n-y} \leq f(q_{бр}, Q_{бр})$$

- по норме времени на выполнение грузовых операций:

$$m_{n-y} \leq f(T_{пер.раб}, m_{под}, T_{гр.он}^{1ваг}, m_{фр})$$

При правильном определении оптимального числа подач и уборок уменьшится такой показатель, как простой местного вагона. Сокращение простоя местного вагона приведет к минимизации издержек и денежных затрат за счет сокращения вагоно-часов и локомотиво-часов.

Увеличение простоя местного вагона на станции оказывает влияние на весь регион. Происходит скопление грузовых вагонов на подъездах к разгрузочным терминалам грузовых портов, что ведет за собой остановку нормальной работы станции, а так как станция является тупиковой, то и всего региона в целом. Создаются задержки поездов на подступах к станции, которые имеют тенденцию увеличения во времени и пространстве. Беспольный простой вагонов является негативным фактором как для ОАО «РЖД», так и для грузовладельцев, что ведет за собой потерю прибыли участников перевозочного процесса. Что бы это предотвратить, нужно разработать оптимальную технологию подачи и уборок вагонов, увеличить имеющиеся разгрузочные мощности и ввести современные методы разгрузки, исключая массовую порчу вагонов и дополнительное время для их ремонта.

С учетом данной экономической ситуации, ввода санкций и увеличения стоимости одного вагоно-часа и локомотиво-часа, актуальность данной проблемы с каждым годом растет. Ее решение позволит нормализовать работу станции, сократить временные и денежные издержки.

#### Литература:

1. <http://dic.academic.ru/dic.nsf/railway/1498/%D0%9C%D0%95%D0%A1%D0%A2%D0%9D%D0%AB%D0%99>
2. <http://expert.ru/2014/04/3/ugol/>
3. [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B2%D0%B0%D1%80%D0%B8%D1%8F\\_%D0%BD%D0%B0\\_%D0%90%D0%AD%D0%A1\\_%D0%A4%D1%83%D0%BA%D1%83%D1%81%D0%B8%D0%BC%D0%B0-1](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B2%D0%B0%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D0%BD%D0%B0_%D0%90%D0%AD%D0%A1_%D0%A4%D1%83%D0%BA%D1%83%D1%81%D0%B8%D0%BC%D0%B0-1)
4. <http://deita.ru/news/economy/21.01.2015/4819499-zheleznodorozhniki-obvinyayut-v-zatorakh-na-magistralyakh-gruzopoluchateley/>

5. <http://studopedia.org/4-119914.html>

## Оценка технического состояния функциональных элементов системы охлаждения дизельной энергетической установки

Михеев Владислав Александрович, кандидат технических наук, доцент  
Омский государственный университет путей сообщения

Система охлаждения дизельной энергетической установки предназначена для охлаждения надувочного воздуха и масла дизеля. Эффективность и надежность работы системы охлаждения дизельной энергетической установки во многом определяет технико-экономические показатели и безотказную работу тепловоза [1]. Поэтому в процессе эксплуатации тепловоза возникает задача оценки качества функционирования системы охлаждения. Принятая к рассмотрению принципиальная схема теплообменных процессов в системы охлаждения дизельной энергетической установки тепловоза представлена на рис. 1 [2].

На основании выражений теплового баланса и теплопередачи для принятой схемы теплообменных процессов по разработанной математической модели определяются коэффициенты теплопередачи функциональных элементов — теплообменных аппаратов: водомасляного теплообменника (ВМТ), охладитель надувочного воздуха (ОХНВ) и водовоздушных радиаторных секций охлаждающего устройства (ОС).

Сущность оценки технического состояния функциональных элементов системы охлаждения заключается в реализации разработанного алгоритма расчета (рис. 2), предусматривающего определение: теплового потока, переданного от горячего теплоносителя к холодному; коэффициентов теплоотдачи; среднелогарифмического и сред-

неарифметического температурного напоров; расходов рабочих сред; приращения и снижения температур теплоносителей.

Учсть многочисленные факторы, влияющие на протекание теплообменных процессов, затруднительно, поэтому при разработке математической модели был принят ряд допущений, перечень которых соответствует инженерной практике расчетов [3–7]. В частности принято, что коэффициент производительности водяных и масляного насосов остается постоянным, а производительность насосов изменяется прямо пропорционально частоте вращения коленчатого вала дизеля. Теплообменные процессы и теплотери в окружающую среду в трубопроводах систем не рассматриваются.

Расчетная схема ВМТ представлена на рис. 3.

Расчетная схема ОХНВ представлена на рис. 4.

Расчетная схема ОС представлена на рис. 5.

Система уравнений теплового баланса и теплопередачи для функциональных элементов системы охлаждения дизельной энергетической установки [3–7]:

$$Q_i = G_{1i} c_{p1i} (t_{1i}^i - t_{1i}^e); \tag{1}$$

$$Q_i = G_{2i} c_{p2i} (t_{2i}^e - t_{2i}^i); \tag{2}$$

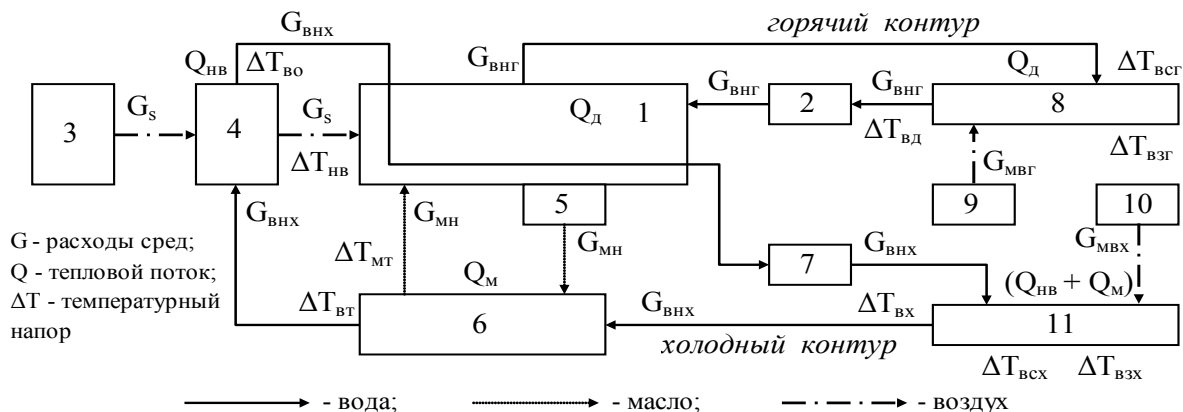


Рис. 1. Принципиальная схема системы охлаждения дизельной энергетической установки:

1 – дизель; 2 – водяной насос горячего контура; 3 – турбокомпрессор; 4 – охладитель надувочного воздуха; 5 – масляный насос; 6 – водомасляный теплообменник; 7 – водяной насос холодного контура; 8 – охлаждающие секции горячего контура; 9, 10 – мотор-вентиляторы; 11 – охлаждающие секции холодного контура



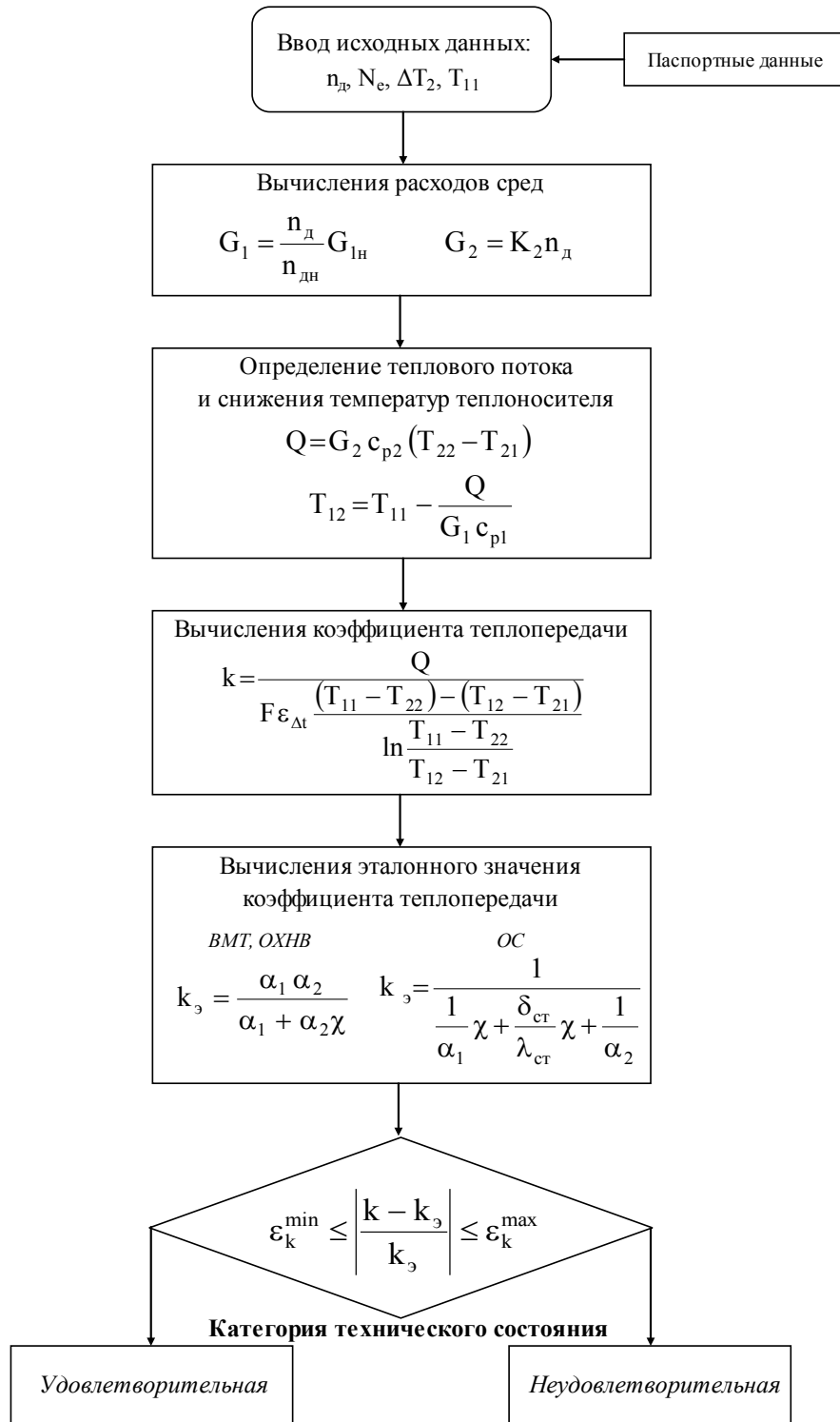


Рис. 2. Алгоритм оценки технического состояния функциональных элементов системы охлаждения

$$Q_i = k_i F_i \Delta t_i, \quad (3)$$

где  $G_{1i}$ ,  $G_{2i}$  — расход горячего и холодного теплоносителей  $i$ -го функционального элемента;

$c_{p1i}$ ,  $c_{p2i}$  — средние удельные теплоемкости горячего и холодного теплоносителей  $i$ -го функционального элемента при постоянном давлении;

$t_{1i}^h$ ,  $t_{1i}^k$ ,  $t_{2i}^h$ ,  $t_{2i}^k$  — температура горячего и холодного теплоносителей  $i$ -го функционального элемента;

$F_i$  — поверхность теплообмена  $i$ -го функционального элемента;

$\Delta t_i$  — среднелогарифмический напор при противотоке.

Для удобства инженерных расчетов при определении теплофизических характеристик теплоносителей

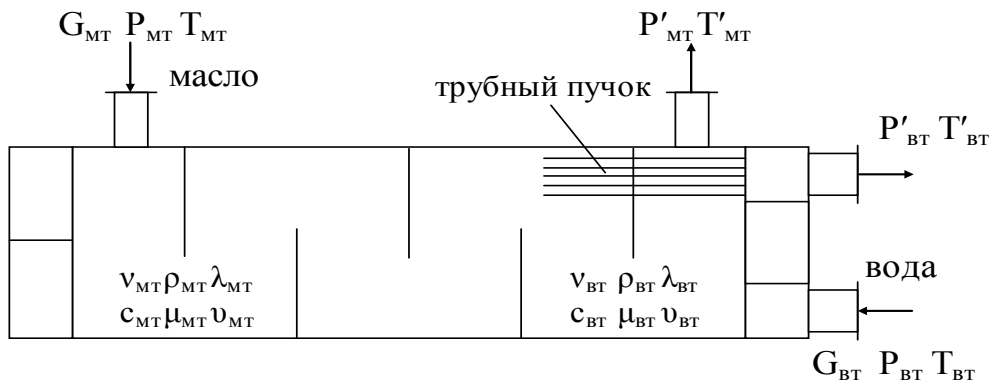


Рис. 3. Расчетная схема ВМТ

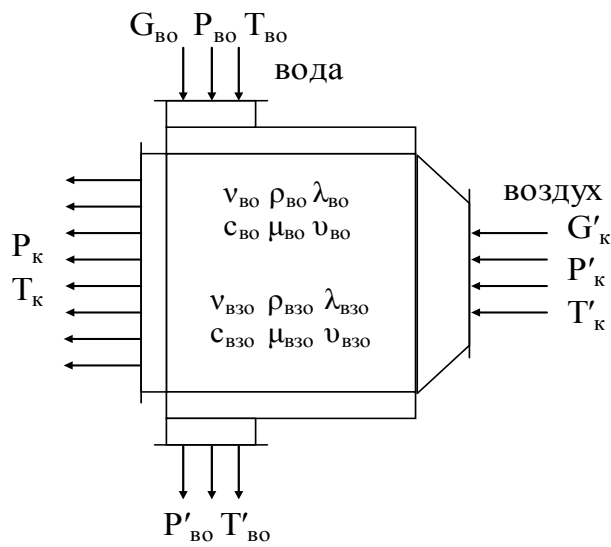


Рис. 4. Расчетная схема ОХНВ

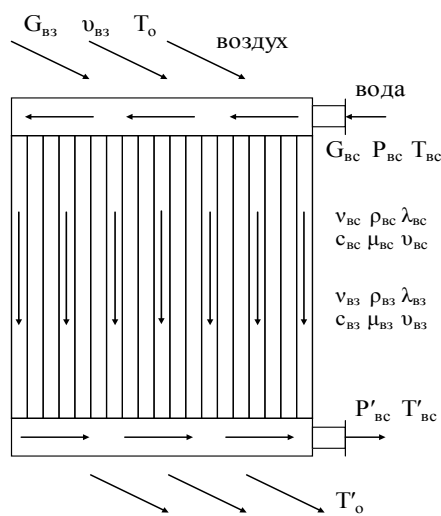


Рис. 5. Расчетная схема ОС

при определенной температуре можно использовать аналитические зависимости, представленными в виде многочлена [3]:

$$p = a + bt + ct^2 + dt^3, \quad (4)$$

где  $a, b, c, d$  — коэффициенты многочлена.

Теплофизические свойства газа и воздуха выбираются при средней температуре соответствующих теплоносителей.

Сформированный алгоритм определения коэффициентов теплопередачи теплообменных аппаратов позволит по результатам обработки параметрической информации оценить техническое состояние системы охлаждения дизельной энергетической установки и ее функциональных элементов в процессе эксплуатации и проведения регламентных работ по техническому обслуживанию и ремонту тепловозов.

#### Литература:

1. Методы оценки технического состояния, эксплуатационной экономичности и экологической безопасности дизельных локомотивов/Под ред. А. И. Володина. — М.: ООО «Желдориздат», 2007. — 264 с.
2. Моделирование системы охлаждения тепловозов с целью оптимизации количества параметров контроля/Е. И. Сковородников, В. А. Михеев // Вестник СибАДИ. — 2009. — №1 (11). — с. 61–66.
3. Володин, А. И. Моделирование на ЭВМ работы тепловозных дизелей. — М.: Транспорт, 1985. — 216 с.
4. Михеев, М. А., Михеева И. М. Основы теплопередачи. — М.: Энергия, 1977. — 344 с.
5. Бажан, П. И., Каневец Г. Е., Селиверстов В. М. Справочник по теплообменным аппаратам. — М.: Машиностроение, 1989. — 200 с.
6. Бажан, П. И. Расчет и конструирование охладителей дизелей. — М.: Машиностроение, 1981. — 168 с.
7. Куликов, Ю. А. Системы охлаждения силовых установок тепловозов. — М.: Машиностроение, 1988. — 280 с.

## Обзор существующих средств оценки состояния дорожного покрытия после применения реагентов и способов борьбы с зимней скользкостью

Павловская Светлана Сергеевна, аспирант

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

*В статье приведено описание методов борьбы с зимней скользкостью на дорогах. Приведены существующие способы определения количества противогололедных материалов, находящихся на дорожном покрытии.*

**Ключевые слова:** зимняя скользкость, коэффициент сцепления, противогололедные и фрикционные материалы, реагенты.

Важным фактором безопасности дорожного движения является качество дорожного покрытия и состояние его поверхности. Особенно актуальным этот фактор становится в зимнее время, когда вследствие погодных условий сильно падают показатели состояния дорожного покрытия. Помимо аварий низкое качество дорожного покрытия приводит к большим материальным потерям. Все эти факты указывают на необходимость контроля качества дорог, мониторинга погоды для предотвращения ухудшения состояния сцепления колес с дорогой, мониторинга процесса содержания и последующего контроля качества содержания дорожного покрытия. В зимний период на дорогах образуются снежные и ледяные отложения, приводящие к снижению коэффициента сцепления колес с покрытием дороги, так называемая «зимняя скользкость». Коэффициент сцепления колеса с опорной поверхностью — отношение результирующей продольной и поперечной сил реакций опорной поверхности, действующих в контакте колеса с опорной поверхностью, к величине

нормальной реакции опорной поверхности на колесо [1]. Для борьбы с зимней скользкостью и предотвращения ее образования на дорожной поверхности применяются твердые и жидкие реагенты.

#### Обзор способов борьбы с зимней скользкостью

Существует несколько способов борьбы с зимней скользкостью на дорогах такие, как механический, фрикционный, тепловой и химический. К механическому способу борьбы со снежно-ледяными отложениями на поверхности дорожного покрытия относят их скалывание и очистку пассивными и активными рабочими органами снегоочистителей, автогрейдеров, бульдозеров. Раньше на территории России имел широкое применение фрикционный метод борьбы с зимней скользкостью [2]. Данный способ основывается на повышении сцепления колеса с дорожным покрытием, покрытым наледью. В качестве фрикционных материалов используют в основном песок,

шлак, высевки каменных материалов, а также фрикционные материалы подвергаются нагреванию. Тепловой метод так же является одним из способов борьбы с зимней скользкостью. Данный метод разделяют по типу обогрева поверхности дорожного покрытия на кондуктивный и конвективный, при которых подогревание дорожных покрытий происходит снизу, либо, соответственно, происходит плавление ледяных отложений на поверхности дороги. Недостатками данного способа является его дороговизна, не высокая производительность в сравнении с другими методами борьбы со скользкостью, а также вредное воздействие высоких температур на дорожное покрытие. В настоящее время наиболее популярным способом борьбы с зимней скользкостью на территории РФ и за рубежом является химический метод [3]. Для предотвращения образования скользкости на дорожном покрытии или удаления льда с него предусматривается обработка твердыми или жидкими реагентами, на основе хлоридов кальция, магния и натрия. Принцип их действия заключается на понижении градуса замерзания раствора. Для всех перечисленных типов борьбы с зимней скользкостью на данный момент отсутствует информация об их влиянии на сцепление колес различных транспортных средств с дорожным покрытием, а также о необходимом количестве реагента для каждого вида транспорта.

Для обеспечения безопасности и бесперебойности дорожного движения на дорогах, необходимо своевременно осуществлять их противогололедную обработку дорожного покрытия, отслеживать изменения метеорологической обстановки. Благоприятное воздействие на своевременность осуществления работ дорожных служб оказал бы постоянный мониторинг остаточного количества противогололедных реагентов на дорожном полотне, что способствовало бы своевременному повторному распределению реагентов.

### **Приборы и способы определения остаточного количества реагентов на дорогах**

Существует несколько способов определения количества остаточных хлоридов на дорогах. За границей для этих целей используют азотно-кислородное серебро ( $\text{AgNO}_3$ ). В России данный способ не применяют в виду его трудоемкости, в связи с чем не производится контроль и корректировка распределения ПГМ.

За рубежом разработан ряд приборов для оценки наличия и концентрации химических ПГМ на дорожном полотне. Для определения наличия в том числе и небольшой концентрации реагента на дорожном покрытии необходима хорошо оборудованная лаборатория, средства и запас времени. Такие приборы создаются с целью уменьшения расхода хлоридов, сокращая, таким образом, стоимость работ по предотвращению образования снежно-ледяных отложений на дорогах и, снижая при этом их воздействие на экономическую обстановку. Работа этих приборов основана на действии электрического сопро-

тивления. «При определенном геометрическом объеме исследуемого раствора соли его электрическое сопротивление позволяет сделать вывод об удельном сопротивлении и о количестве растворенной соли на поверхности дорожного покрытия в  $\text{г/м}^2$ » [4]. Портативный прибор, работающий по этому принципу, был произведен швейцарской фирмой Boshung Mecatronic AI.

Приборы, обеспечивающие оценку концентрации реагентов на дорожном полотне, помогают дорожным службам осуществить работы по обработке дорог противогололедными реагентами. Также такие приборы помогают снизить потребление хлоридов, так как позволяют рассчитать, какое именно количество реагента необходимо и достаточно для обработки дорог для тех или иных погодных условий, препятствуют образованию так называемых «мертвых зон» обработки пгм или же их чрезмерному их расходу.

Устройство SOBO 20 (Австрия) [5] позволяет измерить на дороге количество оставшегося реагента.

Для определения величины оставшегося на покрытии дороги реагента оценивается удельное электрическое сопротивление солевых растворов, зависящее от их концентрации, температуры и химического состава. С использованием SOBO 20 можно определить содержание соли различных видов обледенения. Данный прибор обладает устройством для температурной компенсации. Этот прибор обладает высокой скоростью работы. Остаточная концентрация реагента выражается в  $\text{г/м}^2$ . Однако на точность показаний данного прибора при взятии проб влияет находящаяся в смеси с солью дорожная грязь, увеличивающая погрешность измерений. Устройство SOBO 20 применяется в основном за границей, однако на территории РФ пока не достигло широкого распространения.

За рубежом специалисты активно занялись созданием мобильных лабораторий, и замеряющих концентрацию реагента на дорожном покрытии, а также снимающих показания о состоянии дорожного полотна и его температуре. В странах Европы и Азии для этих целей используются радарный, инфракрасный или рентгено-флуоресцентный методы. Передвижная лаборатория монтируется, как правило, на легковой автомобиль.

Данные лаборатории оснащены солемерами, установленными за передним колесом автомобиля, имеющими в своем составе контейнеры, в которых происходит сбор брызг при движении машины. По электропроводности полученного раствора определяют концентрацию реагента на участках дорожного покрытия.

Состояние дорожного покрытия (сухое или влажное, покрытое снегом или льдом) определяется посредством инфракрасного излучения. Источник излучения крепится на раму автомобиля спереди. Его работа производится подачей луча инфракрасного света, который отражаясь от дорожного покрытия, приходит на приемник. Приемник в свою очередь определяет качество дороги по длине волны отраженного света.

Для бесконтактного измерения температуры покрытия дорожного полотна используется прибор под названием



Рис. 1. Внешний вид устройства для измерения количества соли SOBO-20

пирометр. С его помощью производится измерение мощности теплового излучения, исходящего от покрытия дороги.

Показания указанных выше приборов поступают на бортовой компьютер, проводящий их регистрацию и обработку.

#### Литература:

1. Постановление Правительства Российской Федерации «Технический регламент о безопасности колесных транспортных средств» от 10 сентября 2009 г. № N 720 // Российская газета. 2009 г. №5002. с изм. и допол. в ред. от 15.07.2013 г.
2. Отраслевой дорожный методический документ «Руководство по борьбе с зимней скользкостью на автомобильных дорогах» от 16 июня 2003 г. № ОС-548-р // Министерство транспорта российской федерации государственная служба дорожного хозяйства (РОСАВТОДОР). 2003 г.
3. Васильев, А. П., Ушаков В. В. Анализ современного зарубежного опыта зимнего содержания дорог и разработка предложений по его использованию в условиях России. М.: ФГУП «ИНФОРМАВТОДОР», 2003. 60 с.
4. Автомобильные дороги и мосты противогололедные материалы для борьбы с зимней скользкостью на автомобильных дорогах и городских улицах: [Электронный ресурс] //Федеральное государственное унитарное предприятие «Информационный центр по автомобильным дорогам». М., 2006. URL: <http://snip.ruscable.ru/Data1/52/52392/index.htm>. (дата обращения: 07.12.2014).
5. Устройство для измерения количества соли: [Электронный ресурс] //ООО BOSCHUNG RUS. URL: <http://www.boschung.com/index.php?id=371&L=3>. (дата обращения: 07.12.2014).
6. Система раннего оповещения об образовании гололеда: [Электронный ресурс] //ООО BOSCHUNG RUS. URL: <http://www.boschungkama.com/каталог-техники/система-раннего-оповещения-об-образовании-гололеда>. (дата обращения: 14.12.2014).

## Определение поисковых характеристик перспективных воздушных судов в системе поисково-спасательного обеспечения полетов

Селезнев Андрей Владимирович, кандидат технических наук, доцент;  
Соболев Алексей Вячеславович, аспирант  
Ульяновское высшее авиационное училище гражданской авиации (институт)

Наука движется вперед, находятся новые методы и способы производства, создаются новые материалы, модернизируются старые, совершенствуются технические приспособления, разрабатываются новые виды техники, которые могут привлекаться в поисково-спасательном обеспечении (ПСО).

В службе поискового и аварийно-спасательного обеспечения полетов основным техническим средством являются воздушные суда (ВС). ВС обладают высокими оперативными и поисковыми возможностями, возможностями проведения экстренной эвакуации и грузоподъемностью. Применение авиации существенно ускоряет процесс ПСО. Однако этот вид обеспечения безопасности полетов весьма специфичен и имеет свои особенности поэтому не все ВС могут подходить [3, с. 17]. В этой связи необходимо определить поисковые характеристики ВС, являющиеся наиболее актуальными в ПСО.

Согласно документу, регламентирующему деятельность спасательных подразделений при организации спасательных работ РПАСОП ГА-91 [2, с. 67], основными характеристиками, определяющими эффективность поисковых самолетов и вертолетов, являются:

Ширина полосы обследования ( $\Delta L$ )

$$\Delta L = 2DK$$

Где  $K$  можно приближенно принять равным 0,75.

Ширина полосы обследования определяется дальностью действия ( $D$ ) поисковой аппаратуры (по сигналам радиомаяков или аварийных радиостанций) и коэффициентом ( $K$ ), учитывающим величину перекрытия соседних полос обследования, который зависит от точности самолетовождения.

Поисковая производительность ( $N$ )

$$N = V\Delta L$$

Где:  $V$  — поисковая скорость горизонтального полета.

Под поисковой производительностью ВС понимается площадь суши или водной поверхности, которую ВС может обследовать с помощью поисковых радиотехнических средств в течение одного часа.

Максимальная площадь обследования ( $S_{\text{обсл. макс.}}$ )

Максимальная площадь обследования определяется по формуле:

$$S_{\text{обсл. макс.}} = NT_{\text{макс.}}$$

Где:  $T_{\text{макс.}}$  — максимальная продолжительность горизонтального полета ВС.

Максимальная площадь обследования также учитывает площадь во время движения от аэродрома до района поиска. Что бы определить «чистую» площадь обследо-

вания используют формулу без учета времени на полет до района поиска.

Площадь обследования определяется по формуле:

$$S_{\text{обсл.}} = NT_{\text{обсл.}} = N(T_{\text{макс.}} - T) = N(T_{\text{макс.}} - 2R/V)$$

Где:  $T$  — время, потребное на полет ВС от аэродрома до района поиска и обратно;

$T_{\text{обсл.}}$  — время обследования;

$R$  — радиус полета до района поиска

В нашем случае необходимо использовать абсолютные показатели возможностей ВС, поэтому для учета будем пользоваться формулой максимальной площади обследования.

Зная площадь района поиска ( $S_{\text{поиска}}$ ) и определив площадь обследования одним ВС, можно рассчитать необходимое количество ВС ( $n$ ) для обследования всего района поиска:

$$n = S_{\text{поиска}} / S_{\text{обсл. макс.}}$$

Однако для выбора оптимального технического средства определение данных характеристик недостаточно. Особенность вышеприведенных формул является то, что ширина полосы обследования определяется за счет дальности действия поисковой аппаратуры, но обнаружение объекта в некоторых случаях возможно только визуальным путем. В этом случае вместо поисковой производительности ( $N$ ), которую поисковое средство может действительно обследовать в пределах выделенного для него подрайона поиска, необходимо использовать формулу поискового усилия ( $Z$ ), изложенную в руководстве по международному авиационному и морскому поиску и спасанию [2, с. 4–21]:

$$Z = V \times T \times W$$

Где:  $V$  — Поисковая скорость, с которой поисковое средство движется над земной поверхностью в ходе поиска.

$T$  — Возможная продолжительность поиска. Располагаемое продуктивное время поиска на месте проведения операции. Эта величина обычно принимается равной 85% возможной продолжительности пребывания на месте проведения операции, при этом 15% отводится для обследования обнаруженных объектов и выполнения разворотов в конце поисковых участков.

$W$  — Ширина обзора. Показатель эффективности обнаружения с помощью определенного типа сенсора конкретного объекта в конкретных условиях внешней среды. Величина ширины обзора при различных сочетаниях используемого типа сенсора, объекта поиска и условий внешней среды рассчитывается по таблицам ширины обзора, приведенным в Приложении N, и рассчитывается

Таблица 1

## Поисковые характеристики воздушных судов

Характеристики	Тип ВС		
	Ми-8МТВ-5	Ми-38	Ка-62
Поисковая скорость (V) км/ч	230	280	290
Максимальная продолжительность полета ВС ( $T_{\text{макс}}$ ), ч	10	8	6
Дальность действия (Д) поисковой радиостанции, км	15	25	15
По поисковой аппаратуре			
Ширина полосы обследования ( $\Delta L$ ), км	22,5	37,5	22,5
Поисковая производительность (N), км <sup>2</sup> /ч	5175	10500	6525
Максимальная площадь обследования ( $S_{\text{макс.обсл}}$ ), км <sup>2</sup>	51750	84000	39150
Визуального поиска			
Значения ширины обзора с поправочными коэффициентами (W)	3,7 x 0,7 x 1		
Поисковое усилие (Z), км <sup>2</sup>	4468	4061	3155

\* С учетом максимально возможной заправки

как произведение нескорректированной ширины обзора и всех поправочных коэффициентов.

Задействованное поисковое усилие определяется числом имеющихся в распоряжении поисковых средств и их возможностями. К факторам, которые необходимо при этом учитывать, относятся поисковая скорость, возможная продолжительность поиска, используемые сенсоры, погодные условия, абсолютная высота поиска, видимость, рельеф местности, размер объекта поиска и т.д. Эти факторы определяют ширину обзора и расстояние, которое поисковое средство может покрыть в районе поиска. Поисковая скорость, возможная продолжительность поиска и ширина обзора определяют поисковое усилие, которое способно обеспечить каждое средство.

Для унификации расчетов возможная продолжительность поиска (T) должна быть принята как максимальная продолжительность полета ВС ( $T_{\text{макс}}$ ) с учетом поправки на для обследование обнаруженных объектов и выполнения разворотов в конце поисковых участков.

В формуле поискового усилия отсутствует коэффициент, учитывающий величину перекрытия соседних полос обследования (K). Это можно обосновать тем, что в РМАМПС дополнительно используются формулы для определения площади обследования при различных типах поиска. Тем не менее когда необходимо производить сравнение характеристик ВС, использование этого коэффициента обязательно. В противном случае его исключение приводит к необъективности проведения вычислений и дает существенную погрешность в расчетах. Таким образом, поисковое усилие будет определяться по формуле:

$$Z = V \times T_{\text{макс}} \times W \times K$$

## Литература:

1. Об утверждении Руководства по поисковому и аварийно-спасательному обеспечению полетов гражданской авиации СССР (РПАСОП ГА-91): Приказ Министерства гражданской авиации СССР от 28.03.91 №65.
2. Руководство по международному морскому и авиационному поиску и спасанию (МАМПС). Ч. 2. Координация действий: ИМО/ИКАО, Лондон/Монреаль, 2010. — 478 с.

Характеристики, определяющие эффективность поисковых ВС, приведены в табл. 1.

Предположим, что необходимо произвести поиск ВС массой 5000 кг, с высоты 600 м, на равнинном участке с растительностью в 30%, при скорости ветра 15 км/ч и видимостью 20 км (Данные указаны только для определения поправочных коэффициентов с целью унификации характеристик).

Из таблицы мы видим, что Ми-8МТВ-5 является наиболее приемлемым поисковым средством в случае проведения визуального поиска, а Ми-38 в случае использования поисковой аппаратуры.

Таким образом мы структурировали поисковые характеристики ВС и выяснили, что в расчете при проведении визуального поиска также необходимо применять коэффициент учитывающий величину перекрытия соседних полос обследования (K), и расширили понятие возможной продолжительности поиска с учетом движения до района поиска.

Представленные формулы не являются исчерпывающими и не могут консолидировать в себе весь процесс поисково-спасательных работ. Для этого должны быть учтены множество других показателей, таких как надежность, экономическая целесообразность, полезная нагрузка, специальные возможности и т.д. Тем не менее настоящие результаты наглядно представляют необходимые параметры ВС на этапе поиска. Проведение дальнейших исследований в этой области на всех этапах ПСО позволит облегчить процесс определения возможностей перспективного технического средства путем наглядного отражения значений поисково-спасательных характеристик.

3. Попов, В. А. Тяжесть авиапроисшествий зависит от спасателей/В. А. Попов // Авиапанорама: международный авиационно-космический журнал. — М.: Изд. дом ООО «Высокие технологии и инновации», 2012. — №92. — с. 14–19.

## Радиолокационный мониторинг судопотока на основе анализа конфигураций зоны навигационной безопасности

Тюфанова Анастасия Александровна, кандидат технических наук, старший преподаватель  
Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова (г. Новороссийск)

*В статье сделан вывод о том, что для математического обеспечения радиолокационного мониторинга судопотока, осуществляемого путем контроля образуемой вокруг отметки эхо-сигнала судна зоны навигационной безопасности, необходимо введение нового понятия — двухточечная навигация, которая позволяет воспринимать судно не как точку, а как объект конечных размеров, и управлять этим объектом, исходя из задачи безопасности мореплавания.*

**Ключевые слова:** мониторинг, судопоток, зона навигационной безопасности.

## Radar monitoring of traffic flow based on the analysis of configurations area navigation safety

Tyufanova A.A.  
Admiral Ushakov Maritime State University (Novorossiysk)

*The article concluded that for mathematical software radar monitoring the traffic flow, carried out by monitoring the mark formed around the echo ship navigation safety zone, must be the introduction of a new concept — a two-point navigation, which allows you to take the ship is not as a point, but as an object of finite size and manage the object, based on the problem of safety of navigation.*

**Keywords:** monitoring, traffic flow, navigation safety zone.

Стремительно растущие в последние годы судопотоки в российских портах требуют более внимательного отношения к обеспечению безопасности судоходства. Основным техническим средством, позволяющим обеспечить высокий уровень безопасности мореплавания судов на подходах к портам и в узкостях, является система управления движением судов. Датчиками информации о местонахождении судов и параметрах их движения служат береговые радиолокационные станции (БРЛС), следующие в своем развитии по пути повышения степени функциональной интеграции, что достигается увеличением числа ячеек, выполняющих логические функции или функции хранения информации.

Постоянное наблюдение за судопотоком с целью повышения уровня безопасности мореплавания, достигаемое путем:

- определения навигационных параметров движения и целостности корпуса судна,
- оценки состояния перевозимого груза и его идентификация с целью обнаружения наркотических средств, оружия и взрывчатых веществ,

- выявления аварийных участков морских путей,
- оценки состояния портовых сооружений порта, без изменения его технических характеристик и режима работы,
- определения целостности берегов каналов,
- определения динамики загрязнённости по выбранным параметрам для контроля экологической обстановки в районе действия системы управления движением судов, — называется радиолокационным мониторингом судопотока.

Таким образом, выбор критерия безопасности плавания является важнейшим фактором при разработке методологических и практических проблем управления движением судов. Однако эта проблема носит более широкий характер: плавание в составе судопотока, маневрирование при расхождении в условиях пониженной видимости, переходы в стесненных районах при ограниченных глубинах, проводка судов в районах действия СУДС — вот далеко не полный перечень ситуаций, когда судоводитель вынужден решать проблему выбора критерия безопасности. Иногда это делается неявно, нецеленаправленно, скажем,



на уровне некоторого психологического барьера (например, насколько близко судоводитель «позволит себе» подойти к корме впереди идущего судна в ситуации начала обгона), а в некоторых случаях этот вопрос решается на основе жестко детерминированных количественных зависимостей. Например, в 90% посадок на мель первопричина аварии заключается в необоснованной прокладке курса в непосредственной близости от опасности, что напрямую связано с неверным выбором расстояния до опасности, в данном случае играющего роль своеобразного критерия безопасности плавания [1, с. 150].

В [2, с. 40] дается определение судопотока, под которым понимается совокупность или множество судов, движущихся на определенном участке водного пути в одном направлении. Как видно, это определение достаточно широко, имеет чисто описательный характер и не включает в себя ни одного количественного критерия.

Кроме того, в некоторых источниках указано, что транспортный поток как самостоятельная система характеризуется тремя основными свойствами: неопределенностью, конечностью и зависимостью расстояния от времени [3, с. 32]. В полной мере этими свойствами обладает и судопоток, что позволяет использовать для его изучения некоторые методы классической теории транспортных потоков.

Основными характеристиками судопотока являются интенсивность, плотность, средняя скорость, закон распределения и распределение по ширине водного пути.

Фактическая напряженность движения судов определяется двумя параметрами судопотока — интенсивностью и плотностью. Под интенсивностью понимается количество судов, прошедших в единицу времени через какой-либо наиболее узкий участок водного пути, а плотность характеризуется количеством судов, приходящихся на единицу длины (или площади) водного пути. Как видно, при этом не учитывается такое важное качество судопотока, как неоднородность составляющих его судов, что исключает возможность объективной оценки, и сопоставления интенсивности движения в различные промежутки времени или в различных портах. Это можно поправить двумя путями. Первый предложен С.Г. Погосовым [4, с. 53] и заключается в том, что вводится понятие среднего или стандартного судна. Тогда интенсивность можно выразить в «стандартных единицах», т.е. количеством прошедших в единицу времени судов, приведенных к длине «стандартного судна».

Второй путь создания возможности сравнения различных судопотоков предложен в работе [5, с. 15] и заключается в том, что интенсивность судопотока можно

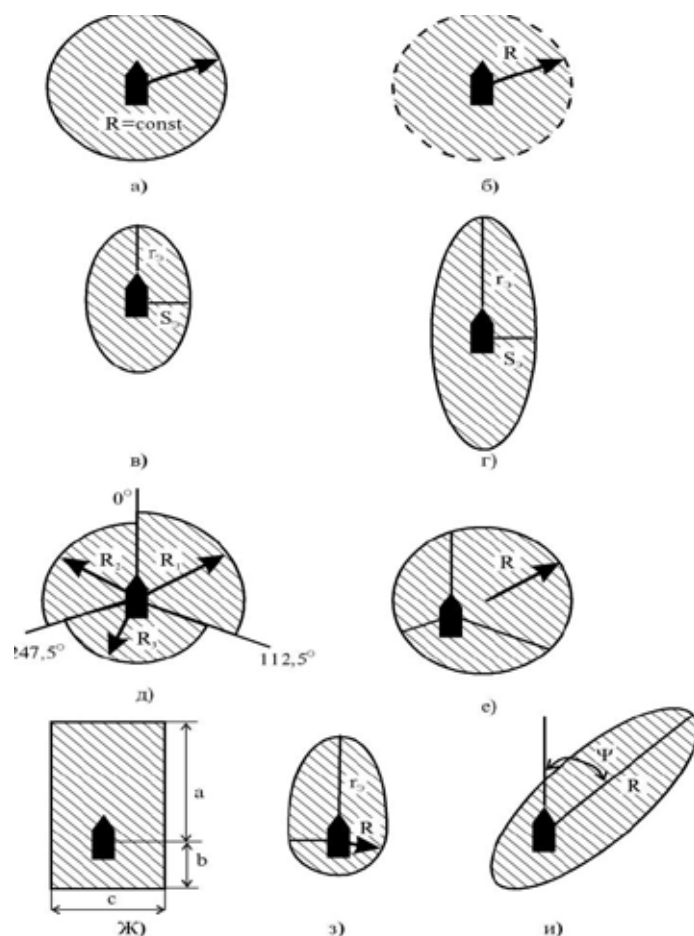


Рис. 1. Возможные варианты зоны навигационной безопасности

представить в виде суммарной длины судов, проходящих в единицу времени через наиболее узкий участок водного пути, а плотность — в виде суммарной длины судов, проходящихся на единицу длины (или площади) водного пути. Тогда интенсивность можно измерять в единицах скорости, а плотность будет безразмерной величиной. Такое предположение основывается на том, что «зона навигационной безопасности» (ЗНБ), размеры которой, определяющие степень безопасности, как отдельного судна, так и водного пути в целом, зависят от тормозного пути, который в свою очередь статистически зависит от скорости и длины судна. Под зоной навигационной безопасности понимаем водное пространство вокруг собственного судна, ограниченное линией, представляющей собой геометрическое место точек, находясь в которых другое судно или другой объект представляет для собственного судна одну и ту же опасность. Возможные варианты зоны навигационной безопасности представлены на рисунке 1.

Для объяснения факта существования ЗНБ различные авторы использовали модель взаимодействия одинаково заряженных электрически частиц, при сближении которых возникают силы отталкивания. Они предположили, что по аналогии вокруг каждого судна существует поле потенциала опасности, которое вызывает воображаемые силы отталкивания по отношению к приближаю-

щимся судам. Предложено ЗНБ определять границей минимально возможного безопасного сближения, которая рассчитывается на основании статистических данных о распределении точек кратчайшего сближения вокруг собственного судна, которые были получены на основе анализа нескольких сотен тысяч фотографий экрана судовой или БРЛС [1, с. 161].

Таким образом, математическое обеспечение радиолокационного мониторинга судопотока, осуществляемого путем контроля образуемой вокруг отметки эхо-сигнала судна зоны навигационной безопасности, должно учитывать и реализовывать правила движения судов, использовать такие алгоритмы обработки радиолокационной информации, которые, максимально разгружая оператора СУДС от второстепенных расчетов и действий, в то же время своевременно информировали бы его о назревании опасной ситуации с указанием судов, которым грозит опасность, степени опасности элементов движения и сближения этих судов. Поэтому, необходимо введение нового понятия — двухточечная навигация, которая позволяет воспринимать судно не как точку, а как объект конечных размеров, и управлять этим объектом, исходя из задачи безопасности мореплавания. Это даст возможность в будущем идентифицировать параметры модели управляемости судна, не применяя никаких дополнительных судовых датчиков.

#### Литература:

1. Лентарев, А. А. Развитие средств и методов управления движением судов: Диссертация...доктора технических наук, Владивосток, 2002. — с. 398.
2. Жерлаков, А. В. Радиолокационные системы предупреждения столкновений судов/А. В. Жерлаков. — Л.: Судостроение, 1994. — с. 199.
3. Лентарев, А. А. Морские районы систем обеспечения безопасности мореплавания/А. А. Лентарев — Владивосток.: Изд-во ГМУ им. адм. Г. И. Невельского, 2004. — с. 120.
4. Погосов, С. Г. Безопасность плавания в портовых водах/С. Г. Погосов. — М.: Транспорт, 1987. — с. 136.
5. Срубас, А. Для предотвращения аварий необходимо наблюдение за судами [Текст]//Морской флот. 1997. №8. — с. 15–16.

## Обоснование выбора гидравлического привода для стенда проверки рулевого привода легковых автомобилей

Чабанный Александр Анатольевич, соискатель

Азово-Черноморский инженерный институт Донского государственного аграрного университета (г. Зерноград)

Сравнительно широкое использование гидропривода (около 30% в робототехнике) [6] обусловлено рядом достоинств: — высокое быстродействие; — бесступенчатость регулирования скорости выходного звена; — большой коэффициент усиления по мощности (более 1000), высокий коэффициент полезного действия при различных способах регулирования; — малая относительная масса гидромашин; — отсутствие дополнительных кинематических цепей между выходным звеном привода и рабочим органом. — К основным недостаткам гидравлических приводов следует отнести:

- использование в качестве рабочего тела жидкости требует создания специальных насосных установок, что резко увеличивает массу конструкции;
- ресурс рабочей жидкости ограничен, что приводит к частой смене всего объема жидкости, который в насосной установке достигает значительной величины. Это приводит к увеличению стоимости обслуживания;
- стоимость элементов данного привода выше, чем элементов пневматического и электрического приводов.

Характерные условия эксплуатации стенда:

- приводные узлы стенда монтируются в боковых стенках осмотровой канавы в ограниченном пространстве;
- требуется точное позиционирование;
- применение электропривода в условиях осмотровой канавы недопустимо.

В этих условиях наиболее эффективно применение гидравлического привода. [8]

В отечественной и зарубежной промышленности при небольших частотах вращения выходного звена нашли применение поршневые гидродвигатели с передаточными механизмами, преобразующими поступательное движение штока во вращательные выходного звена, следующих типов: реечными, рычажными, винтовыми и цепными. [6]

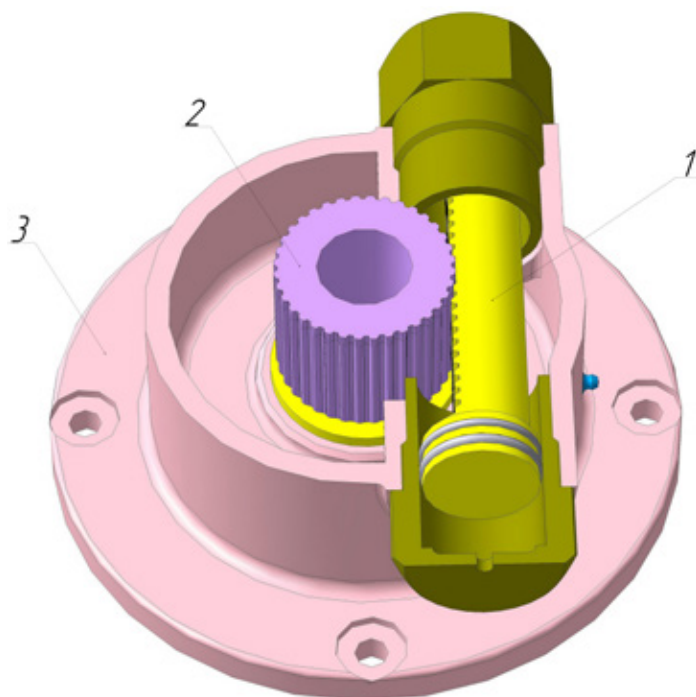


Рис. 1. Поворотный гидродвигатель

На рисунке 1 представлена конструкция поворотного гидродвигателя типа ГДП, который состоит из 2 гидроцилиндров с рейкой 1 на штоке, находящейся в зацеплении с зубчатым колесом 2, установленным в блоке 3. Вращение колеса 2 осуществляется при подаче рабочей жидкости в поршневые полости. Для увеличения крутящего момента иногда проектируют привод со двоянным поршневым приводом. [6]

Гидравлический поворотный двигатель (привод) состоит из двух основных узлов: реечной передачи и гидроцилиндра, (рис. 1).

При расчете принимаем:

Номинальное давление рабочей жидкости в гидросети, МПа	6,0...8,0;
Расчетный крутящий момент при номинальном давлении, Нм	220;
Частота вращения выходного вала, мин <sup>-1</sup> .	0,5...2,0;
Угол поворота выходного вала, град.	±50.

Расчитываемая передача относится к реечному зацеплению, выполненному в виде самостоятельного агрегата, поэтому основные ее параметры должны соответствовать ГОСТ 2185–66. [1]

Расчет на прочность зубьев открытой реечной передачи производим на изгиб и контактную прочность. Основным расчетом зубьев этих передач является расчет их на изгиб с последующей проверкой на контактную прочность. При проектном расчете на изгиб зубьев открытых передач определяют требуемую величину модуля. Так как передаточное отношение  $i=1$ , материал зубьев шестерни и рейки примем одинаковый, и расчет достаточно выполнить для зубьев шестерни. [4]

Для изготовления зубчатого колеса и рейки принимаем сталь 35Х с закалкой и отпуском в масле; механические свойства этой стали (ГОСТ 4543–71): предел прочности при растяжении  $\sigma_B = 93 \text{ кгс/мм}^2 = 93 \cdot 10^7 \text{ Па}$ , предел текучести  $\sigma_m = 75 \text{ кгс/мм}^2 = 735 \cdot 10^6 \text{ Па}$ , твердость  $HB = 200$ . [7]

Допускаемое контактное напряжение для зубьев колеса:  $[\sigma_k] = 26 \cdot HB = 26 \cdot 200 = 5200 \text{ кгс/мм}^2 = 52 \cdot 10^7 \text{ Па}$ .

Допускаемое напряжение на изгиб  $[\sigma_u]$  для зубьев длительно работающих передач с постоянным режимом нагрузки и при работе зубьев двумя сторонами (напряжения изменяются по симметричному циклу) определяется по формуле:

$$[\sigma_u] = \frac{(1,4 \dots 1,6) \cdot \sigma_{-1}}{[n] \cdot k_\sigma}, \text{ Па}, \quad (1)$$

где  $\sigma_{-1}$  — предел выносливости материала зубьев при симметричном цикле изгиба, Па;

$[n]$  — допускаемый коэффициент запаса прочности, зависящий от материала колес, вида заготовки и термообработки;

$k_\sigma$  — эффективный коэффициент концентрации напряжений у корня зуба.

Примем допускаемый коэффициент запаса прочности  $[n] = 1,5$  [2] и коэффициент концентрации напряжений у корня зуба для стальных нормализованных или улучшенных зубчатых колес  $k_\sigma = 1,8$  [7].

Предел выносливости материала зубьев  $\sigma_{-1}$  определяем по формуле:

$$\sigma_{-1} = 0,43 \cdot \sigma_B; \quad (2)$$

$$\sigma_{-1} = 0,43 \cdot 93 \cdot 10^7 = 40 \cdot 10^7 \text{ Па}.$$

$$[\sigma_u] = \frac{1,5 \cdot 40 \cdot 10^7}{1,5 \cdot 1,8} = 22,2 \cdot 10^7 \text{ Па}.$$

Для зубьев рассчитываемой передачи предусматриваем стандартное эвольвентное зацепление.

Определяем модуль зубьев шестерни по формуле:

$$m \geq \sqrt{\frac{2k_k k_d M}{z Y \psi_m [\sigma]_m}}, \text{ м}, \quad (3)$$

где  $m$  — модуль зубчатого колеса;

$Y = 0,517$  — коэффициент формы зуба. При  $Z = 35$  и коэффициенте смещения исходного контура  $x = 0$  [4];

$K_k = 1,0$  — коэффициент концентрации нагрузки, учитывающий неравномерное распределение нагрузки по длине зубьев [2];

$K_d = 1,2$  — коэффициент динамической нагрузки. При степени точности передачи 7 и окружной скорости от 1 до 3 м/сек. [2];

$M$  — момент на валу шестерни;

$\psi_m = 20$  — коэффициент ширины венца зуба по модулю [2];

$z$  — число зубьев шестерни. Из конструктивных соображений принимаем  $z = 35$ .

$[\sigma_u]$  — допускаемое напряжение изгиба материала шестерни, для стали 40Х с термообработкой закалка в масле и твердости 48 HRC  $[\sigma_u] = 320 \text{ МПа}$  [2].

$$M = P \cdot K = 3700 \cdot 60 \cdot 10^{-3} = 220 \text{ Н*м}$$

$$m \geq \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 220}{35 \cdot 0,517 \cdot 20 \cdot 222 \cdot 10^6}} = 0,00187 \text{ м} = 1,87 \text{ мм}.$$

В соответствии с ГОСТ 9563–60 принимаем  $m = 2,0$  [4].

Проверочный расчет на контактную прочность зубьев шестерни.

Условия контактной прочности зубьев:

$$\sigma_k \leq \sigma_{np}, \quad (4)$$

где  $\sigma_{np}$  — допускаемое контактное напряжение.

$$\sigma_{np} = 1,65RC + 13,5 = 1,65 \cdot 48 + 13,5 = 927 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{np} = 0,418 \sqrt{\frac{\omega_o E}{\rho_{np}}}, \text{ Па}, \quad (5)$$

где  $\rho_{np}$  — приведенный радиус кривизны,  $\rho_{np} = 0,5$ ;

$\omega_o$  — удельная расчетная нормальная сила;

$\alpha = 20^\circ$  - угол зацепления.

$$\rho_{np} = 0,5 \cdot 10 \cdot 0,342 = 1,71$$

$$\omega_\alpha = \frac{\omega}{\cos \alpha}, \quad (6)$$

где  $\omega_\alpha$  — удельная расчетная нормальная сила;

$\omega$  — удельная расчетная окружная сила.

$$\omega = \frac{F}{b} \cdot k, \quad (7)$$

где  $k$  — коэффициент неравномерности распределения нагрузки  $k = 1,5$ ;

$b$  — ширина зубчатого венца  $b = 20$  мм;

$F$  — окружная сила, действующая на зуб шестерни.

$$\text{Г. к. } P \cdot R = F \left( \frac{d}{2} \right), \quad (8)$$

$$\text{то } F = \frac{2PR}{d} = \frac{2M}{d} = \frac{2 \cdot 220}{0,07} = 6,29 \text{ кН},$$

$$\omega = \frac{45}{20} \cdot 1,5 = 3,375,$$

$$\omega_\alpha = \frac{3,375}{0,94} = 3,59 \cdot 10^4 \text{ } \dot{I} / \dot{i},$$

$$\sigma_n = 0,418 \sqrt{\frac{6,29 \cdot 2 \cdot 15 \cdot 10^4}{1,71}} = 439,1 \text{ МПа} \leq 927 \text{ МПа}.$$

Таким образом, прочность реечного зацепления по контактным напряжениям обеспечена.

*Определение параметров шестерни.*

Определяем размеры зубьев шестерни.

В соответствии с ГОСТ 13755–68 принимаем коэффициент высоты головок зубьев  $h_a^* = 1$  и коэффициент радиального зазора  $c^* = 0,25$ . [7]

Высота головок зубьев определяется по формуле:

$$h_a = h_a^* \cdot m, \text{ мм}, \quad (9)$$

высота ножек зубьев — по формуле:

$$h_f = (h_a^* + c^*) \cdot m, \text{ мм}, \quad (10)$$

высота зубьев:  $h = h_a + h_f$ , мм

$$h_a = 1 \cdot 2 = 2 \text{ мм};$$

$$h_f = (1 + 0,25) \cdot 2 = 2,5 \text{ мм}.$$

Высота зубьев:  $h = 2 + 2,5 = 4,5 \text{ мм}$ .

Определяем для шестерни делительный диаметр  $d_d$ , диаметр вершин  $d_a$  и диаметр впадин  $d_f$ :

$$d_d = z \cdot m = 35 \cdot 2,0 = 70 \text{ мм}; \quad (12)$$

$$d_a = d_d + 2 \cdot h_a = 70 + 2 \cdot 2,0 = 74 \text{ мм}; \quad (13)$$

$$d_f = d_d - 2h_f = 70 - 2 \cdot 2,5 = 65 \text{ мм}. \quad (14)$$

Расчетный диаметр гидроцилиндра определяется по формуле:

$$D_n = 1,13 \sqrt{\frac{P}{P_m \cdot (1 - k_{mp})}}, \text{ м}, \quad (15)$$

где  $P$  — окружное усилие на делительном диаметре шестерни реечного зацепления,  $P = 3700\text{Н}$ ;

$P_m$  — давление в магистрали или на выходе редукционного клапана;

$P_m = 6,0 - 8,0 \text{ МПа}$ ;

$k_{mp}$  — коэффициент, учитывающий потери на трение в цилиндре. Ориентировочные значения  $k_{mp}$  при уплотнении манжетами по ГОСТ 6678–72 и магистральном давлении 6,0–8,0 МПа,  $k_{mp} = 0,05 \div 0,2$  в зависимости от обеспечения смазкой. Принимаем  $k_{mp} = 0,15$ . [3]

$$D_n = 1,13 \sqrt{\frac{3700}{6 \cdot (1 - 0,15)}} = 30,4 \text{ мм}.$$

Расчетное значение диаметра поршня округляется до ближайшего по ГОСТ 6540–68 значения. Рекомендуется округлять в большую сторону, однако, если расчетный диаметр поршня отличается от стандартного не более чем на 5 %, то можно принимать меньшее значение. Поэтому принимаем следующее значение диаметра поршня,  $D_n = 50 \text{ мм}$ . [3]

Ход поршня определяется требуемым перемещением рабочего органа. По принятым условиям угол поворота выходного вала 100 град., следовательно, шестерня привода должна совершить 0,27 оборота. Тогда минимальный ход поршня  $h$  должен быть  $h \geq d_d \cdot \pi \frac{100}{360} = 61 \text{ мм}$ . Принимаем ход поршня  $h = 63 \text{ мм}$ .

Максимальное значение хода гидроцилиндров двухстороннего действия рекомендуется ограничивать 8–10 диаметрами поршня. При ходе превышающем десять диаметров поршня необходимо рассчитывать шток на устойчивость. Проверим это условие:

$$\frac{h}{D_n} = \frac{63}{50} = 1,3 < 8. \text{ Устойчивость штока обеспечена.}$$

По ГОСТ 6540–64 при диаметре поршня  $D = 50 \text{ мм}$  шток имеет диаметр  $D_{ш} = 28 \text{ мм}$ . Так как на части штока нарезаются зубья, образуя рейку, из конструктивных соображений принимаем  $D_{ш} = 45 \text{ мм}$ . Конструкция оригинального цилиндра приведена на рисунке 3.4. В этой конструкции могут быть использованы нормализованные детали гидроцилиндра по ГОСТ 6540–64, кроме оригинального штока. [3]

Для комплектования принимаем гидроцилиндр ЦРГ 31–50х28–200 [3] со следующей характеристикой:

- давление, МПа: номинальное — 16; максимальное — 20;
- коэффициент полезного действия (механический) — 0,96;
- диаметр поршня, мм — 50;
- диаметр штока, мм — 40;
- ход поршня, мм — 200.

Минимально допустимая толщина стенки гидроцилиндра определяется по формуле:

$$t_u \geq \frac{D_n}{2} \cdot \left( \sqrt{\frac{[\sigma_p] + P_z \cdot (1 - 2 \cdot \mu)}{[\sigma_p] - P_z \cdot (1 + 2 \cdot \mu)}} - 1 \right), \text{ м} \quad (16)$$

где  $[\sigma_p]$  — допускаемое напряжение на растяжение, Па.

Для стали 20Х  $[\sigma_p] = 115 \cdot 10^6 \text{ Па}$ ; [2]

$\mu$  — коэффициент Пуассона, для стали  $\mu = 0,26$ . [2]

$$t_u \geq \frac{0,050}{2} \cdot \left( \sqrt{\frac{115 \cdot 10^6 + 6 \cdot 10^6 \cdot (1 - 2 \cdot 0,26)}{115 \cdot 10^6 - 6 \cdot 10^6 \cdot (1 + 2 \cdot 0,26)}} - 1 \right) = 0,003 \text{ м}$$

Принимаем конструктивно  $t_u = 0,005 \text{ м} = 5 \text{ мм}$ .

Толщина плоского доньшка гидроцилиндра определяется по формуле:

$$t_{\partial} \geq 0,405 \cdot D_n \cdot \sqrt{\frac{P_e}{[\sigma_p]}}, \text{ м} \quad (17)$$

$$t_{\partial} = 0,405 \cdot 0,050 \cdot \sqrt{\frac{6 \cdot 10^6}{115 \cdot 10^6}} = 0,0046 \text{ м}$$

Принимаем толщину дна гидроцилиндра  $t_{\partial} = 5 \text{ мм}$ .

Рассчитанные параметры соответствуют выбранному ранее гидроцилиндру ЦРГ 31–50x28–200.

Органолептическая проверка люфтов в шарнирных соединениях рулевого привода и реактивных тяг требует приложения знакопеременных сил к деталям рулевого привода. Эти силы могут быть созданы путем колебаний опорной поворотной площадки стенда вокруг ее вертикальной оси с амплитудой  $2\text{--}5^\circ$ .

Существующий механический привод, например, кривошипно-шатунный, преобразует вращательное движение в возвратно-поступательное или колебательное по синусоидальному закону изменения скорости, что не позволяет создавать ударные нагрузки, при которых наиболее эффективно проявляются люфты в шарнирных соединениях.

Рациональный привод поворотной площадки стенда должен удовлетворять следующим требованиям:

- закон изменения скорости должен быть трапециевидным;
- частота колебаний должна быть регулируемой и изменяться бесступенчато;
- безотказный пуск и надежная работа как под нагрузкой, так и в режиме холостого хода;
- привод должен иметь минимальные габариты и металлоемкость.

Выполнение сформулированных требований в наибольшей мере обеспечивается гидравлическим объемным приводом.

Отечественной промышленностью разработан и освоен выпуск гидроприводов с возвратно-поступательным движением (ГДВПД), которые преобразуют энергию гидравлического потока жидкости непосредственно в возвратно-поступательное движение исполнительного органа. Характерной особенностью этих приводов является трапециевидное распределение скорости перемещения. Это гидродвигатели:

- ДГ-30 с рабочим ходом 30 мм,
- ДГ-50 с рабочим ходом 50 мм,
- ДГ-76 с рабочим ходом 76 мм,
- ДГ-90 с рабочим ходом 90 мм.

Приняв конструктивно радиус приложения возмущающей силы  $R = 150 \text{ мм}$  и амплитуду колебаний  $3^\circ$ , выбираем гидродвигатель ДГ-30 с рабочим ходом 30 мм.

Технические данные гидродвигателя ДГ-30:

- диаметр поршня, мм — 32;
- диаметр штока, мм — 20;
- усилие на штоке при номинальном давлении  $100 \text{ кг/см}^2 - 539$ ;
- расход рабочей жидкости,  $\text{см}^3/\text{цикл}$  — 29,4;
- рабочий ход, мм — 30;
- гидромеханический КПД — 0,85;
- масса, кг — 11.

Гидродвигатель разработан по инициативе ВНИИВиВ г. Новочеркаска и применяется на машине ЧВЛ-1 для чеканки виноградной лозы в шпалерах. [6]

Гидравлическая схема управления приводами приведена на рисунке 2.

Гидравлическая система стенда заблокирована с гидравлической системой канавного подъемника мод. П201М с целью использования насосной станции подъемника.

На рисунке 3 выполнен чертеж общего вида стенда для проверки рулевого привода автомобилей.

Опираясь на стандарты ЕСКД [9], с использованием графических редакторов на персональных ЭВМ [5] выполнено геометрическое моделирование чертежей деталей и сборочных единиц конструкторской разработки.

С помощью программного обеспечения КОМПАС — 3D V12 [5] была создана трехмерная твердотельная модель привода стенда, представленная на рисунке 4.

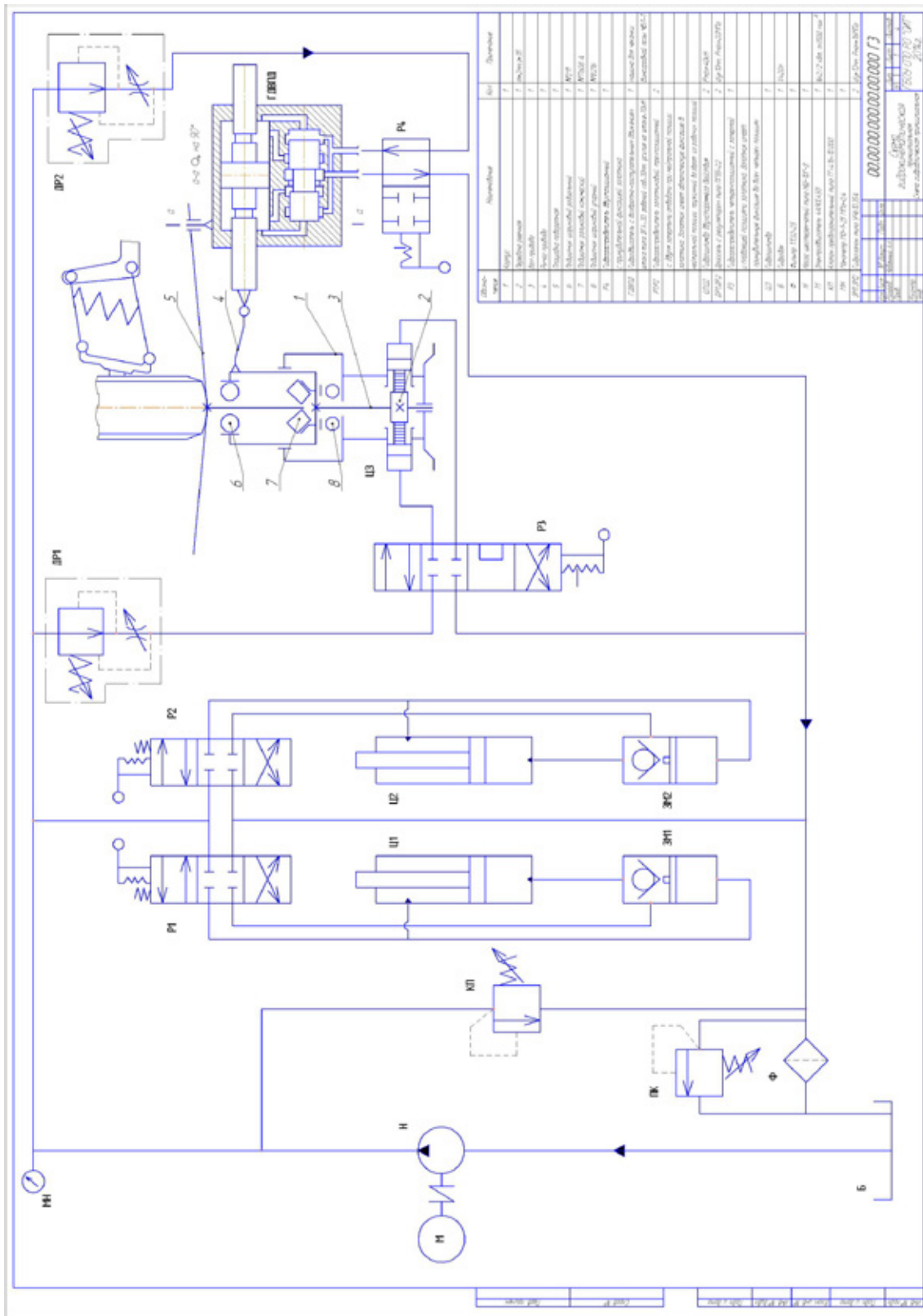


Рис. 2. Гидравлическая схема управления приводами



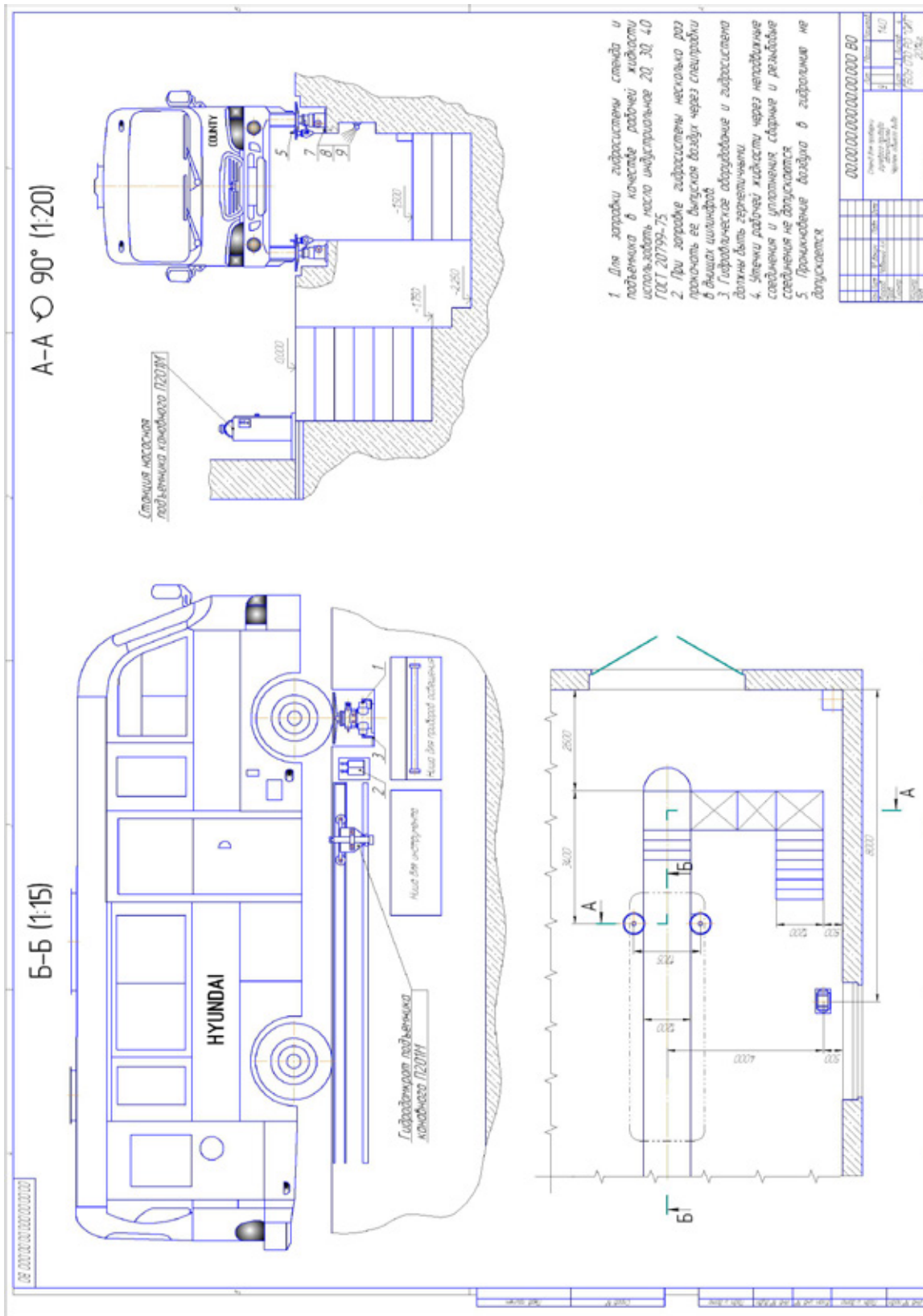


Рис. 3. Чертеж общего вида стенда для проверки рулевого привода автомобилей

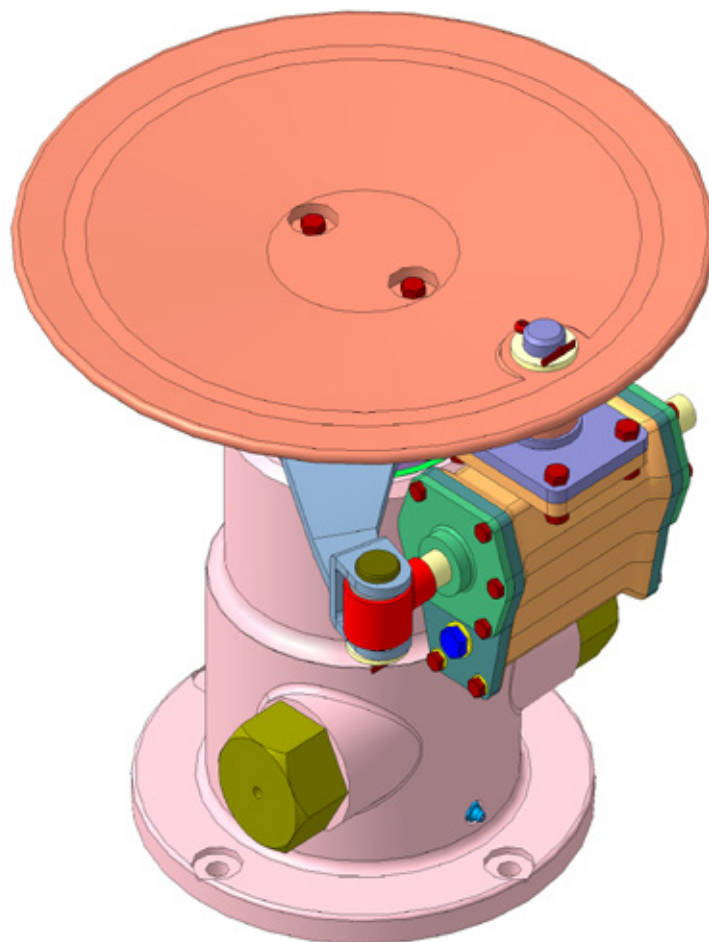


Рис. 4. Трехмерная твердотельная модель привода стенда для проверки рулевого управления автомобилей

#### Литература:

1. Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя/В.И. Анурьев. — 6-е изд. — Москва: Машиностроение, 2001. — Т. 1. — 728 с.
2. Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя/В.И. Анурьев. — 6-е изд. — Москва: Машиностроение, 2001. — Т. 2. — 584 с.
3. Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя/В.И. Анурьев. — 6-е изд. — Москва: Машиностроение, 2001. — Т. 3. — 576 с.
4. Курсовое проектирование деталей машин: учебное пособие/С.А. Чернавский, К.Н. Боков, И.М. Чернин, Г.М. Ицкович, В.П. Козинцов. — 3-е изд, стереотипное. Перепечатка с издания 1987 г. — Москва: ООО ТИД «Альянс», 2005. — 416 с.
5. Компас-3D. Проектирование и расчет механических систем/Е. М. Кудрявцев. — Москва: ДМК пресс, 2008. — 400 с.
6. Ловкис, З.В. Гидроприводы сельскохозяйственной техники: конструкция и расчет/З.В. Ловкис. — Москва: Агроромиздат. 1990. — 239 с.
7. Проектирование механических передач: учебно-справочное пособие для ВТУЗов/С.А. Чернавский, Г.А. Снегарев, Б.С. Козинцов и др. — 6-е изд. перераб. и доп. — Москва: «Альянс», 2008. — 560 с.
8. Филатов, С.К. Методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Основы проектирования и эксплуатации технологического оборудования»/С.К. Филатов, В.Н. Щиров, Д.Н. Безменников. — Зерноград: ФГОУ ВПО АЧГАА, 2008. — 33 с.
9. Яламов, В.Ф. Инженерная графика: учебное пособие/В.Ф. Яламов. — 2-е изд., испр. — Зерноград: АЧГАА, 2001. — 144 с.

## Оценка тормозных свойств грузового автомобиля вагонной и капотной компоновки

Юнусов Айдар Фенисович, аспирант;  
 Попов Константин Сергеевич, аспирант;  
 Никишин Вячеслав Николаевич, доктор технических наук, доцент  
 Казанский (Приволжский) федеральный университет

### 1. Условия моделирования испытаний

Для оценки тормозных свойств автомобилей вагонной и капотной компоновок проводилось моделирование торможения при условиях испытания типа 0 с отключенным двигателем в соответствии с ГОСТ 41.13–99.

Торможение проводилось со скорости 60 км/ч до полной остановки на прямолинейном участке дороги с твердым покрытием с коэффициентом сцепления 0.7.

### 2. Модель тормозной системы

Автомобили вагонной и капотной компоновок оборудованы одинаковой пневматической тормозной системой, схема которой приведена на рис. 1.

В связи с отсутствием данных по алгоритму работы ABS расчет проводился для случая торможения без ABS.

Управляющее воздействие при моделировании торможения задается в виде закона нарастания давления в тормозных камерах первой оси, приведенного на рис. 2.2.

На рис. 2. приняты следующие обозначения:

$p_{oconst}$  – давление, выдерживаемое в процессе торможения;

$t_c$  – время запаздывания срабатывания привода;

$t_H$  – время нарастания давления до  $p_{oconst}$ .

При моделировании были приняты следующие значения параметров закона нарастания давления:

$$p_{oconst} = 0.65 \cdot 10^6 \text{ Па;}$$

$$t_c = 0.3 \text{ с;}$$

$$t_H = 0.25 \text{ с.}$$

Время  $t_c$  учитывает задержку в срабатывании тормозного привода при выборе зазоров между его элементами и отжатии пружин тормозных механизмов и является характеристикой всей тормозной системы, но для удобства

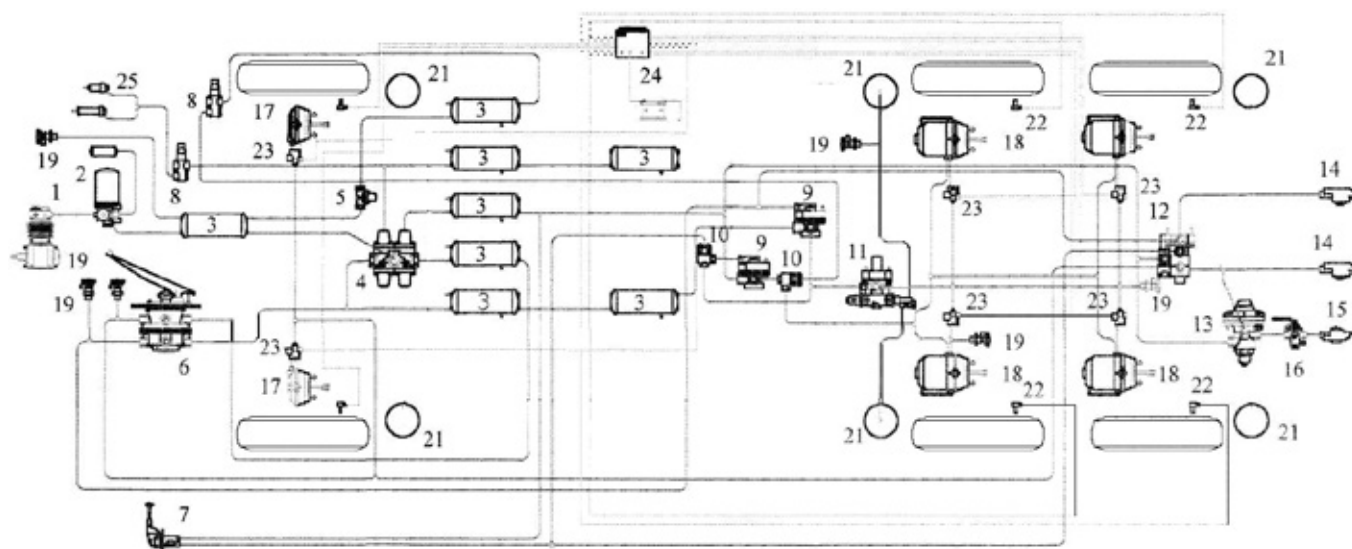


Рис. 1. Схема пневматической тормозной системы автомобиля 6x6 грузоподъемностью 6т: 1 – компрессор; 2 – влагоотделитель; 3 – ресивер; 4 – клапан защитный четырехконтурный; 5 – клапан защитный одинарный; 6 – кран тормозной; 7 – кран ручной тормозной; 8 – кран пневматический; 9 – клапан ускорительный; 10 – клапан двухмагистральный; 11 – регулятор тормозных сил; 12 – клапан управления тормозами прицепа с двухпроводным приводом; 13 – клапан управления тормозами прицепа с однопроводным приводом; 14 – головка соединительная автоматическая; 15 – головка соединительная тип «А»; 16 – кран разобщительный; 17 – камера тормозная тип 20»; 18 – камера тормозная с пружинным энергоаккумулятором тип 20»/24»; 19 – клапан контрольного вывода; 21 – пневмогидравлические элементы подвески; 22 – датчики замедления колеса; 23 – модуляторы ABS; 24 – электронный блок ABS; 25 – цилиндры моторного тормоза-замедлителя; 26 – манометр.

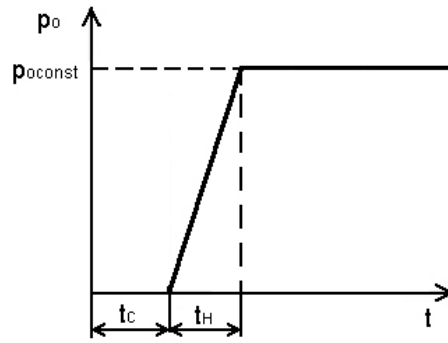


Рис. 2. Закон нарастания давления в тормозных камерах первой оси

моделирования оно учтено в законе нарастания давления в тормозных камерах первой оси в виде начального запаздывания. Его величина принята согласно рекомендациям [3] для пневматических тормозных систем.

Время нарастания давления до постоянной величины принято таким же как и в динамической характеристике тормозной системы автопоезда семейства КамАЗ [3].

В состав тормозной системы входит пневматический регулятор тормозных сил, изменяющий соотношение между давлениями в тормозных камерах передней оси и осей задней тележки. Характеристики регулятора приведены на рис 3.

На графиках характеристик регулятора приняты следующие обозначения:

$p_1, p_2$  — давления в тормозных камерах первой оси и осей задней тележки соответственно;

$p_{41}, p_{42}$  — управляющие давления регулятора тормозных сил пропорциональные давлениям в пневмогидравлических элементах подвески второй оси;

$p_{сн}$  — управляющие давления в снаряженном состоянии;

$p_{полн}$  — управляющие давления при полной загрузке автомобиля.

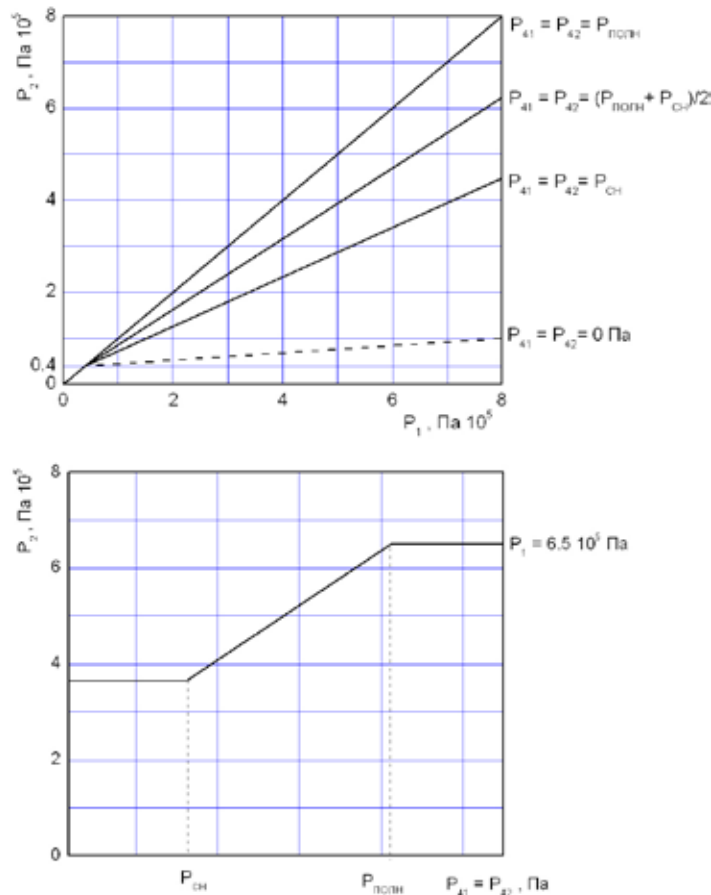


Рис. 3. Характеристики регулятора тормозных сил

Соотношение между давлением в тормозных камерах задних осей и передней оси при полной загрузке автомобиля равно 1, а в снаряженном состоянии — 0.56.

Регулирование начинается после достижения давления в тормозных камерах передней оси величины  $0.4 \times 10^5$  Па.

Тормозные моменты на колесах вычисляются по формулам:

1) на передней оси

$$M_{T1} = k_{T1} \cdot (p_1 - p_{S1}),$$

где  $k_{T1}$  — коэффициент тормозного механизма передней оси;

$p_1$  — давление в тормозной камере передней оси;

$p_{S1}$  — давление, необходимое для отжатия пружины тормозной камеры передней оси.

2) на задних осях

$$M_{T2} = k_{T2} \cdot (p_2 - p_{S2}),$$

где  $k_{T2}$  — коэффициент тормозного механизма задних осей;

$p_2$  — давление в тормозной камере задних осей;

$p_{S2}$  — давление, необходимое для отжатия пружины тормозной камеры задних осей.

### 3. Измеряемые параметры

Перечень параметров, измеряемых в процессе моделирования испытаний, и список датчиков модели, используемых для их регистрации, приведены в таблице 1.

Таблица 1

Датчики модели и измеряемые параметры

Имя датчика модели	Наименование параметра
S	Тормозной путь, s
Vxg_car	Скорость автомобиля, V
Sb. Xg_car	Расстояние, пройденное за время падения скорости на 20 %, $s_b$
Se. Xg_car	Расстояние, пройденное за время падения скорости на 90 %, $s_e$
fi_y_car	Угол продольного крена поддресоренной массы

Таблица 2

Показатели тормозной эффективности автомобилей вагонной и капотной компоновки

Наименование параметра	Капотная компоновка		Вагонная компоновка		ГОСТ 41.13–99 для категории N <sub>3</sub>
	10773*	16473**	10738*	16738**	
Масса автомобиля, кг	10773*	16473**	10738*	16738**	
Среднее предельное замедление $d_m$ , м/с <sup>2</sup>	6.4	5.1	6.5	5.0	5.0
Тормозной путь, м	28.6	34.3	28.3	34.6	36.7

\* — снаряженное состояние с частичной загрузкой, состоящей из массы водителя.  
\*\* — полная масса

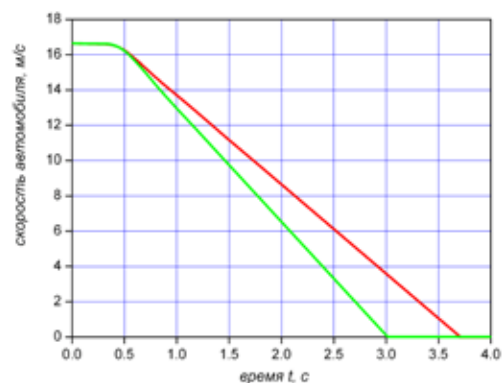
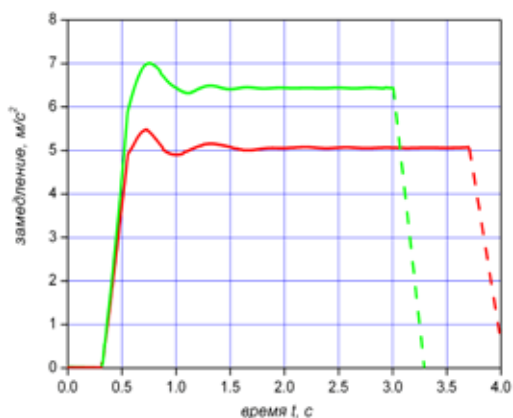


Рис. 4. Тормозные диаграммы автомобиля капотной компоновки, полученные при полной загрузке (красные линии) и в снаряженном состоянии (зеленые линии)

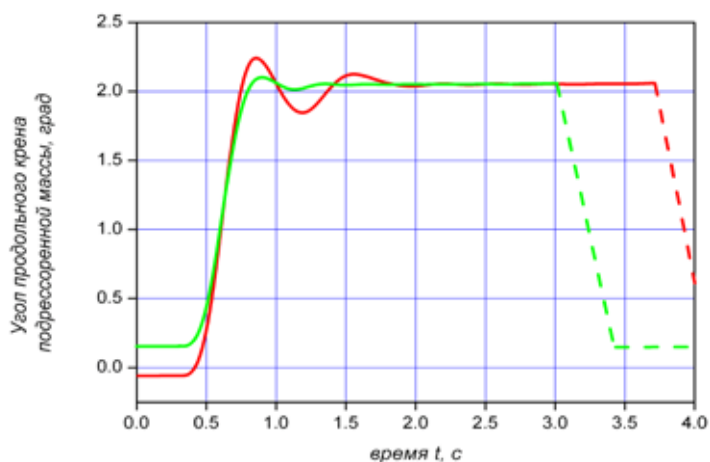
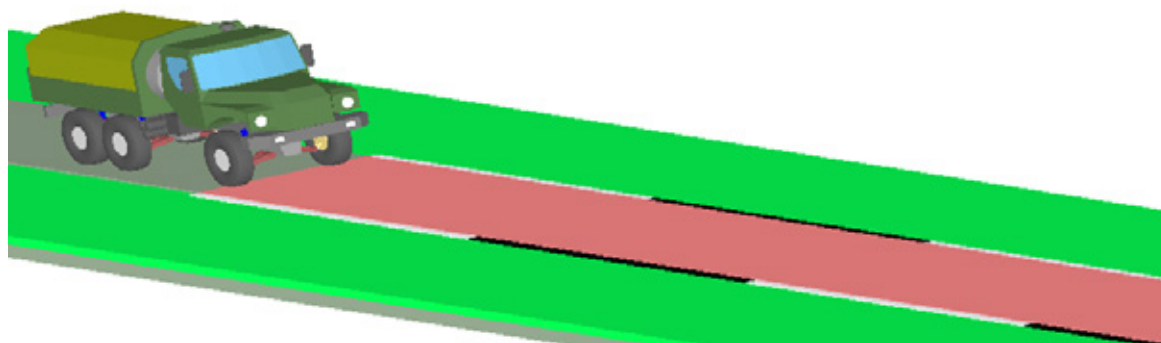


Рис. 5. График изменения угла продольного крена подрессоренной массы автомобиля капотной компоновки при торможении при полной загрузке (красные линии) и в снаряженном состоянии (зеленые линии)



Внешний вид геометрической модели системы автомобиль капотной компоновки – испытательная трасса перед началом расчета торможения на прямолинейном участке дороги.



Положение автомобиля в момент начала торможения.  $t = 0$  с, угол продольного крена подрессоренной массы  $0^\circ$



Положение автомобиля в момент полной остановки.  $t = 3.5$  с, угол продольного крена подрессоренной массы  $2.1^\circ$

Рис. 6. Характерные положения автомобиля капотной компоновки полной массы при торможении на прямолинейном участке дороги

4. Результаты моделирования

Результаты расчета оценочных показателей тормозных свойств автомобилей вагонной и капотной компоновок приведены в таблице 1 и на рис. 3–8.

Среднее предельное замедление определялось по формуле:

$$d_m = \frac{V_b^2 - V_e^2}{25.92 \cdot (s_e - s_b)}$$

где

$V_b$  — 80 % от начальной скорости автомобиля;

$V_e$  — 10 % от начальной скорости автомобиля;

В результате расчета установлено, что показатели тормозной эффективности автомобилей вагонной и капотной компоновок практически одинаковы и соответствуют требованиям ГОСТ 41.13–99.

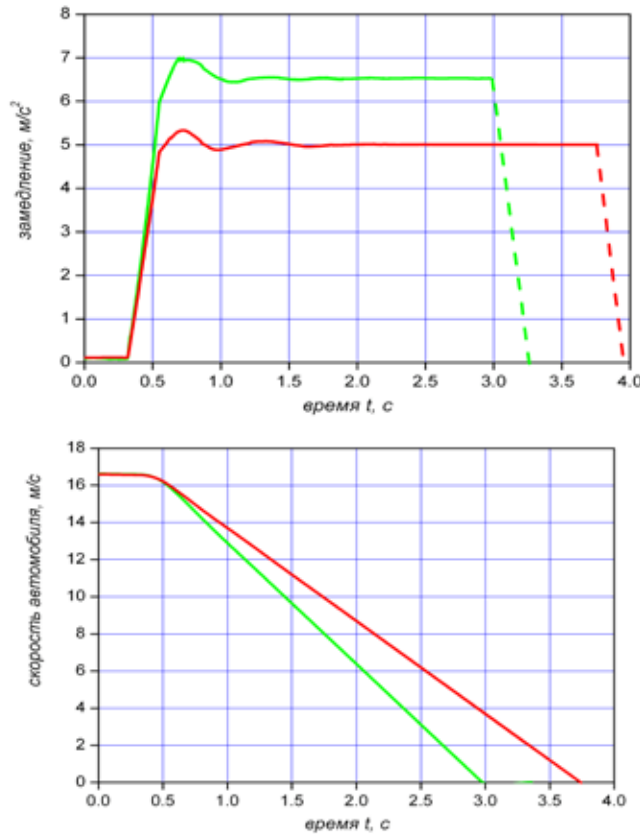


Рис. 7. Тормозные диаграммы автомобиля вагонной компоновки, полученные при полной загрузке (красные линии) и в снаряженном состоянии (зеленые линии)

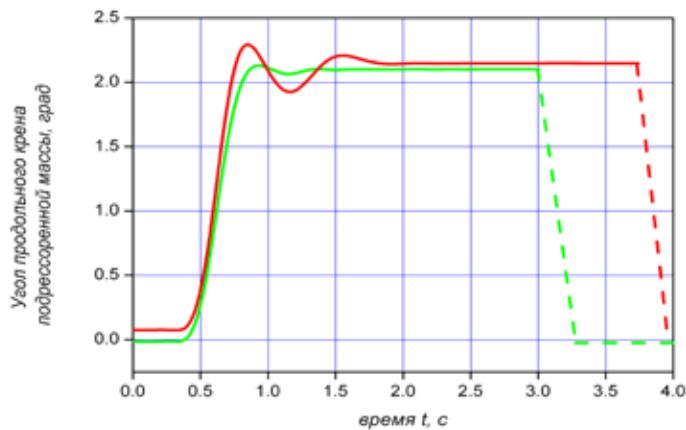
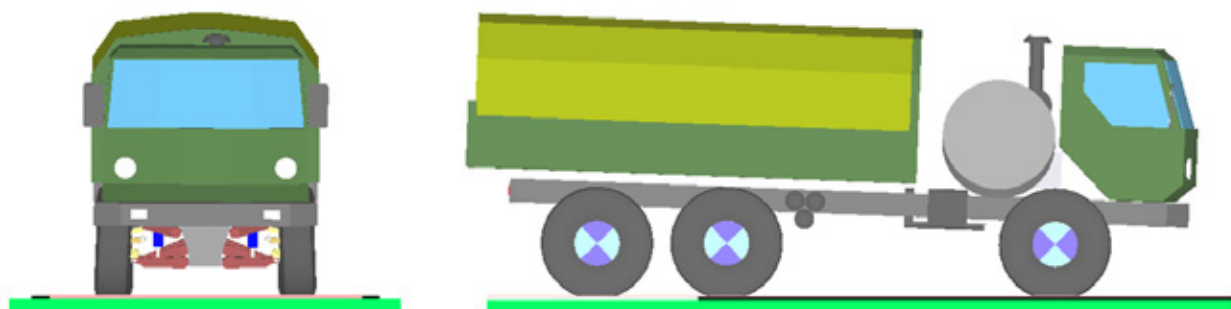


Рис. 8. График изменения угла продольного крена поддрессоренной массы автомобиля вагонной компоновки при торможении при полной загрузке (красные линии) и в снаряженном состоянии (зеленые линии)



Положение автомобиля в момент начала торможения.  $t = 0$  с, угол продольного крена подрессоренной массы  $0^\circ$



Положение автомобиля в момент полной остановки.  $t = 3.5$  с, угол продольного крена подрессоренной массы  $2.2^\circ$

Рис. 9. Характерные положения автомобиля вагонной компоновки полной массы при торможении на прямолинейном участке дороги.

#### Литература:

1. П. В. Гуревич, Р. А. Меламуд «Пневматический тормозной привод автотранспортных средств». Изд «Транспорт» 1988 г.
2. Атоян, К. М., Каминский Я. Н., Старинский А. Д. «Пневматические системы автомобилей», Москва, «Транспорт» 1989 г.
3. Бухарин, А. А. «Тормозные системы автомобилей», Москва, «Машизд», 1950 г.
4. Гуревич, П. В. «Перспективный тормозной привод», Автомобильная промышленность, 1985 г. №2
5. Гуревич, П. В., Меламуд Р. А. «Тормозное управление автомобилем», Москва, «Транспорт», 1978 г.



## 10. АРХИТЕКТУРА

### Применение геоинформационных систем при разработке стратегии развития территории

Морозова Яна Сергеевна, магистрант;

Максимов Николай Эдуардович, студент

Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова

*В статье рассматривается проблема территориального планирования, ее актуальность, цели и методы решения. Большое внимание уделено практическому применению геоинформационных систем при стратегическом планировании территории. Определены цели, задачи геоинформационных систем в данной области, эффективность их использования.*

**Ключевые слова:** геоинформационные системы, территориальное планирование, стратегии развития территорий.

Территориальное планирование — это обеспечение устойчивого развития территории через формирование правовых инструментов реализации полномочий органов государственной власти, обеспечение при осуществлении градостроительной деятельности безопасности и благоприятных условий жизнедеятельности человека, ограничение негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду и обеспечение охраны и рационального использования природных ресурсов в интересах настоящего и будущего поколений [1].

Стратегическое планирование направлено на определение в документах территориального планирования назначения территорий исходя из совокупности социальных, экономических, экологических и иных факторов в целях обеспечения устойчивого развития территорий, развития инженерной, транспортной и социальной инфраструктур, обеспечения учета интересов граждан и их объединений. Территориальное планирование призвано конкретизировать на местности, с «привязкой к территории» прогнозы, программы и планы развития районных народнохозяйственных комплексов, при этом оно существенно их дополняет и обогащает.

Процесс территориального проектирования осуществляется деятельностью государственных органов, юридических и физических лиц по комплексному проектированию территориальных объектов всех уровней — от национального до локального, включая проектирование отдельных объектов в целях рациональной организации территории, эффективного развития производительных сил, решения социальных и экологических задач.

Территориальное планирование направлено на определение функционального назначения территорий города исходя из совокупности социальных, экономических, экологических и иных факторов для следующих целей:

1. Обеспечение устойчивого развития территории;
2. Формирование благоприятной среды жизнедеятельности;
3. Сохранение объектов исторического и культурного наследия для настоящего и будущего поколений;
4. Развитие и модернизация инженерной, транспортной и социальной инфраструктур;
5. Формирование комплексной инфраструктуры населенного пункта, отвечающей его предназначению.

Решение целевой задачи обеспечивается последовательным выполнением следующих разделов:

- сбор исходных данных;
- градостроительный анализ — анализ территориального развития на основе современного использования территории с выделением градостроительной структуры и определением территориальных ресурсов развития;
- проведение комплексной оценки территориальных ресурсов по совокупности природных, техногенных и градостроительных факторов и определение территорий благоприятных и ограниченно благоприятных для определенных видов использования;
- разработка схем планирования развития территории на основе исходных данных, градостроительной структуры и комплексной оценки с определением: планировочной структуры и планировочных градостроительных элементов, линий градостроительного планирования;
- разработка схемы использования территории путем проведения функционального зонирования;
- разработка схем развития транспортной и инженерной инфраструктуры по видам инженерных источников и сетей, зон централизованного, локального и автономного обеспечения.

Стратегия развития территории должна опираться на стратегию социально-экономического развития региона,

региональные программы, утвержденные документы территориального планирования. Соответственно, разработка схем территориального планирования должна обязательно опираться на использование компьютерных технологий.

ГИС — это современная компьютерная технология для картирования и анализа объектов реального мира, также событий, происходящих на нашей планете. Эта технология объединяет традиционные операции работы с базами данных, такими как запрос и статистический анализ, с преимуществами полноценной визуализации и географического (пространственного) анализа, которые предоставляет карта. Эти возможности отличают ГИС от других информационных систем и обеспечивают уникальные возможности для ее применения в широком спектре задач, связанных с анализом и прогнозом явлений и событий окружающего мира, с выделением главных факторов и причин, а также их возможных последствий, с планированием стратегических решений и текущих последствий предпринимаемых действий.

Именно появление ГИС-технологий качественно изменило ситуацию в территориальном планировании: кардинально оптимизировался процесс обработки пространственных данных, их обновления в режиме мониторинга.

Следует отметить, что новый Генеральный план Ижевска, разработка которого началась в 1996 году, был выполнен на основе современных компьютерных технологий (материалы Генерального плана г. Ижевска разрабатывались Научно-производственной фирмой ЭНКО (г. Санкт-Петербург)), позволяющих оперативно получать и отслеживать информацию. Именно Генеральный план Ижевска стал первым генеральным планом страны, выполненным полностью в ГИС-оболочке.

Основными отраслями применения ГИС в области развития территорий являются:

- Управление земельными ресурсами, земельные кадастры;
- Инвентаризация и учет объектов распределенной производственной инфраструктуры и управление ими;
- Тематическое картографирование практически в любых сферах его использования;
- Морская картография и навигация;
- Аэронавигационное картографирование и управления воздушным движением;
- Навигация и управление движением наземного транспорта;
- Дистанционное зондирование;
- Управление природными ресурсами (водными, лесными и т. д.);
- Моделирование процессов в среде, управление природоохранными мероприятиями;
- Мониторинг состояния окружающей среды;

#### *Литература:*

1. Градостроительный кодекс РФ от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ (с изменениями на 23 июня 2014 года) // Собрание законодательства РФ.

— Геология, минерально-сырьевые ресурсы и горнодобывающая промышленность;

— Планирование и оперативное управление перевозками;

— Проектирование, инженерные изыскания и планирование в градостроительстве, архитектуре, промышленном и транспортном строительстве;

— Планирование развития транспортных и телекоммуникационных сетей;

— Комплексное управление и планирование развития территории, города;

— Сельское хозяйство;

— Археология;

Отметим, что в перечень вошли только «основные», «крупнейшие» сферы использования ГИС без учета научных исследований, использование в которых геоинформационных систем и технологий становится все более распространенным. Кроме этого, приведенный список не является окончательным, поскольку сфера использования ГИС постоянно расширяется.

В настоящее время в соответствии с Градостроительным кодексом РФ организована Информационная система обеспечения градостроительной деятельности (ИСОГД), представляющая собой систематизированный свод документированных сведений о развитии территорий, их застройке, о земельных участках и иной достоверной информации, необходимой для осуществления градостроительной, инвестиционной и иной хозяйственной деятельности.

В широком понимании ИСОГД — метасистема (система систем), которая обеспечивает информационную поддержку множества разнообразных процессов жизнеобеспечения и развития города. Такая комплексная система включает в себя несколько классов программного обеспечения: ГИС (географическая информационная система), СЭД (система электронного документооборота), СУБД (система управления базами данных), ЭАР/ВРМС (система управления электронными административными регламентами/система управления бизнес-процессами), СКК/НСИ/МДМ (система классификации и кодирования информации/), веб-портал, а также организует доступ к СМЭВ (система межведомственного электронного взаимодействия) [2].

Современный уровень информационной основы управления развитием территории резко снижает потенциальную возможность принятия (нередких сейчас) управленческих решений, приводящих к градостроительным ошибкам и связанным с ними чрезвычайным ситуациям и социальным конфликтам. И наоборот, увеличиваются возможности принятия решений, обеспечивающих наиболее эффективное использование территории.

2. Мамышева, Е. Г., Загоруйко А. Е. Обзор технологических платформ для формирования ИСОГД // Управление развитием территории. 2010. № 3.

## 11. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

### Связь науки и техники в возделывании сельскохозяйственных культур при проектировании лемешного плуга

Белоусов Сергей Витальевич, старший преподаватель, магистр;  
Трубилин Евгений Иванович, доктор технических наук, профессор;  
Лепшина Анна Игоревна, студент  
Кубанский государственный аграрный университет (г. Краснодар)

*В данной статье рассмотрен вопрос закономерности влияния науки на прогресс производства сельскохозяйственной техники и применения научных разработок на конкретном примере проектирования новой конструкции корпуса лемешного плуга. Указана взаимосвязь влияния научных трудов на конструкции почвообрабатывающих орудий на примере лемешного плуга.*

**Ключевые слова:** плуг, почва, ширина захвата, давление, качество обработки, рабочий орган, энергосбережение, нагрузка, отвал, рабочая поверхность, эксперимент, качество.

В Кубанском государственном аграрном университете на кафедре «Процессы и машины в агробизнесе» ведутся исследования в области основной обработки почвы. Ряд работ направлены на совершенствование данного процесса, а именно разработка комплекта дополнительных рабочих органов для их установки на существующую конструкцию лемешного плуга, что приводит к совершенствованию процесса основной обработки почвы с оборотом пласта для улучшения количественных и качественных показателей данной технологической операции.

Все процессы работы сельскохозяйственных машин основываются на принципах построения математических моделей, их теоретической проверки, проверки на лабораторных стендах и на проведение полномасштабных полевых опытов.

В случае проведения нашей работы нами предлагается установить комплект дополнительных рабочих органов (рис. 1) в виде батарей дисков расположенных на индивидуальных грядилках за каждым корпусом лемешного плуга. Данная конструкция позволит улучшить качественные показатели работы пахотного агрегата, а именно сократить количество проходов сельскохозяйственных машин по полю для подготовки его к посеву.

Работы проводятся на базе патентов РФ №2491807; 136275; 136674 позволяющих повысить качество оборота пласта при минимальных затратах энергии.

Исследования проводились на территории Краснодарского края. Выбор марки трактора осуществлялся исходя из того что нами был создан рабочий пахотный агрегат марки ПЛН-4–25, и по эксплуатационным характеристикам нам подходил трактор марки МТЗ-80 класса 1,5–2 тонны [1].

Этот трактор пользуется предпочтением у производителей в силу своей универсальности, позволяющей использовать его с высокой степенью загрузки в течение всего года. В отличие, например, от гусеничных тракторов. Сущность предлагаемой конструкции поясняется чертежом, где на фигуре 1 изображен плуг (вид сверху): на фигуре 2 общий вид корпуса плуга; на фигуре 3 общий вид корпуса плуга в аксонометрии, фиг. 4 — вид А.

Плуг, содержит раму 1, установленные на ней плужные корпуса 2, каждый из которых состоит из стойки 3, лемеха 4, отвала 5 и регулируемой по высоте плоскорежущей бритвы 6 которая установлена на стойке 3 со стороны полевого обреза под углом  $\alpha = 15-45^\circ$  (Фигура 4 вид А) к направлению движения плуга противоположно углу наклона лемеха плуга и имеет ширину, равной ширине захвата одного корпуса плуга, такая установка плоскорежущей бритвы обеспечивает зеркальное отображение лемеха плуга. Установка плоскорежущей бритвы под углом  $= 15-45^\circ$  обусловлена тем, что работа плоскорежущей бритвы, установленной в заданных пределах, обеспечивает оптимальные параметры крошения почвы на заданной глубине обработки [2].

Согласно патенту плуг RU 2491807 С1 был изготовлен лабораторный образец и проведены его испытания [2]. Плуг рисунок 1 содержит раму с установленными плужными корпусами, каждый из которых состоит из стойки, лемеха, отвала и плоскорежущей бритвы. Плоскорежущая бритва установлена на стойке со стороны полевого обреза под углом  $15-45^\circ$  к направлению движения плуга с возможностью регулирования по высоте. Плоскорежущая бритва установлена противоположно углу наклона лемеха плуга и имеет ширину, равную ширине захвата одного корпуса плуга. Такое конструк-

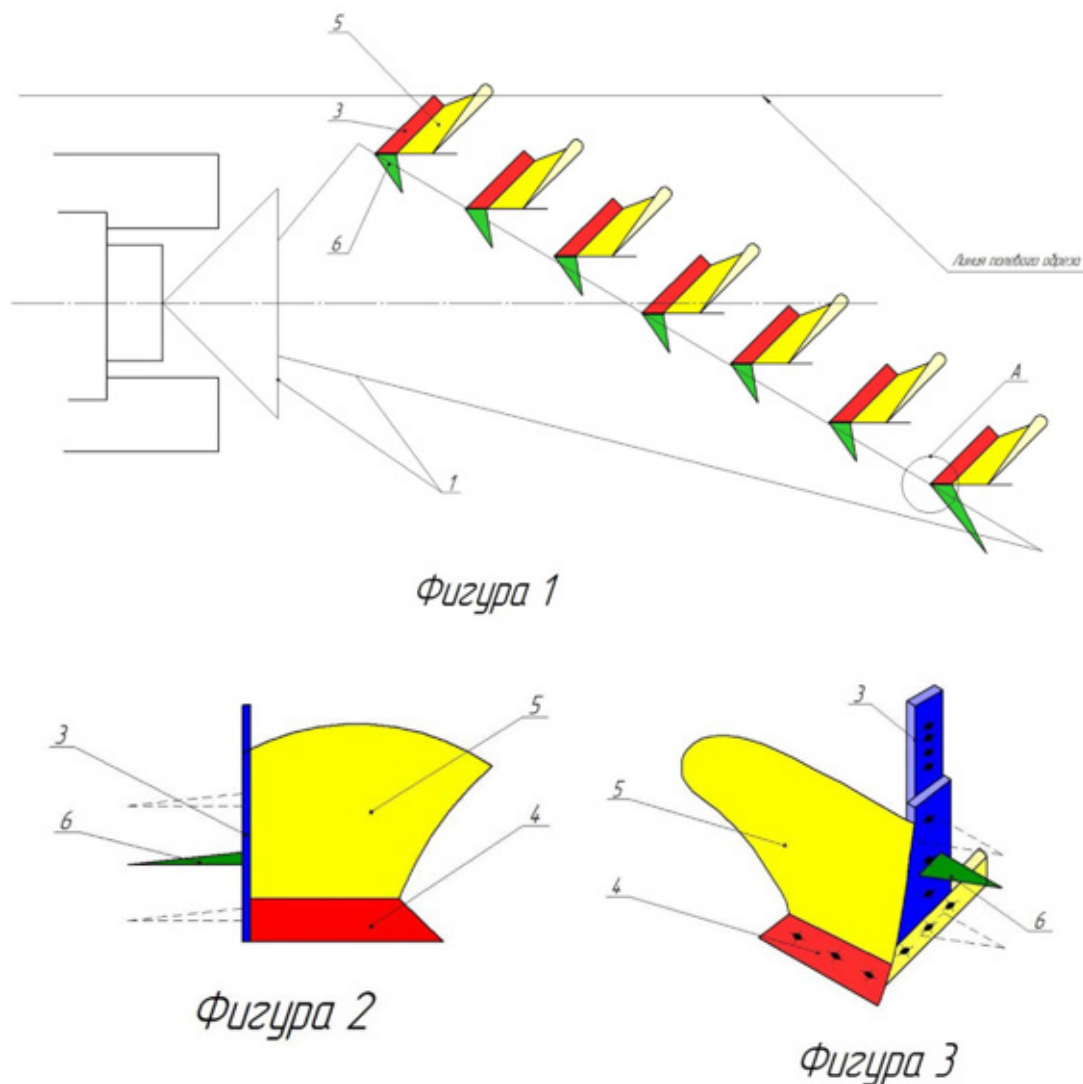


Рис. 1. Изобретения по патенту №2491807

тивное выполнение позволит повысить степень крошения почвы за счет ее дифференцированной по глубине обработки основным и дополнительными рабочими органами в зависимости от состояния почвы и предшественника, а также снижение тягового сопротивления плуга за счет снижения давления полевой доски о стенку борозды.

Техническим результатом является снижение металлоемкости по сравнению с лемешными плугами, в которых используется предплужники. Наблюдается снижение тягового сопротивления и повышения качества обработки почвы за счет снижения количественных и качественных показателей корпуса плуга.

Технический результат достигается тем, что в корпусе лемешного плуга рисунок 1, содержащем стойку, крепежный элемент лемеха и отвал на стойке, со стороны полевой обреза установлен режущий рабочий орган, в качестве режущего рабочего органа использована плоскорежущая бритва со стойкой соединенная со стойкой корпуса плуга «П» — образным крепежным элементом с возможностью регулирования по высоте.

Суть изобретения поясняется рисунком 2, фигурой 1 общий вид корпуса лемешного плуга в аксонометрии, фигура 2 (Вид А) фрагмент крепления стойки плоскорежущей бритвы, на фигуре 3 (вид Б) фрагмент фиксации стойки плоскорежущей бритвы.

Новизна заключается тем, что плоскорежущая бритва установлена со стороны полевой обреза путем закрепления ее за стойкой основного корпуса плуга с возможностью плавной регулировки по глубине обработки в зависимости от почвенных условий.

Корпус лемешного плуга содержит стойку 1 корпуса плуга с отвалом 2, лемехом 3, полевой доской 4. Плоскорежущая бритва 5 со стойкой 6 соединена со стойкой 1 корпуса плуга «П» — образным крепежным элементом 7 с отверстиями 8. «П» — образный крепежный элемент содержит систему крепления состоящую из болта фиксации 9, неподвижной гайки 10 и контр гайки 11, соединяющую стойку 6 плоскорежущей бритвы 7 с основной стойкой 1 корпуса плуга (фиг. 2).

Плоскорежущая бритва 5 закреплена на стойке 6, непосредственно за основной стойкой 1 корпуса плуга «П» — образным крепежным элементом 7, который крепится посредством отверстий 8 к основной стойке корпуса плуга 1.

Плавность регулировки в пределах заданной высоты достигается конструктивным элементом стойки 6 (Вид Б фигура 3), который выполнен в виде гребенки 12 для фиксации болта 9 по вертикали в промежутке Н не более 10 мм.

Работает корпус лемешного плуга следующим образом: в процессе движения пахотного агрегата по полю корпус лемешного плуга внедряясь в почву лемехом 3 подрезает пласт почвы и отводит его на отвал 2 который его оборачивает, плоскорежущая бритва 5 установленная на стойке 6 со стороны полевых обрезов внедряется в стенку борозды подрезая пласт почвы в горизонтальной плоскости разрушает его для оборота следующим корпусом плуга. Плоскорежущая бритва имеет плавную регулировку по высоте для обработки различных почв.

Для проведения лабораторных и полевых исследований была изготовлена специальная установка рисунок 3, с помощью которой можно было производить полевые испытания [4], [5].

Полученные результаты представлены в виде графика, показанного на рис. 4. Определение факторов влияющих на производительность и качество обработки. При рассмотрении факторов влияющих на производительность и качество обработки учитывалось их расположение в пространстве относительно друг друга и их геометрические размеры. Анализ непрерывных симметричных планов второго порядка показал, что максимальное значение определителя информационной матрицы достигается в том случае, когда моменты плана соответственно равны. Для этого использовали ортогональный симметричный план (звездные точки которого равны  $\pm 1$ ). Изучалось влияние двух факторов и фиксированы их значения на оптимальных уровнях. Факторы, интервалы и уровни варьирования представлены в таблице 1

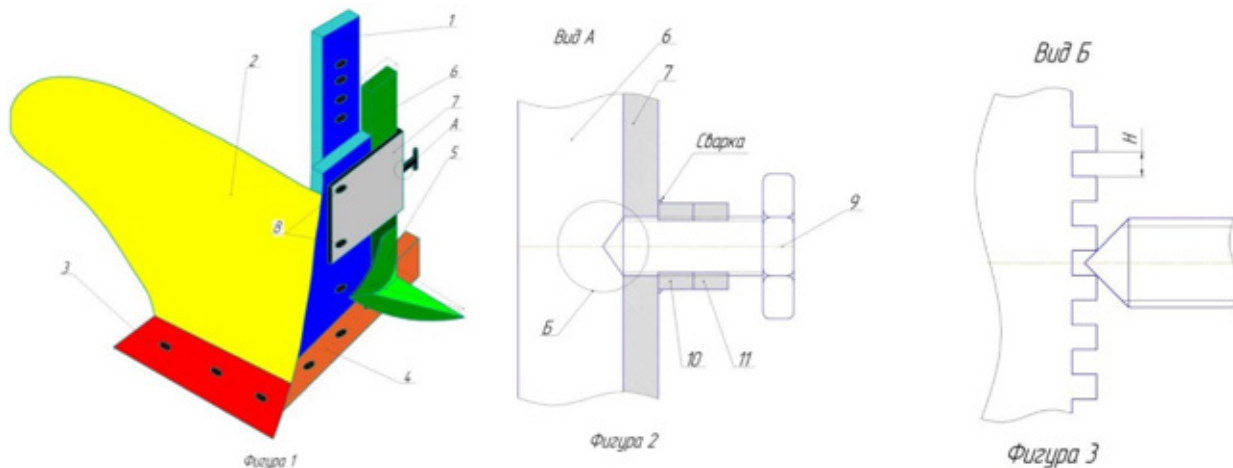


Рис. 2. Патент №136674: 1 – корпуса плуга; 2 – отвал; 3 – лемех; 4 – полевая доска; 5 – плоскорежущая бритва; 6 – стойка; 7 – «П» – образный крепежный; 8 – отверстия; 9 – болт фиксации; 10 – неподвижная гайка; 11 – контр гайка

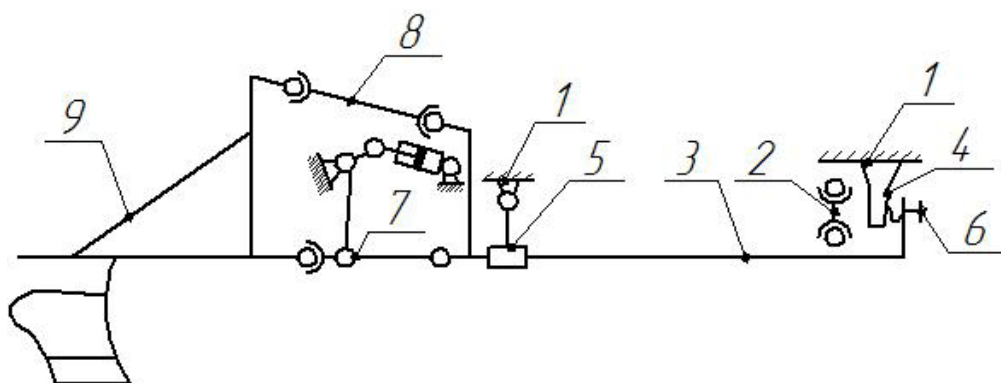


Рис. 3. Кинематическая схема переходной рамы к трактору МТЗ: 1 – остов трактора; 2 – маятниковый узел; 3 (BC) – несущий элемент переходной рамы; 4 – первичный измерительный преобразователь силы (консольная балка) равного сопротивления с тензорезисторами; 5 – подшипники; 6 – регулируемый упор; 7 – продольные тяги трактора; 8 – центральная тяга трактора; 9 – навешиваемая машина с рабочими органам

Таблица 1

Факторы, интервалы и уровни варьирования

Факторы	Кодированное обозначение	Интервал варьирования	Уровни факторов		
			-1	0	+1
Диаметр мм.	$x_1$	150	0	150	300
Скорость движения км/ч.	$x_2$	2,7	5,34	8,05	10,76

По указанной методике мы проводим исследования плоскорежущих рабочих органов. Так при рассмотрении факторов влияющих на производительность и качество обработки учитывалось их расположение в пространстве относительно друг друга и их геометрические размеры.

Анализ непрерывных симметричных планов второго порядка показал, что максимальное значение определителя информационной матрицы достигается в том случае, когда моменты плана соответственно равны.

Для этого использовали ортогональный симметричный план (звездные точки которого равны  $\pm 1$ ). Изучалось влияние двух факторов и фиксированы их значения на оптимальных уровнях. Факторы, интервалы и уровни варьирования представлены в таблице 1.

На качество обработки влияет скорость движения и диаметр ротационного рабочего органа.

Уровни факторов выбирали таким образом, чтобы оптимальные их значения, рассчитанные теоретически или учитывающие существующие ограничения, попадали в центр интервала варьирования.

Максимальным значением для первого фактора  $x_1$  являлось ширина захвата плоскорежущей бритвы равной  $n_{\max} = 300$  мм. и снижались до  $n_{\min} = 0$  мм, что соответствовало интервалу варьирования.

Для второго фактора  $x_2$  значения, являлось значение скорости движения пахотного агрегата  $k_{v\max} = 10,76$  и снижался до  $k_{v\min} = 5,34$  что соответствовало интервалу варьирования.

На основании этих рассуждений были выбраны интервалы варьирования и уровни факторов, значения которых занесены в таблицу 2. Матрица планирования представлена в таблице 1. Опыты проводили согласно описанной выше методике. Порядок проведения опытов выполнялся согласно таблице случайных чисел. Средние величины параметров оптимизации представлены в таблице 2.

После математической обработки экспериментальных данных получили следующие уравнения регрессии [6][7][8][9].

$$Y = 13,567 + 0,965 * X_1 + 0,1095 * X_2 - 1236 * X_1 * X_2 - 9,155 * X_1^2 - 3,605 * X_2^2 \quad (1)$$

где  $Y$  — производительность плуга при взаимодействии 1 и 2 фактора.

Выполняя каноническое преобразование и решая систему линейных уравнений, находим координаты центра поверхности отклика

$$X_1 = -0,05436, X_2 = -0,02451$$

Подставляя найденные значения  $x_1, x_2$  в уравнение (1) определяем значение параметра оптимизации в центре поверхности отклика.

$$Y_{s_{12}} = 13,54$$

Угол поворота осей  $\alpha$  равен  $-6,27$  градусов, а коэффициенты регрессии в канонической форме равны:  $B_{11} = 9,22$ ;  $B_{22} = 3,54$ .

Уравнение регрессии в канонической форме

$$Y_{12} + 13,54 = +9,22 * X_1^2 - 3,54 * X_2^2 \quad (2)$$

Параболы (рис 4). Один из коэффициентов канонического уравнения равен нулю, при этом центр фигуры находится в бесконечности. Поверхность отклика является возрастающим возвышением (гребнем). В этом случае можно поместить начало координат в какую-либо точку (обычно вблизи центра эксперимента) на оси, соответствующей незначительному коэффициенту канонического уравнения, и получить таким образом уравнение параболы. Например, если равен нулю  $B_{22}$  то выбрав новый центр  $s'$ , можно получить уравнение параболы  $y - y_s' = B_1 \tilde{X}_1^2 + B_2 \tilde{X}_2^2$ , где  $B_2$  — коэффициент, определяющий крутизну наклона возвышения, т.е. скорость увеличения параметра оптимизации по оси  $\tilde{X}_2$ .

В практических задачах часто центр фигуры  $s$  удален за пределы той области, где проводился эксперимент, и тогда один из коэффициентов ( $B_{11}$  или  $B_{22}$ ) близок к нулю. В этом случае в зависимости от наклона, поверхность отклика будет аппроксимироваться либо стационарным, либо возрастающим возвышением.

Таблица 2

Матрица планирования при оптимизации показателей работы лемешного плуга с плоскорежущими рабочими органами.

№ опыта	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_1$	$x_2$	$x_1x_2$	$x_1^2$	$x_2^2$	Тяговое сопротивление $Y$ , кН.	
1	+1	0	5.34	+1	+1	+1	+1	+1	13.1	ПФЭ
2	+1	0	8.16	-1	+1	-1	+1	+1	14.37	
3	+1	0	10.15	+1	-1	-1	+1	+1	15.73	
4	+1	200	5.52	-1	-1	+1	+1	+1	11.9	
5	+1	200	8.39	+1	0	0	+1	0	13.0	Звездные точки
6	+1	200	10.61	-1	0	0	+1	0	13.63	
7	+1	300	5.65	0	+1	0	0	+1	11.1	
8	+1	300	8.57	0	-1	0	0	+1	11.9	
9	+1	300	10.76	0	0	0	0	0	12.5	Опыты в центре плпна

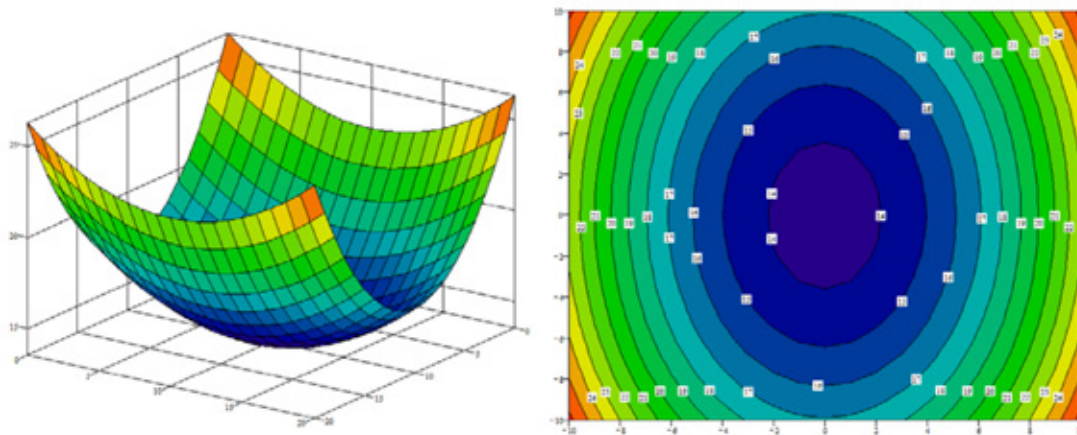


Рис. 4. Поверхность зависимости диаметра диска от скорости движения

Подставим различные значения отклика  $Y$  в канонические уравнения (1) было получено семейство сопряженных изолиний (рис. 4). Расположение элементов производительности в области эксперимента напоминало поверхность типа «эллипса». Центр эксперимента находится в пределах области эксперимента. Максимальная производительность в данном случае будет при ширине захвата плоскорежущей бритвы равна 190,54 мм. и скорости движения 6,15 км/ч.

В результате проделанной работы мы получили:

- Получена конструкция комбинированного лемешного плуга с дополнительными плоскорежущими рабочими органами.

- Составлена матрица планирования эксперимента. И изучены физикомеханические свойства почвы и получены их среднее значение.

- Получен график зависимости ширины захвата плоскорежущей бритвы от скорости движения пахотного агрегат, из которого видно, что при увеличении коэффициента ширины захвата плоскорежущей бритвы происходит уменьшение производительности, а соответственно и ухудшение качественных показателей работы лемешного плуга.

- Были обоснованы факторы влияния на производительность (ширина захвата плоскорежущей бритвы и скорость движения). С использованием планирования двухфакторного эксперимента по ортогональному плану определены оптимальные параметры режимов работы лемешного плуга при условии выполнения исходных требований к качеству обработки. Согласно полученному уравнению регрессии по критерию максимальной производительности лемешной обработки почвы центр эксперимента находится в пределах области эксперимента при этом максимальная производительность в данном случае будет при ширине захвата плоскорежущей бритвы 190,54 мм. и скорости движения 6,15 км/ч. [10].



*Литература:*

1. Основная обработка почвы с оборотом пласта в современных условиях работы и устройства для ее осуществления. Белоусов С. В., д. т. н. профессор Трубилин Е. И., студентка Лепшина А. И. Политематический Электронный Научный журнал КубГАУ, № 104 (10), 2014 года ВАК (21 стр.)
2. Патент RU 2491807C1 Трубилин Е. И., Сидоренко С. М., Сохт К. А, Белоусов С. В., Осипова С. М. ФГБОУ ВПО Кубанский государственный аграрный университет. Опубликовано 10.09.2013 года. Бюл. № 15.
3. Патент № 136674 Трубилин Е. И., Белоусов С. В., ФГБОУ ВПО Кубанский государственный аграрный университет. Опубликовано 21 мая 2013 года. Бюл. № 21.
4. Результаты экспериментальных исследований определение степени тягового сопротивления лемешного плуга при обработке тяжелых почв Белоусов С. В., д. т. н. профессор Трубилин Е. И., студентка Лепшина А. И. Политематический Электронный Научный журнал КубГАУ, № 103 (09), 2014 года ВАК (14 стр.)
5. Белоусов, С. В. Конструкция комбинированного лемешного плуга и исследование его тягового сопротивления в составе тракторного агрегата [Текст]/С. В. Белоусов, А. И. Лепшина // Молодой ученый. — 2015. — № 5. — с. 217–221.
6. Белоусов, С. В. Конструкция комбинированного лемешного плуга и исследование его тягового сопротивления в составе тракторного агрегата [Текст]/С. В. Белоусов, А. И. Лепшина // Молодой ученый. — 2015. — № 5. — с. 217–221.
7. Тяговое усилие лемешного плуга в зависимости от скорости и ширины захвата плоскорезающей бритвы. Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ № 2014615232. Белоусов С. В., Цыбулевский В. В., Трубилин Е. И. 2014.
8. Каноническое преобразование уравнения зависимости тягового сопротивления лемешного плуга. Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ № 2014615233. Белоусов С. В., Цыбулевский В. В., Трубилин Е. И. 2014.
9. Графики зависимости тягового сопротивления лемешного плуга. Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ № 2014615230 Белоусов С. В., Цыбулевский В. В., Трубилин Е. И. 2014.
10. Экономическая эффективность отвальной обработки почвы разработанным комбинированным лемешным плугом Белоусов С. В., Трубилин Е. И., Лепшина А. И., Политематический Электронный Научный журнал КубГАУ, № 103 (09), 2014 года. (19 стр.)

## Создание микро- и наносистем с помощью электрохимических разрядов

Гордеева Анна Владимировна, студент

Научный руководитель: Кашапов Р. Н., кандидат технических наук

Казанский национальный исследовательский технологический университет

*С момента открытия явления электрохимических разрядов Физо и Фуко, несколько исследований расширили широкий спектр применения, связанный с этим электрохимическим процессом высокой плотности тока. Сложность этого явления от макроскопического до микроскопического уровня, инициировала различные экспериментальные и теоретические исследования во многих областях. Данная статья рассматривает химическую и электрохимическую перспективы, предлагая механистическую модель, основанную на результатах радиационной химии водных растворов. Кроме того, обсуждается применение в микро-обработке и получении наночастиц.*

### Введение

Явление электрохимических разрядов все чаще привлекает внимание исследователей. Оно привлекало и до сих пор привлекает ученых из различных областей исследования, в связи с широким спектром применения в промышленности и технологии, как например, инженерия поверхностей и плазменное электролитическое окисление [1,2], очистка сточных вод [3], микроразмерная обработка не-

проводящих материалов [4–7], синтетическая химия [8,9], а в последнее время и синтез наноструктур [10–14]. Термин «электрохимический разряд» будет использоваться в данной статье, но другие термины также известны и относятся к тому же самому явлению, например, контактный электролиз тлеющим разрядом (CGDE), эффект электрода и неравновесный плазменный электролиз.

В данной статье рассматриваются основы явления, предлагается новая версия его механизма и химический

выход на основе результатов радиационной химии. Рассматриваются последние успехи в применении электрохимического разряда в микро-обработке непроводящих материалов и синтезе наночастиц в водных растворах и расплавленных солей. Предлагается механистическая модель для получения частиц с нулевой валентностью, на основе реакций с гидратированным электроном и радикалами  $\text{H}\cdot$  и  $\text{OH}\cdot$ .

Кроме того, мы считаем, что процесс распыления электрода играет значительную роль в производстве мелких частиц и, таким образом, рассматривается в качестве возможного способа.

### Механизм

Электрохимические разряды имеют сходство с высокоэнергетической радиационной химией водных растворов. Это сходство было впервые отмечено Хиклингом и Инграмом [15,16] для анодного электролиза в тлеющем разряде, где заряды переносятся супероксидным ионом  $\text{H}_2\text{O}^+$  с энергией около 100 эВ, похожим на  $\alpha$ -радиолиз. Авторы использовали эту аналогию, чтобы объяснить высокий выход радикала  $\text{OH}\cdot$  и образование  $\text{H}_2\text{O}_2$  во время этого явления. При катодном электролизе в тлеющем разряде, заряды переносятся электронами из катода, выпускаемыми за счет тепловой энергии поля. В зависимости от используемого напряжения, может быть достигнута энергия в несколько десятков эВ. Здесь интересно отметить некоторый порядок. Электроны, входящие в воду с энергией 30 эВ, как правило, теряют около 10 эВ  $\text{nm}^{-1}$  в среде.

Современные знания о радиационной химии водных растворов, содержащих ионы  $\text{M}$ , обобщены в описании реакционного механизма, показанном на рис. 2, а также включены во временную шкалу, на которой происходят различные реакции.

Первая реакция облученной воды производит ионизированное состояние молекулы воды,  $\text{H}_2\text{O}^+$ , и один электрон  $e^-$ , в дополнение к электронно возбужденному состоянию,  $\text{H}_2\text{O}^*$ :



Ионно-молекулярная реакция возбужденного ионного состояния  $\text{H}_2\text{O}^+$  с молекулой воды дает  $\text{OH}\cdot$  радикал и оксониевый катион  $\text{H}_3\text{O}^+$ :

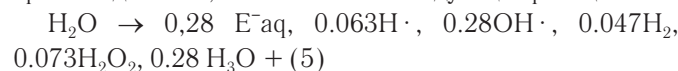
$\text{H}_2\text{O}^+ + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{OH}\cdot + \text{H}_3\text{O}^+$ , (2) в то время как диссоциация  $\text{H}_2\text{O}^*$  дает  $\text{H}\cdot$  и  $\text{OH}\cdot$  радикалы, с возможной реакцией выделения  $\text{H}_2$  и  $\text{O}\cdot$  следующим образом  $\text{H}_2\text{O}^* \rightarrow \text{H}\cdot + \text{OH}\cdot$ ,  $\text{H}_2 + \text{O}\cdot$  (3)

С другой стороны, в этой последовательности ультрабыстрых реакций, протекающих в течение электронного перехода,  $e^-$  пройдет через реакцию сольватации. Используя воду в качестве растворителя, реакция гидратации записывается в виде  $e^- + n\text{H}_2\text{O} \rightarrow e^- \text{aq}$

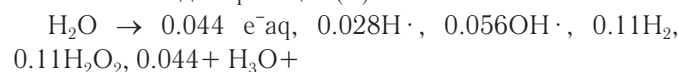
Сольватированный электрон  $e^- \text{aq}$  впервые наблюдали Харт и Боуг в 1962 г. во время измерений переходного оптического поглощения. Это переходное кратковременное

химическое вещество, где электрон  $e^-$  окружен молекулами растворителя. Этот процесс происходит, когда электрон достигает теплового равновесия с жидкостью, что достигается менее чем за пикосекунду. Харт и Боуг успешно получили сольватированные электроны, или, конкретнее, гидратированные электроны, с помощью импульсного радиолиза водных растворов. Некоторые другие способы получения  $e^- \text{aq}$  — это химические и электрохимические методы, а также фотолиз с использованием флэш-ламп и лазеров С точки зрения химической реактивности, сольватированные электроны являются очень сильными восстановителями. Рекомбинация  $e^- \text{aq}$  с положительными ионами и радикалами производится внутри элементов, называемых в радиационной химии «шпорами». В контексте электрохимических разрядов, гидратированный электрон, по предположению Хиклинга и Инграма, в основном образуется в первичной зоне реакции, что соответствует взаимодействию газовой пленки и электролита.

На втором шаге, в зависимости от кинетической энергии, продукты  $\text{H}\cdot$ ,  $\text{OH}\cdot$ ,  $\text{H}_3\text{O}^+$  и  $e^- \text{aq}$  могут реагировать друг с другом путем димеризации и реакции рекомбинации. В таблице 1 перечислены возможные реакции на этом этапе, где те реакции, которые содержат катионы  $\text{M}$ , показаны на рис. 2 пунктирными линиями. Из результатов радиолиза воды при 0,23 эВ  $\text{nm}^{-1}$  (линейная передача энергии), продукты молекулы облученной воды, в период времени до  $10^{-7}$  с, можно описать следующей реакцией:



где числа представляют собой химический выход радиации в  $10^{-6}$  моль  $\text{J}^{-1}$ , переданный в общем в  $G$  — значениях.  $G(X)$  — это число молекул продукта  $X$ , полученное на 100 эВ поглощенной энергии. Обратите внимание, что обычно единица «молекула/100 эВ» используется там, где 1 моль  $\text{J}^{-1}$  равняется  $9,6490 \cdot 10^6$  молекул/100 эВ. Можно заметить, что основные химические выходы в реакции (6) — это гидратированные электроны  $e^- \text{aq}$ , гидроксильный радикал  $\text{OH}\cdot$  и гидроксониевый катион  $\text{H}_3\text{O}^+$ , где реакции дают около 2,7 молекул/100 эВ для каждого из этих продуктов. Тем не менее, на более высоких радиационных энергиях, например, 108 эВ  $\text{nm}^{-1}$ , химические выходы в реакции (6):



где высокий выход для молекулярного водорода и пероксида водорода  $G(\text{H}_2) = G(\text{H}_2\text{O}_2) \approx 1,1$  эВ молекул/100 эВ, связан с наложением шпор друг на друга.

Вслед за этими переходными реакциями следует ряд других реакций, что связано с распространением химических продуктов. Получаются некоторые молекулярные продукты и вторичные радикальные продукты, такие как  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , а также стабильные продукты реакции с металлическими ионами  $\text{M}$  в водном растворе. Эти последние реакции, при уменьшенных или окисленных состояниях  $\text{M}$  связаны с реакциями, включающими в себя  $\text{H}_2$ ,  $\text{OH}\cdot$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{H}\cdot$  и  $e^- \text{aq}$

Сольватированный электрон  $e^-_{aq}$  является самым сильным реагентом-восстановителем, полученном в водном растворе, имеющим стандартный восстановительный потенциал относительно стандартного водородного электрода (SHE)  $E^\circ (H_2O/e^-_{aq}) = -2.87V$ . Также и атом  $H \cdot$  является мощным реагентом-восстановителем в кислотном растворе с  $E(H^+/H \cdot) = -2,31 V$ , следуя реакции (8):  $E^-_{aq} + H^+ \rightarrow H \cdot$  (7)

С другой стороны, радикал  $OH \cdot$  является самым сильным окислительным агентом, где  $E(OH \cdot/H^+) = 1.90V$  в нейтральном растворе и  $E(H^+, OH \cdot/H_2O) = 2.72V$  в кислотном растворе. При комнатной температуре,  $e^-_{aq}$  и атом  $H \cdot$  могут довольно легко восстанавливать ионы металла до нулевой валентности. Напротив,  $OH \cdot$  радикалы окисляют атомы или ионы, присутствующие в растворе, на более высокий уровень окисления. Эту реакцию можно предотвратить путем добавления поглотителей  $OH \cdot$  радикалов, таких как вторичные спирты или формиатные анионы. Вторично образованные радикалы являются сильными восстановителями и берут на себя восстановительные реакции вместо реакции окисления  $OH \cdot$  радикалом

### **Синтез наночастиц**

На сегодняшний день, синтез ультрадисперсных частиц является самым новым способом применения явления электрохимических разрядов в водных растворах электролитов [11–14] и расплавленных солях [10]. Изготовление коллоидных наночастиц с помощью этого процесса начинается с приложенной разности потенциалов выше критического напряжения  $U_c$ . Этот процесс принципиально отличается, если приложенное напряжение меньше  $U_c$ , где можно наблюдать непрерывное электроосаждение дендритных структур. Кратко рассматривается получение и характеристики наночастиц никеля и меди, так как в нашей лаборатории ведутся исследования некоторых интересных способов применения в катализе и области биомедицины. Также анализируются исследования, проводимые Лал и др. [13], Ториябе и др., [12], Ито и сотрудниками, касающиеся производства ультрадисперсных частиц из других видов переходных металлов. Попытка объяснить процессы получения атомов с нулевой валентностью и последующих наночастиц затрагивает два микроскопических механизма. Считается, что каждое взаимодействие газа и жидкости и твердая фаза, представленная поверхностью электрода, играет некоторую роль в получении мелкодисперсных частиц. Естественно, два представленных механизма происходят одновременно, но в различных временных масштабах и с разными химическими и структурными выходами.

### **Наночастицы никеля и меди**

По результатам недавних исследований, ученые провели синтез коллоидных наночастиц никеля и меди [14]

с помощью явления электрохимических разрядов. Для получения частиц никеля, никелевый стержень диаметром 0.5 мм частично погружается в 2 М раствор серной кислоты, так что площадь поверхности, подвергающаяся воздействию электролита равна 5 мм<sup>2</sup>. Анодом является никелевая фольга размером 20 см<sup>2</sup>. Перед экспериментом, проводится быстрая дезактивация металла в растворе соляной и азотной кислоты (в пропорции 3:1) для обоих электродов с последующим обильным промыванием деионизированной водой. Ионы металлов, присутствующие в растворе, в этом случае получают путем анодного растворения, но добавление металлических солей также возможно [13]. Электрохимические разряды проводились при напряжении в 32 В. Был проведен ряд стандартных физических и химических исследований для наночастиц. Двумерные топографические измерения с использованием AFM проводились с использованием свеже-расщепленных кристаллов слюды, где полученный осадок коллоидного раствора наночастиц затем высушивался. Размер частиц колеблется от 50 нм до нескольких нанометров, согласно показаниям просвечивающего электронного микроскопа большого увеличения. Наночастицы меди были также успешно синтезированы. Размер частиц варьируется от около 30 до 5 нм, где скопление более заметно для меди, чем для никеля. Спектр, собранный методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (EDX), предполагает, что частицы меди находятся в окисленном состоянии.

### **Образование высокодисперсных частиц в эвтектических расплавах**

Путем создания квази-стабильных катодных разрядов в эвтектических расплавах при атмосферном давлении аргона, Ито и сотрудники успешно синтезировали высокодисперсные металлические частицы. Экспериментально, группа использовала суб-к В источник постоянного тока и двухэлектродную ячейку, похожие на электрохимические разряды, но при атмосферном потоке аргона. Анод, полностью погруженный в эвтектический расплав, был сделан из типа металла получаемых наночастиц. Расплавленная соль состояла из 58,5% молей LiCl и 41,5% молей KCl, нагретая до нескольких сотен градусов по Цельсию. Дополнительная металлическая соль низкой концентрации была добавлена в расплав, например, AgCl в случае синтеза нанокристаллов серебра или K<sub>2</sub>TiF<sub>6</sub> в случае синтеза титановых наночастиц. Электрические разряды были получены путем осторожного приближения наконечника вольфрамового катода к поверхности расплавленной соли и отведения его на несколько миллиметров назад. Разряд сохранялся определенный период времени, затем процедуру приходилось повторять снова, как только электронная деятельность на катоде прекращалась.

Было проведено несколько исследований, а именно микрофотографирование SEM в ходе наблюдения мор-

фологии наночастиц и модель рентгеновской дифракции (РД), рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (XPS) и электронно-зондовый микро-анализатор (ЕРМА) для химических и кристаллографических структур. Мелкодисперсные кластеры размером от нескольких сотен нанометров до 10 нм были получены с помощью катодных разрядов в расплавленных солях.

Группа предположила наличие связей между контролированием форм и размеров частиц, анализируя поведение разрядов, время разряда, расстояние между кончиком катода и поверхностью ванны, а также химический состав солей

### Выводы

Как для обычного электролиза, так и электролиза водных растворов высокой плотности тока, явление электрохимического разряда раскрывает замечательные свойства с большим потенциалом для применения в науке

и промышленности. Тепло, выделяемое в процессе, используется, в частности, для микро-обработки, в то время как другие способы применения, такие, как очистка сточных вод, инженерия поверхностей и получение наночастиц также используют производимые разрядами электроны и связанные химические процессы. В данной статье были обобщены современные знания о природе явления, по аналогии с радиационной химией. Среди различных существующих способов применения, были выбраны два способа для подробного рассмотрения. Первый способ — это применение в микро-обработке. Особое внимание в данном анализе было уделено механизму удаления материала и новейшим достижениям в управлении процессом. Применение в получении наночастиц является вторым способом, описываемым в данной статье. Авторы убеждены, что потенциал электрохимических разрядов в микро-обработке и нанотехнологии огромен, и что мы находимся на начальном этапе использования этого огромного потенциала.

### Литература:

1. A. T. Bell, The impact of nanoscience on heterogeneous catalysis, *Science* 299 (5613) (2003) 168
2. M. A. El-Sayed, Some interesting properties of metals confined in time and nanometer space of different shapes, *Accounts of Chemical Research* 34 (4) (2001) 257.
3. M. Haruta, N. Yamada, T. Kobayashi, S. Iijima, Gold catalysts prepared by coprecipitation for low-temperature oxidation of hydrogen and of carbon monoxide, *Journal of Catalysis* 115 (2) (1989) 301.
4. M. Haruta, Size- and support-dependency in the catalysis of gold, *Catalysis Today* 36 (1) (1997) 153 (Copper, Silver and Gold in Catalysis).
5. P. Mulvaney, Not all that's gold glitter, *MRS Bulletin* 26 (12) (2001) 1009.
6. K. L. Kelly, E. Coronado, L. L. Zhao, G. C. Schatz, The optical properties of metal nanoparticles: the influence of size, shape, and dielectric environment, *The Journal of Physical Chemistry B* 107 (3) (2002) 668.
7. I. O. Sosa, C. Noguez, R. G. Barrera, Optical properties of metal nanoparticles with arbitrary shapes, *The Journal of Physical Chemistry B* 107 (26) (2003) 6269.
8. P. Buffat, J.-P. Borel, Size effect on the melting temperature of gold particles, *Physical Review A* 13 (6) (1976) 2287.
9. A. A. Shvartsburg, M. F. Jarrold, Solid clusters above the bulk melting point, *Physical Review Letters* 85 (12) (2000) 2530.
10. T. Teranishi, Fabrication and electronic properties of gold nanoparticle superlattices, *Comptes Rendus Chimie* 6 (8–10) (2003) 979.
11. D. L. Leslie-Pelecky, R. D. Rieke, Magnetic properties of nanostructured materials, *Chemistry of Materials* 8 (8) (1996) 1770.
12. J. Bansmann, S. Baker, C. Binns, J. Blackman, J.-P. Bucher, J. Dorantes-Davila, V. Dupuis, L. Favre, D. Kechrakos, A. Kleibert, K.-H. Meiwes-Broer, G. Pastor, A. Perez, O. Toulemonde, K. Trohidou, J. Tuaille, Y. Xie, Magnetic and structural properties of isolated and assembled clusters, *Surface Science Reports* 56 (6–7) (2005) 189.
13. A. P. Alivisatos, Less is more in medicine, *Scientific American* 285 (2001) 66.
14. C. J. Murphy, A. M. Gole, J. W. Stone, P. N. Sisco, A. M. Alkilany, E. C. Goldsmith, S. C. Baxter, Gold nanoparticles in biology: beyond toxicity to cellular imaging, *Accounts of Chemical Research* 41 (12) (2008) 1721.
15. R. W. Siegel, Cluster-assembled nanophase materials, *Annual Review of Materials Science* 21 (1991) 559.
16. K. Torigoe, K. Esumi, Preparation of bimetallic silver-palladium colloids from silver (i) bis (oxalato) palladate (ii), *Langmuir* 9 (7) (1993) 1664.

## Оптические свойства наночастиц алюминия в матрице гексогена при различных температурах

Каленский Александр Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор;  
Никитин Андрей Павлович, инженер, аспирант  
Кемеровский государственный университет

*Рассчитана зависимость коэффициента эффективности поглощения наночастиц алюминия в матрице гексогена от температуры на первой гармонике неодимового лазера (длина волны 1064 нм). При увеличении температуры от 300 до 700 К коэффициенты эффективности поглощения алюминия увеличиваются. При температуре 300 К максимальное значение коэффициента эффективности поглощения наночастицы алюминия составляет 0.626 для радиуса 104.5 нм. Наночастицы радиусом 101.8 нм, нагретые до 500 К, имеют максимальный коэффициент эффективности поглощения 1.078 при радиусе наночастицы 101.8 нм. При 700 К максимальное значение коэффициента эффективности поглощения возрастает до 1.361 для наночастицы радиусом 100.1 нм.*

**Ключевые слова:** коэффициенты эффективности поглощения; наночастицы алюминия; гексоген.

## Optical properties of the aluminum nanoparticles in a matrix of RDX at different temperatures

Kalensky Alexander Vasilyevich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor;  
Nikitin Andrey Pavlovich, an engineer, a graduate student  
Kemerovo State University (Kemerovo)

*The dependence of the coefficient of efficiency absorption of aluminum nanoparticles in a matrix of RDX on the temperature at the first harmonic of a neodymium laser (wavelength 1064 nm). By increasing the temperature from 300 to 700 K the coefficient of efficiency absorption of aluminum increases. At a temperature of 300 K maximum value of the coefficient of efficiency absorption of aluminum nanoparticles is 0.626 for the radius of 104.5 nm. Nanoparticle radius 101.8 nm, heated to 500 K, have a maximum coefficient of efficiency of absorption at 1.078 radius 101.8 nm nanoparticles. At 700 K, the maximum value of the coefficient of efficiency absorption increases to 1.361 for the nanoparticle radius of 100.1 nm.*

**Keywords:** absorption; aluminum nanoparticles; RDX.

Моделированию оптических свойств наночастиц посвящен ряд работ [1, с. 220, 2, с. 95, 3, с. 90]. Сложность исследования определяется зависимостью коэффициента эффективности поглощения ( $Q_a$ ) наночастиц (отношение сечения поглощения к геометрическому) от целого ряда свойств наночастицы и матрицы, в которой они находятся. Прикладной аспект заключается в практическом использовании процессов поглощения света наночастицами в исполнительных устройствах различного назначения. Самое большое влияние на  $Q_a$  оказывает природа металла. В работе [4, с. 11] рассчитаны максимальные значения коэффициентов эффективности поглощения наночастиц 12 наиболее распространенных металлов в матрице пентаэритриттетранитрата (тэна) (штатного взрывчатого вещества). Изучено влияние спектральных [5, с. 341, 6, с. 5] и размерных [7, с. 471, 8, с. 53, 9, с. 39] ха-

рактеристик наночастиц на величину максимального значения коэффициента эффективности поглощения. Первым следствием поглощения света наночастицами в матрице прозрачного вещества является их нагревание [10, с. 375, 11, с. 14]. В ряде устройств нагревание является вредным последствием, приводящем к деградации потребительских свойств материала. В других (в оптических детонаторах [12, с. 98, 13, с. 63, 14, с. 806]), эффективное нагревание наночастиц может заканчиваться переходом реакции разложения энергетического материала в самоускоряющийся режим и приводит к инициированию взрывчатого разложения [15, с. 195, 16, с. 3, 17, с. 95].

Однако при нагревании наночастицы происходит изменение физико-химических параметров образца, в частности: плотность, теплоемкость, теплопроводность, вазовое состояние [10, с. 376], комплексный показатель

преломления. Если первые параметры не очень сильно (до 15%) влияют на закономерности процесса нагревания наночастицы в поле лазерного излучения [10, с. 376], то влияние изменения  $Q_a$  с ростом температуры может быть значительным. Однако данный эффект до сих пор не учитывался. Целью настоящей работы является расчет коэффициентов эффективности поглощения наночастиц алюминия в гексогене при температурах 300–700 К на первой гармонике неодимового лазера, определение максимальных значений коэффициентов эффективности поглощения и радиусов, им соответствующих.

Достижение поставленных целей экспериментальными методами для комнатной температуры и даже одного радиуса наночастицы является чрезвычайно очень трудоемкой задачей [18, с. 127, 19, с. 350]. Кроме того, в силу экспериментальных трудностей синтеза наночастиц сферической формы одинакового радиуса и равномерного их распределения по матрице — не очень надежным способом решения поставленной задачи.

В работе [20, с. 686] показана корректность расчета оптических характеристик наночастиц металлов в рамках теории Ми. Поэтому зависимости  $Q_a$  наночастиц алюминия в матрице гексогена от радиуса ( $R$ ) и температуры ( $T$ ) рас-

считывались в рамках теории Ми. Коэффициент эффективности поглощения света определялся как разность коэффициентов эффективности экстинкции и рассеяния [20, с. 687, 21, с. 55, 22, с. 41]. Важнейшим параметром моделирования зависимости  $Q_a(R)$  является комплексный показатель преломления ( $m_i$ ) [23, с. 212].

Для алюминия значения  $m_i$  (при  $\lambda=1064$  нм) составляют величины  $3.4-8.7i$ ,  $3.9-6.2i$  и  $3.6-4.9i$  для температур 300 К, 500 К и 700 К соответственно [24, с. 81]. Диапазон температур определяется не только его важностью, но и наличием данных по  $m_i$  для этих температур. На рисунке 1 приведены рассчитанные зависимости коэффициентов эффективности поглощения  $Q_a(R)$  наночастиц алюминия в матрице с коэффициентом преломления 1.5 (гексоген) при температурах 300, 500 и 700 К. Зависимости  $Q_a(R)$  имеют максимумы ( $Q_{a\max}$ ), положения которых ( $R_{a\max}$ ) изменяются с увеличением  $T$ . При  $T=300$  К  $Q_{a\max}=0.6263$ ,  $R_{a\max}=104.5$  нм. Увеличение температуры до 500 К приводит к росту значения  $Q_{a\max}$  до 1.0778, и уменьшению  $R_{a\max}$  до 101.8 нм. При  $T=700$  К  $Q_{a\max}$  возрастает до 1.3610 при радиусе 100.1 нм. Амплитуда максимума  $Q_a$  существенно, больше чем в 2 раза, возрастает с увеличением температуры от 300 до 700 К, при этом по-

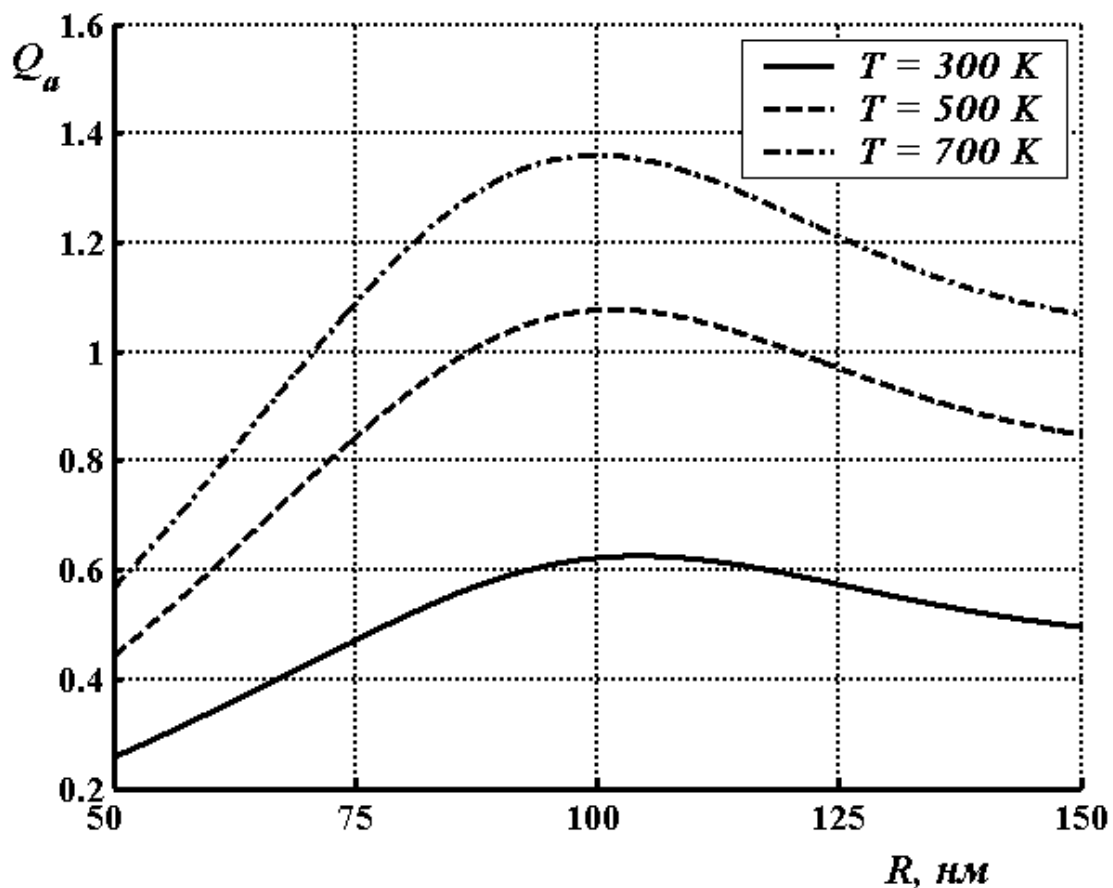


Рис. 1. Зависимости коэффициента эффективности поглощения наночастиц алюминия в гексогене от радиуса. Сплошная — 300 К; пунктир — 500 К; штрихпунктир — 700 К

ложение максимума ( $R_{a\ max}$ ) практически не изменяется, незначительно уменьшаясь.

Для исследования закономерностей нагревания наночастицы радиуса необходимо рассчитать зависимость  $Q_a(T)$  для определенного значения  $R$ . На рис. 2. точками представлена рассчитанная зависимость коэффициента эффективности поглощения наночастицы алюминия радиуса 160 нм от температуры. Выбор радиуса наночастицы определяется тем, что именно наночастицы такого радиуса лучше всего поглощают излучение первой гармоники неодимового лазера в диапазоне температур от 300 до 700 К.

Зависимость  $Q_a(T)$  является возрастающей, почти линейной, без экстремумов и поэтому может быть аппроксимирована полиномом второго порядка. Аппроксимация полиномами более высокого порядка не приводит к получению более достоверных результатов. Большая точность интерполяции не окупается потерей физического смысла полученных подгоночных параметров.

На рисунке 2 (сплошная линия) представлена аппроксимирующая зависимость  $Q_a(T) = -0.1911 * (T/300)^2 + 1.1910 * T/300 - 0.3773$ . Нормировка температуры на 300 К позволяет получить коэффициенты, имеющие физический смысл: их сумма равна коэффициенту эффективности

поглощения при комнатной температуре. Значительно большее значение второго коэффициента определяет преимущественно линейное возрастание  $Q_a$  с увеличением температуры. Отрицательное значение первого коэффициента разложения определяет уменьшение скорости нарастания зависимости  $Q_a(T)$ . Следовательно, зависимость  $Q_a(T)$  имеет экстремум при 1870 К, когда наночастицы алюминия давно находятся в расплавленном состоянии.

Рассчитанные значения коэффициентов эффективности поглощения наночастиц алюминия радиусом 50, 75, 100, 125 и 150 нм в матрице с показателем преломления 1.5, что соответствует гексогену, приведены в таблице 1. Из приведенных в таблице результатов видно, что максимальный коэффициент эффективности поглощения наблюдается для наночастиц диаметром 200 нм при всех температурах (300, 500 и 700 К). Увеличение радиуса на 25 нм, относительно оптимального, приводит к незначительному уменьшению коэффициента эффективности поглощения (~10%). Уменьшение размера наночастицы на такую же величину приводит к более существенному уменьшению значения  $Q_a$  (~25%).

Начатое в работе исследование зависимости  $Q_a(T)$  очень важно для прикладных исследований оптимизации

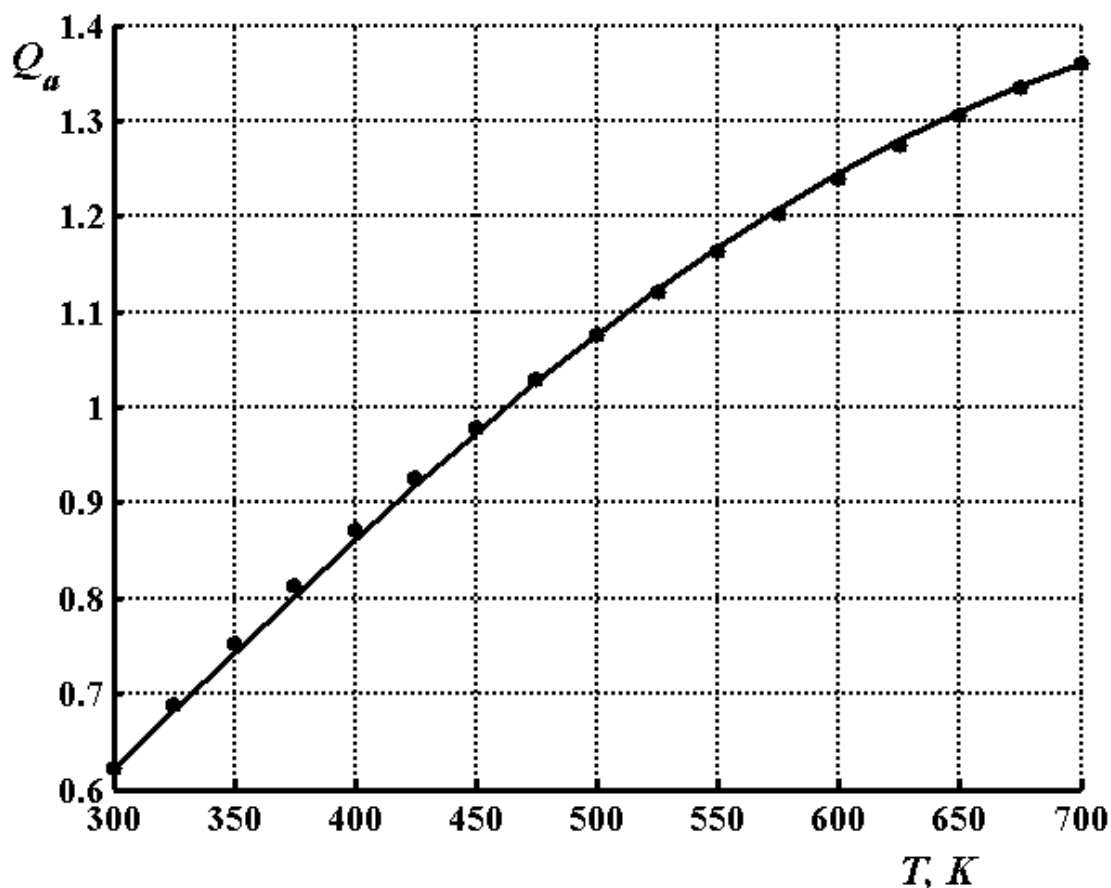


Рис. 2. Зависимость коэффициента эффективности поглощения наночастицы алюминия радиуса 160 нм в матрице гексогена от температуры, точки – расчет, линия – аппроксимация полиномом второго порядка

Таблица 1

Коэффициенты эффективности поглощения наночастиц алюминия в матрице гексогена при температурах 300 К, 500 К и 700 К.

$R$ , нм	$Q_a$ (300)	$Q_a$ (500)	$Q_a$ (700)
50	0.2561	0.4399	0.5656
75	0.4710	0.8413	1.0878
100	0.6225	1.0767	1.3610
125	0.5746	0.9713	1.2122
150	0.4969	0.8495	1.0704

исполнительных устройств на основе наночастиц металла в прозрачной матрице. Если нагревание наночастиц нежелательно, необходимо вводить наночастицы радиусом менее 25 нм, которые слабо поглощают. Когда облучение лазерным импульсом проводится с целью нагревания наночастицы (как в оптических детонаторах [25, 26, с. 93, 27, с. 120]), необходимо использовать наночастицы ради-

усом около 100 нм. Следует отметить, что увеличение  $Q_a$  с ростом температуры является значительным эффектом (более чем в 2 раза) при увеличении температуры от 300 до 700 К и для наночастиц алюминия коэффициенты эффективности поглощения с температурой изменяются сильнее, чем при переходе от первой ко второй гармоникам неодимового лазера [28, с. 99, 29, с. 41].

#### Литература:

1. Звекон, А.А. Расчет оптических свойств композитов пентаэритрит тетранитрат — наночастицы кобальта/А.А. Звекон, А.В. Каленский, Б.П. Адуев и др.// Журнал прикладной спектроскопии. — 2015. — Т. 82. — №2. — с. 219–226.
2. Зыков, И.Ю. Спектральная зависимость коэффициентов эффективности поглощения наночастиц серебра в прозрачной матрице/И.Ю. Зыков, О.В. Одинцова// Аспирант. — 2014. №5. с. 94–97.
3. Газенаур, Н.В. Зависимость показателя поглощения меди от длины волны/Н.В. Газенаур, И.Ю. Зыков, А.В. Каленский // Аспирант. — 2014. — №5. — с. 89–93.
4. Ананьева, М.В. Перспективные составы для капсуля оптического детонатора/М.В. Ананьева, А.А. Звекон, И.Ю. Зыков и др.// Перспективные материалы. — 2014. — №7. — с. 5–12.
5. Каленский, А.В. Спектральная зависимость критической плотности энергии иницирования композитов на основе пентаэритриттетранитрата с наночастицами никеля/А.В. Каленский, М.В. Ананьева, А.А. Звекон и др.// Фундаментальные проблемы современного материаловедения. — 2014. — Т. 11. — №3. — с. 340–345.
6. Каленский, А.В. Оптические характеристики наночастиц никеля в прозрачных матрицах/А.В. Каленский, М.В. Ананьева, А.П. Никитин // Современные научные исследования и инновации. 2014. №11–1 (43). с. 5–13.
7. Ananyeva, M. V. The size effects and before-threshold mode of solid-state chain reaction/M. V. Ananyeva, A. V. Kalenskii // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Химия. — 2014. — Т. 7. — №4. — с. 470–479.
8. Ананьева, М.В. Иницирование взрывного разложения микрокристаллов азиды серебра/А.В. Каленский, М.В. Ананьева // Молодой ученый. — 2014. — №19. — с. 52–55.
9. Боровикова, А.П. Пространственно-временные характеристики волны горения в азиде серебра/А.П. Боровикова, А.В. Каленский, И.Ю. Зыков// Аспирант. — 2014. — №3. — с. 37–42.
10. Кригер, В.Г. Процессы теплопереноса при лазерном разогреве включений в инертной матрице/В.Г. Кригер, А.В. Каленский, А.А. Звекон, И.Ю. Зыков, А.П. Никитин // Теплофизика и аэромеханика. — 2013. — Т. 20. — №3. — с. 375–382.
11. Ananyeva, M. V. Comparative analysis of energetic materials explosion chain and thermal mechanisms/M. V. Ananyeva, V. G. Kriger, A. V. Kalenskii and others // Известия высших учебных заведений. Физика. — 2012. — Т. 55. — №11–3. — с. 13–17.
12. Каленский, А.В. Влияние длины волны лазерного излучения на критическую плотность энергии иницирования энергетических материалов/А.В. Каленский, А.А. Звекон, М.В. Ананьева и др. // Физика горения и взрыва. — 2014. — Т. 50. — №3. — с. 98–104.
13. Kalenskii, A. V. The Microcenter Heat Explosion Model Modernization/A. V. Kalenskii, V. G. Kriger, A. A. Zvekov and others // Известия ВУЗов. Физика. — 2012. — Т. 55. — №11–3. — с. 62–66.
14. Kalenskii, A. V. Spectral regularities of the critical energy density of the pentaerythritol tetranitrate-aluminium nanosystems initiated by the laser pulse/A. V. Kalenskii, M. V. Ananyeva // Наносистемы: физика, химия, математика. — 2014. — Т. 5. — №6. — с. 803–810.



15. Ананьева, М. В. Кинетические закономерности взрывного разложения ТЭНа, содержащего наноразмерные включения алюминия, кобальта и никеля/М. В. Ананьева, А. В. Каленский, Е. А. Гришаева и др. // Вестник КемГУ. — 2014. — № 1–1 (57). — с. 194–200.
16. Ананьева, М. В. Математическое моделирование взрывного разложения энергетических материалов/М. В. Ананьева, А. В. Каленский // Молодой ученый. — 2014. — № 21. — с. 1–6.
17. Боровикова, А. П. Методика моделирования распространения взрывного разложения азида серебра/А. П. Боровикова, А. В. Каленский // Аспирант. — 2014. № 4. — с. 96–100.
18. Адуев, Б. П. Исследование оптических свойств наночастиц алюминия в тетранитропентаэритрите с использованием фотометрического шара/Б. П. Адуев, Д. Р. Нурмухаметов, Г. М. Белокуров и др. // Журнал технической физики. — 2014. — Т. 84. — № 9. — с. 126–131.
19. Звекон, А. А. Моделирование распределения интенсивности в прозрачной среде с Френелевскими границами, содержащей наночастицы алюминия/А. А. Звекон, А. В. Каленский, А. П. Никитин и др. // Компьютерная оптика. — 2014. — Т. 38. — № 4. — с. 749–756.
20. Zvekov, A. A. Regularities of light diffusion in the composite material pentaerythritol tetranitrate — nickel/A. A. Zvekov, M. V. Ananyeva, A. V. Kalenskii and others // Наносистемы: физика, химия, математика. — 2014. — Т. 5. — № 5. — с. 685–691.
21. Лукатова, С. Г. Спектральные закономерности коэффициентов эффективности поглощения композитов золото-тэн/С. Г. Лукатова // Современные фундаментальные и прикладные исследования. — 2014. — № 2 (13). — с. 54–58.
22. Одинцова, О. В. Расчет коэффициентов эффективности поглощения наночастиц серебра в пентаэритритатетранитрате/О. В. Одинцова // Современные фундаментальные и прикладные исследования. — 2014. — № 3 (14). — с. 40–44.
23. Каленский, А. В. Взрывная чувствительность композитов тэн-алюминий к действию импульсного лазерного излучения/А. В. Каленский, И. Ю. Зыков, М. В. Ананьева и др. // Вестник КемГУ. — 2014. — № 3–3 (59). — с. 211–217.
24. Магунов, А. Н. Лазерная термометрия твердых тел. — М.: Физматлит, 2001. 224 с.
25. Кригер, В. Г. Способ регулирования порога инициирования оптического детонатора/В. Г. Кригер, А. В. Каленский, М. В. Ананьева и др. // патент на изобретение RUS. № 2538263. 26.06.2013.
26. Адуев, Б. П., Ананьева М. В., Звекон А. А. и др. Микроочаговая модель лазерного инициирования взрывного разложения энергетических материалов с учетом плавления// Физика горения и взрыва. — 2014. — Т. 50. — № 6. — с. 92–99.
27. Каленский, А. В. Кинетические закономерности взрывчатого разложения таблеток тетранитропентаэритрит-алюминий/А. В. Каленский, А. А. Звекон, М. В. Ананьева и др. // Журнал технической физики. — 2015. — Т. 85. № 3. — с. 119–123.
28. Каленский, А. В. Влияние длины волны лазерного излучения на критическую плотность энергии инициирования энергетических материалов/А. В. Каленский, А. А. Звекон, М. В. Ананьева и др. // Физика горения и взрыва. — 2014. — Т. 50. — № 3. — с. 98–104.
29. Адуев, Б. П. Взрывчатое разложение ТЭНа с нанодобавками алюминия при воздействии импульсного лазерного излучения различной длины волны/Б. П. Адуев, Д. Р. Нурмухаметов, Р. И. Фурега и др. // Химическая физика. — 2013. — Т. 32. — № 8. — с. 39–42.

## Исследование прочности паяных соединений

### «металлокерамика — лемешная сталь»

Ложкин Кирилл Иванович, студент;

Добриков Вячеслав Алексеевич, студент

Научный руководитель: Гончаренко Владимир Владимирович, кандидат технических наук, доцент

Орловский государственный аграрный университет

**Д**ля решения проблемы использования электролизеров в ремонтном производстве, в частности, для пайки металло-керамических пластин на лемех плуга необходимо исследовать механизм пайки с использованием водородно-кислородного пламени, а также прочность паяных соединений на отрыв.

Напряженное состояние в паяном шве в нахлесточных соединениях считается плоским, и под действием внешних сил в паяном шве создаются касательные напряжения  $\tau$  и нормальные напряжения  $\sigma_1, \sigma_2$ . Касательные напряжения составляют 0,5...0,6 от допустимых значений нормальных напряжений [3], т. е.

$$\tau = (0,5...0,6)\sigma \tag{1}$$

Кроме того, поскольку соединяемые детали являются закладными то необходимо произвести расчет на отрыв, при котором расчет производится по нормальным напряжениям. Концентраторы касательных напряжений будут тем выше чем выше соотношения модулей упругости соединяемых деталей  $E_1$  и  $E_2$  к модулю упругости припоя  $E$  (рис.1).

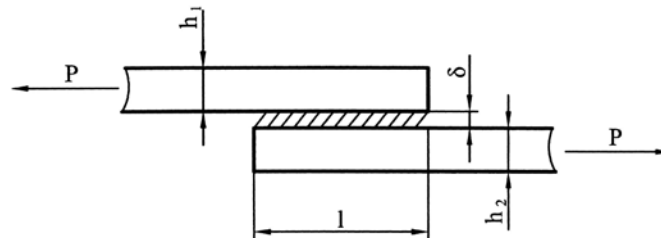


Рис. 1. Нахлесточное соединение:  $l$  – длина нахлестки;  $\delta$  – толщина паяного шва;  $h_1, h_2$  – толщина деталей;  $P$  – сила.

Для оценки максимального касательного напряжения  $\tau_{max}$  Майноласом К. [1] предложено соотношение:

$$\tau_{max} = \tau_m \sqrt{\frac{\Delta}{\psi}} \left( \psi_0 - 1 + ch \frac{\sqrt{\Delta\psi_0}}{ch\sqrt{\Delta\psi_0}} \right) \tag{2}$$

где  $\Delta = \frac{G \cdot l^2}{E_2 \cdot h_2 \cdot \delta}$ ;

$$\psi_0 = \frac{E_1 \cdot h_1 + E_2 \cdot h_2}{E_1 \cdot h_1}.$$

Величина концентрации напряжений  $K_T = \frac{\tau_{max}}{\tau_m}$  для соединения двух разнородных пластин (сталь Л-65 и металлокерамической пластины ВК-8) с использованием водородно-кислородного пламени составляет  $K_T = 8,41$  при  $h_1 = 10$  мм,  $h_2 = 20$  мм,  $\delta = 0,2$  мм,  $E_1 = 160$  ГПа,  $E_2 = 220$  ГПа,  $G = 8 \cdot 10^{10}$  Па.

Распределение напряжений по Сажину А. М. в нахлесточных соединениях распределяются следующим образом. В соединяемых деталях возникают нормальные напряжения  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  и соответствующие им деформации  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$ , а в паяном шве только касательные напряжения  $\tau$  (рис. 2) и соответствующие им угловые деформации  $j$ .

$$\frac{\delta \cdot dj}{dx} = \varepsilon_2 - \varepsilon_1 \tag{3}$$

Из условия равновесия паяного соединения получим:

$$\frac{h_1 \cdot d\sigma_1}{dx} = -\tau; \quad \frac{h_2 \cdot d\sigma_2}{dx} = \tau \tag{4}$$

$$\sigma_1 \cdot h_1 + \sigma_2 \cdot h_2 = \frac{P}{b}; \text{ где } b \text{ — ширина нахлестки.}$$

По закону Гука:

$$\sigma_1 = E_1 \cdot \varepsilon_1, \quad \sigma_2 = E_2 \cdot \varepsilon_2, \quad \tau = j \cdot G \tag{5}$$

Решение уравнений (4) — (6) дает:

$$\sigma_2'' - \alpha_{II} \cdot \sigma_2' + \beta_{II} \cdot \sigma_2 = 0 \tag{6}$$

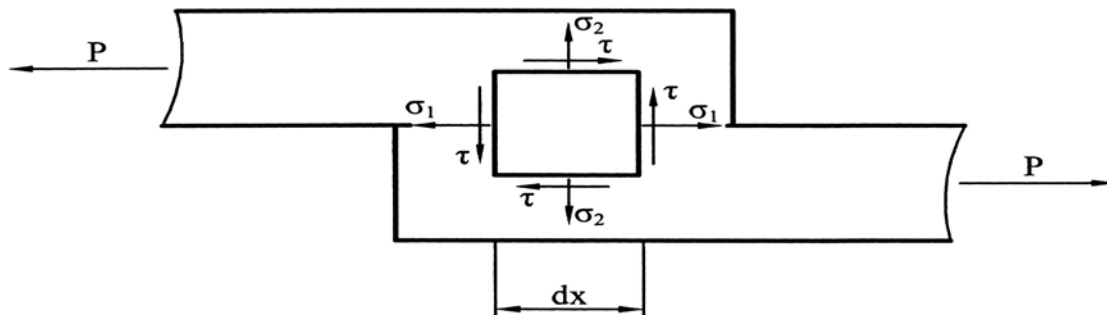


Рис. 2. Характер напряженного состояния в нахлесточном соединении:  $\sigma_1$  – осевое напряжение;  $\sigma_2$  – отрывное напряжение;  $\tau$  – касательное напряжение

где  $\alpha_{II} = \sqrt{\frac{\beta_{II}}{\psi_{II}}}$ ;  $\beta_{II} = \frac{G}{\delta \cdot E_1 \cdot h_1}$ ;  $\psi_{II} = \frac{E_2 \cdot h_2}{E_1 \cdot h_1 + E_2 \cdot h_2}$ .

Решение уравнения (6) с учетом ранее полученных соотношений позволяет определить напряжения в произвольной точке паяного соединения в зависимости от координаты x.

$$\begin{cases} \sigma_1 = \sigma_{10} [1 - \psi_{II} \cdot (1 - ch(\alpha_{II} \cdot x))] - \frac{1 - \psi_{II} \cdot (1 - ch(\alpha_{II} \cdot l))}{sh(\alpha_{II} \cdot l) \cdot sh(\alpha_{II} \cdot x)} \\ \sigma_2 = \sigma_{2l} [\psi_{II} (1 - ch(\alpha_{II} \cdot x))] + \frac{1 - \psi_{II} \cdot (1 - ch(\alpha_{II} \cdot l))}{sh(\alpha_{II} \cdot l) \cdot sh(\alpha_{II} \cdot x)} \\ \tau = \tau_m \cdot \alpha_{II} \cdot l \cdot \frac{1 - \psi_{II} \cdot (1 - sh(\alpha_{II} \cdot l))}{sh(\alpha_{II} \cdot l) \cdot ch(\alpha_{II} \cdot x) - \psi_{II} \cdot sh(\alpha_{II} \cdot x)} \end{cases} \quad (7)$$

Получим:  $\tau_{x=0} = \tau_{x=l} = 8 \cdot \tau_m$ .

Напряжения (рис. 3) связаны с деформациями следующими соотношениями:

$$\varepsilon_1 = \frac{N_1 \cdot F_1}{E_1}; \varepsilon_2 = \frac{N_2 \cdot F_2}{E_2}; \varepsilon_y = \frac{\sigma_y}{E}; j = \frac{\tau}{G} \quad (8)$$

Из условия равновесия:

$$N'_1 = -\tau; N'_2 = \tau \quad (9)$$

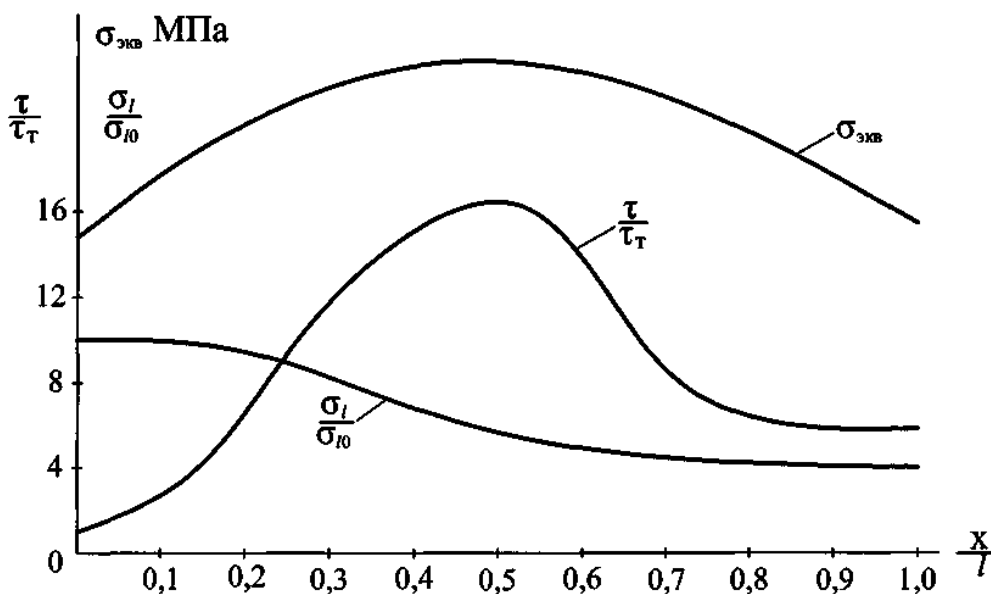


Рис. 3. Распределение напряжений по длине нахлестки.

Из системы уравнений (8) — (9):

$$\tau''' - \mu_1^2 \cdot \tau = 0 \text{ — трансцендентное уравнение} \quad (10)$$

$$\text{где } \mu_1 = \sqrt{\frac{8 \cdot G}{E_1 \cdot h_1 \cdot \delta}}.$$

Решение уравнения (10) дает частное и общее решение для центра.

$$\tau = \eta_1 + \nu_1 \cdot \frac{ch\left(\frac{\mu_1}{x}\right)}{sh\left(\frac{\mu_1}{l}\right)} \quad (11)$$

$$\text{где } \eta_1 = \frac{3 \cdot N_0}{8 \cdot l}; \nu_1 = \mu_1 \cdot \frac{N_0}{8}$$

где  $N_0$  — усилие от растяжения сплошного бруса, имеющего форму паяного соединения:

$$N_0 = \frac{P}{b} = 52,945 \text{ кН.}$$

Анализ соотношения (8) показывает, что наиболее прочным будет соединения с накладками у которых  $h_1 = 0,5 \cdot h_2$ . Несущая способность таких соединений в 1,31 раза больше соединения с одной накладкой. Отклонений толщины накладок в любую сторону от оптимального соотношения может уменьшить несущую способность соединения.

Аналогично (7) Сажин А. М. получил формулу для расчета деталей с симметричной нахлесткой.

$$\tau = \tau_m \left\{ 1 - \left[ \frac{A_1}{\cos(2\pi x)} + A_2 \cdot \cos(4\pi x) \right] \right\} \quad (12)$$

$$\text{где } A_1 = \frac{a^2 + 53,2 \cdot a + 1000}{0,5 \cdot a^2 + 35,6 \cdot a + 542}; A_2 = \frac{9 \cdot a + 42}{0,5 \cdot a^2 + 35,6 \cdot a + 542}; a = \frac{G \cdot l^2}{E_1 \cdot h_1 \cdot \delta}.$$

Все приведенные зависимости показывают хорошую сходимость результатов.

Расчеты по соотношениям для напряжений полученные различными способами согласуются друг с другом с погрешностью до 5 %, что говорит о правильности представленной модели.

Максимальные значения напряжений, полученные при расчетах на срез и отрыв в 5 раз меньше напряжений в наиболее напряженном элементе соединения, что говорит о высокой долговечности данного вида изделий.

Для ВК-8 значения напряжений составляют 115÷120 МПа [2].

Результаты расчетов и их сверка по 3 и 4 теориям прочности показывает, что эквивалентное напряжение в данном паяном соединении достигают 25...28 МПа, что как показывалось выше значительно ниже предельных значений полученных в эксперименте.

$$\text{III — теория прочности } \sigma_{\text{экр}} = \sqrt{\sigma^2 + 4 \cdot \tau^2} \leq [\sigma] = 120 \text{ МПа}$$

$$\text{IV — теория прочности } \sigma_{\text{экр}} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} \leq [\sigma] = 120 \text{ МПа}$$

Предложенный вид соединения может выдержать превышение расчетных нагрузок в 4...5 раз, что говорит о надежности соединения при динамических воздействиях с коэффициентом динамичности ( $k_d$ )  $k_d = 5$  является очень хорошим результатом.

Для подтверждения теоретических расчетов были проведены экспериментальные испытания прочности паяных соединений с использованием водородно-кислородного пламени в соответствии с требованием государственного стандарта. Испытания проводились в лабораторных условиях ОрелГАУ с использованием разрывной машины Р-20 (рис.4).

Установлено, что с увеличением площади нахлестки прочность соединения увеличивается. Рациональная площадь нахлестки 288...320 мм<sup>2</sup> (рис. 5, б). При увеличении площади нахлестки выше приведенных значений, предел прочности снижается. Это хорошо согласуется с зависимостью площади растекания припоя от угла смачивания (рис. 6). Например для сплава ВК-8 при уменьшении угла смачивания  $\beta=16^\circ$  площадь растекания увеличивается ( $S=395$  мм<sup>2</sup>), а при увеличении  $\beta=25^\circ$  площадь растекания уменьшается ( $S=316$  мм<sup>2</sup>). Подобная зависимость характерна для лемешной стали Л-65. Полученные данные соответствуют необходимым техническим требованиям.



Рис. 4. Разрывная машина тип P-20

При увеличении глубины паза прочность увеличивается (рис. 4, в), рациональная глубина паза 4...4,5 мм. Указанная глубина обуславливается предельной толщиной лемеха.

Анализ зазоров между паяными образцами (рис. 5, а) показал, что оптимальная прочность паяного соединения 123 МПа достигается при зазоре равном 1,0 мм. Рациональный зазор между паяными образцами 0,5...0,75 мм. Прочность паяного соединения составит при этом 120...121 МПа. Это связано с тем, что при зазорах свыше 0,8 мм наблюдается послойная направленная кристаллизация, приводящая к образованию трещин.

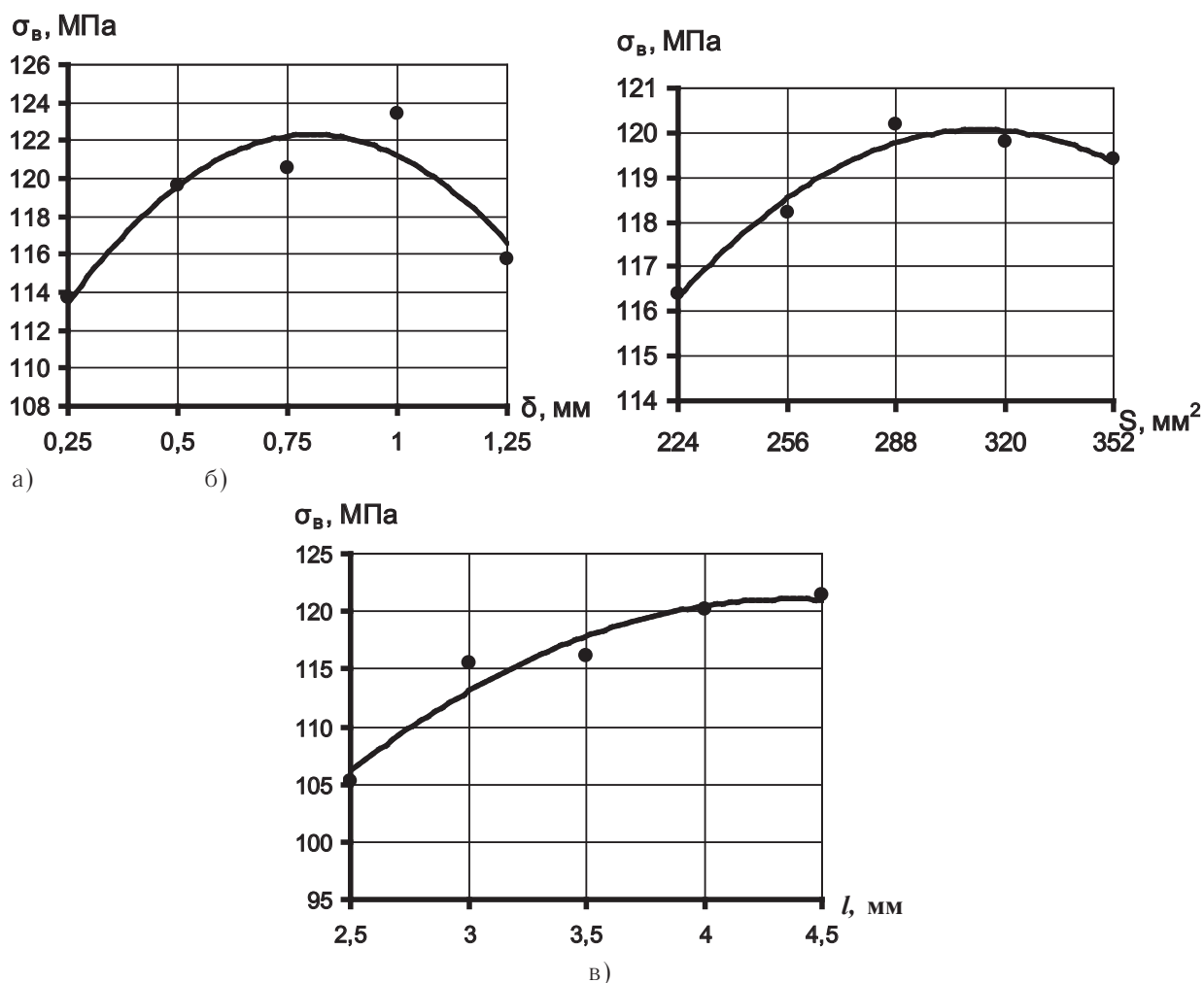


Рис. 5. Зависимость прочности  $\sigma_v$  паяного соединения образцов из металлокерамики (ВК-8) и металла лемеха (Л65) от: а) зазора между паяными образцами  $\delta$ , мм, б) площади растекания припоя  $S$ , мм<sup>2</sup>, в) глубины паза  $l$ , мм.

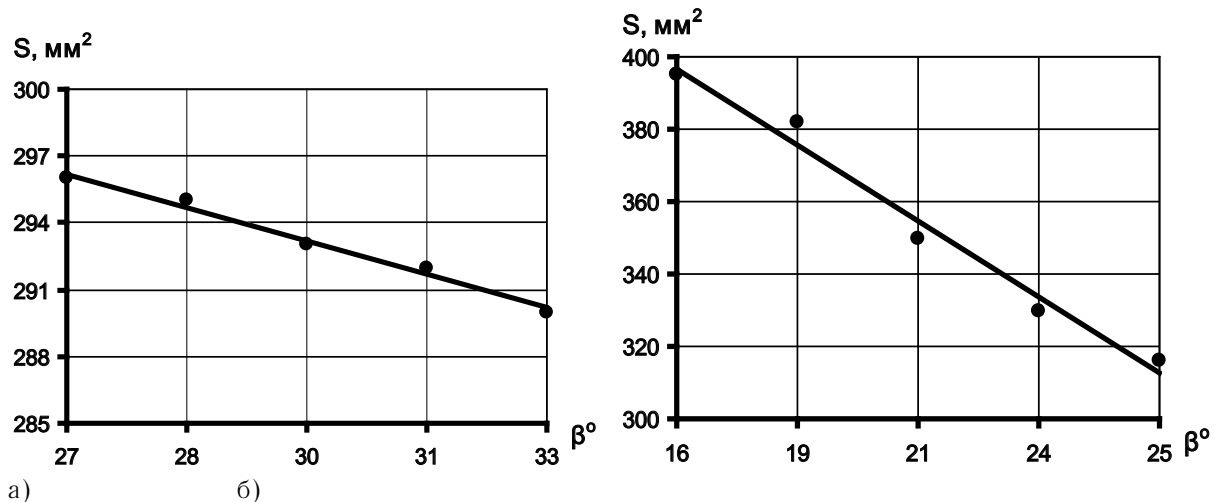


Рис. 6. Зависимость площади растекания от угла смачивания для материалов из металлокерамической пластины ВК-8 (а) и металла лемеха Л65 (б).

Для установления влияния основных факторов, влияющих на изменение прочности  $\sigma_B$ , а также их взаимного влияния друг на друга, проведен полный факторный эксперимент  $2^3$ . Исследуемые факторы:  $x_1$  — зазор между паяными образцами,  $\delta$ , мм;  $x_2$  — площадь нахлестки металлокерамических пластин,  $S$ ,  $\text{mm}^2$ ;  $x_3$  — глубина паза,  $l$ , мм. Функция отклика  $y$  — прочность  $\sigma_B$  паяных образцов из металлокерамики (ВК-8) и лемешной стали (Л65), МПа.

Исследуемый процесс адекватно описывается уравнением регрессии:

$$Y = 41,5649 + 34,4625x_1 + 0,1767x_2 + 8,3407x_3 - 0,0107x_1x_2 + 3,3926x_1x_3 + 0,0162x_2x_3 - 22,97x_1^2 - 0,0004x_2^2 - 1,1493x_3^2 \quad (13)$$

Данное уравнение достаточно точно описывает влияние факторов в зависимости от зазора между паяными образцами, глубины паза и площади нахлестки пластин.

Вычисления коэффициентов регрессии, а также других статистических показателей проводились с использованием вычислительных средств, прикладной программы Microsoft Excel. Анализ показывает, что на изменение прочности паяного соединения наибольшее влияние оказывает зазор между паяными образцами, в меньшей степени глубина паза. Влияние площади нахлестки пластин незначительно.

Из теории следует, что наиболее опасным сечением по касательным напряжениям является среднее сечение паяного шва. Максимальное нормальное напряжение на границах паяного шва, что из графика и следует (рис. 3), но наиболее опасным будет то сечение паяного шва, где велики, как касательные, так и нормальные напряжения. Данные результаты хорошо согласуются с теорией, так как полученное на практике соотношение  $x/l=0,45$ , а в теории  $x/l=0,5$ .

Наложение трех графиков (рис. 5, а, б, в) друг на друга с единым масштабом по оси абсцисс позволяет выбрать рациональные параметры площади нахлестки, глубины паза, зазора между паяными образцами по трем максимальным значениям напряжений. Сопоставление их с рисунком 3 показывает хорошую сходимость результатов по III и IV теории прочности.

#### Выводы

1. Анализ напряжений  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\tau$  показал, что наиболее прочным будет соединение с накладками у которых  $h_1 = 0,5 \cdot h_2$ . Несущая способность таких соединений в 1,31 раза больше соединения с одной накладкой. Отклонений толщины накладок в любую сторону от оптимального соотношения может уменьшить несущую способность соединения.

2. Предлагаемый вид соединения может выдержать превышение расчетных нагрузок в 4..5 раз, что говорит о надежности соединения при динамических воздействиях с коэффициентом динамичности ( $k_d$ )  $k_d = 5$ .

3. По данным теоретических расчетов и экспериментальных испытаний видно, что значения предела прочности различаются не значительно, а следовательно использование водородно-кислородного пламени для пайки металлокерамических пластин на лезвие лемеха для его упрочнения, не влияет на конструктивные характеристики прочности паяного соединения.

4. Приведенный полный 2-уровневый факторный эксперимент типа  $2^3$ , который ставился в локальной области времени указывает, что теоретические значения предела прочности  $\sigma_B$  практически не отличается от экспериментальных значений.

5. Для восстановления и упрочнения лемеха плуга пайкой с использованием водородно-кислородного пламени целесообразно применение сварочных установок МБВ-500, Энергия-1,5 УХЛ4, Москва-10 взамен традиционных баллонных газов (ацетилена, пропана, кислорода и др.).

#### Литература:

1. Гончаренко, В. В. Технология восстановления и упрочнения лемехов плугов металлокерамическими пластинами: автореф. дис... канд. техн. наук. — М., 2007—16 с.
2. Пат. 2344913 Российская Федерация, МПК7 В23Р6/00, В23К1/00, А01В15/04. Способ восстановления лемехов плугов [Текст]/В.В. Гончаренко; опубли. 27.01.2009, Бюл. №3. — 3 с.
3. Кузнецов, О. А. Прочность паяных соединений [Текст]/О. А. Кузнецов, А. И. Погалов. — М.: Машиностроение, 1987. — с. 40—41.

## Автоматизация подачи заданных расходов воды с двумя системами регулирования на открытых каналах оросительных систем

Мелихов Константин Михайлович, кандидат технических наук, доцент;  
Сорокина Елена Ивановна, кандидат технических наук, доцент;  
Маковкина Лилия Николаевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент  
Волгоградский государственный аграрный университет

*В настоящей статье предложен авторегулятор подачи заданного расхода воды с подвижным водосливом. Намечены аспекты исследования по авторегулятору данного типа и возможность комбинирования его с другими средствами автоматизации.*

**Ключевые слова:** водоучет, автоматизация, авторегулятор, оросительная система.

Одним из главных направлений повышения эффективности оросительных систем является автоматизация процесса водораспределения с организацией оперативного и достоверного водоучета. Существующая техника и организация гидрометрических работ на оросительных системах требует технического совершенствования, внедрения простых, надежных и энергонезависимых средств водоподачи и водоучета.

В настоящее время в Волгоградской области третья часть оросительных угодий находится в Заволжье. Здесь функционируют достаточно крупные оросительные системы с большим потенциалом, который, к сожалению, не используется: Тажинская и Ленинская, Большая Волгоградская, Кисловская и т. д. На оросительных системах практически нет водомерных сооружений. На каналах управляют технологическими процессами, как правило, вручную. Эксплуатационники измеряют расход воды с помощью рейки и гидрометрической вертушки.

Гидравлическая особенность каналов, рассматриваемых оросительных систем, заключается в том, что каналы имеют незначительные уклоны — 0,0007...0,00006. Скорость потока составляет менее 0,9 м/с, глубина воды в каналах вирируется в пределах 1,25—2,6 м. Каналы подвержены заилению, они работают в подпорных режимах при максимальном наполнении, обеспечивая заданное командование над орошаемыми участками. В бьефах каналов аккумулируются резервные объемы воды, которые

можно использовать для внедрения технических средств с гидроприводом.

На оросительных системах могут быть применены следующие способы автоматизации водораспределения:

1. автоматизация регулированием уровня воды: по верхнему бьефу; по нижнему бьефу; смешанное регулирование;
2. автоматизация водораспределения регулированием перепада уровней воды;
3. автоматизация водораспределения регулированием объема воды: регулирование с перетекающими объемами; регулирование непосредственным отбором расходов.

Для автоматизации подачи заданного расхода из командного канала в подкомандный нами предлагается использовать авторегулятор с подвижным в процессе работы водосливом. Заданный расход подается за счет поддержания постоянного слоя воды, переливающегося через водослив.

Поплавок имеет полую сердцевину в виде ковша прямоугольной или радиальной форы. При подборе определенной нагрузки которую необходимо приложить в центре поплавка, можно задать постоянный расход, путем поддержания уровня воды над порогом водослива.

В исследованиях авторегулятора необходимо рассмотреть следующие вопросы:

1. Определить форму и размеры водослива;
2. Изучить работу водослива при подтопленном и не подтопленном режиме работы;

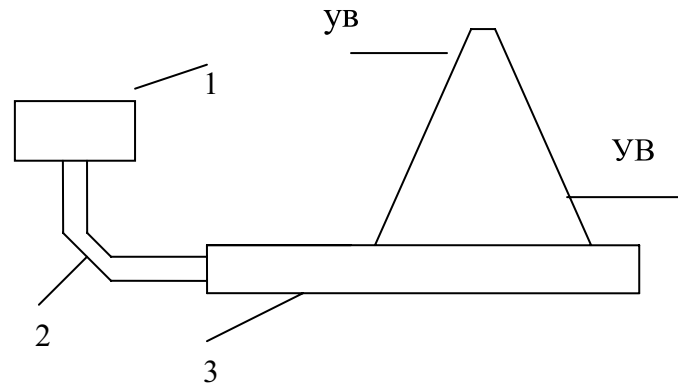


Рис. 1. Схема авторегулятора с подвижным водосливом: 1 – подвижный водослив (поплавок), 2 – гибкий шланг, 3 – трубчатый водослив

3. Определить жесткость длину и диаметр гибкого шланга (диаметр шланга должен совпадать с диаметром водослива);

4. Изучить работу авторегулятора в напорном и безнапорном режиме работы.

Предварительными расчетами установлено, что периметр водосливного фронта водослива для подачи расхода 200 л/с., при напоре над порогом 0,2 м., должен быть:

$$b = \frac{Q}{m\sqrt{2gH^{3/2}}} = \frac{0,2}{0,42\sqrt{2 * 9,81 * 0,2^{3/2}}} = 1,21 \text{ м.}$$

где  $m$  — коэффициент расхода.

Данный расчет показывает, что применение предлагаемого авторегулятора возможно, например для головной части каналов оросителей.

При этом если канал ороситель является тупиковым, возникает опасность переполнения его, или необходимо постоянное наблюдение за ним.

Для предотвращения этого предлагается комбинирование авторегулятора с подвижным водосливом и регулятором уровня воды НБ. Например автоматический трубчатый водовыпуск с водорегулированием по нижнему бьефу (а. с. № 1300427, на имя М. Н. Мелихова, А. А. Пахомова).

#### **Щитовой авторегулятор с камерой давления**

Устройство содержит водовыпускную трубу 1, щитовой затвор 2, установленный на оси вращения 3, и камеру переменного объема 4, которая образована напорным щитом 5, основанием 6 и гибкой оболочкой 7, закрепленной по периметру основания и напорного щита 5. Последний соединен жестко одной из кромок с щитовым затвором 2. Камера 4 переменного объема сообщена с водовыпускной трубой 1 водовыпускным отверстием 8, которое перекрыто решеткой 9 для предотвращения засорения камеры и переменного объема 4. Щитовой затвор 2 управляется по-

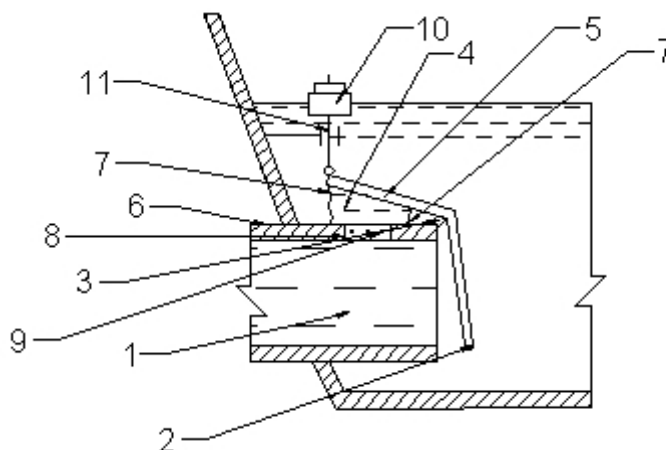


Рис. 1. Щитовой авторегулятор с камерой противодавления: 1 – водовыпускная труба; 2 – щитовой затвор; 3 – ось вращения; 4 – камера противодавления; 5 – щит; 6 – основание; 7 – гибкая оболочка; 8 – отверстие; 9 – решетка; 10 – поплавок; 11 – штанга



плавком 10, который связан штангой 11 с напорным щитом 5. Последний установлен на оси вращения 3.

Принцип работы автоматического трубчатого водовыпуска основан на уравнивании моментов относительно оси вращения от давления воды на щитовой затвор 2 и напорный щит 5. Управляющее усилие создается перемещением вверх или вниз поплавка 10, который вносит разбаланс в систему равновесия. При ходе его вверх (при повышении уровня) щитовой затвор 2 закрывается, а в противоположном случае открывается. По-

этому с целью снижения управляющего усилия автоматический трубчатый водовыпуск должен быть рассчитан таким образом, чтобы моменты от давления воды на щитовой затвор и напорный щит 5 были равны между собой. Это достигается подбором эффективной площади напорного щита 5 и размеров водовыпускного отверстия 8.

Предлагаемый регулятор имеет малое гидравлическое сопротивление, а следовательно, и небольшие потери напора, что очень важно при малых перепадах уровней между старшим и младшим каналами.

#### Литература:

1. Мелихов, М. Н., Пахомов А. А. Автоматический трубчатый водовыпуск./Авторское свидетельство № 1300427, заявка № 3975548.
2. Мелихов, М. Н. Учебное пособие Автоматизация водораспределения на оросительные системы/Волгоград, 1999. — 72 С.

## Совместная задача газовой динамики и теории упругости применительно к расчету многолепестковых газодинамических подшипников с активным управлением

Сытин Антон Валерьевич, кандидат технических наук, доцент;

Тюрин Валентин Олегович, аспирант;

Антонов Сергей Дмитриевич, студент

Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс (г. Орел)

Одним из перспективных направлений развития в области динамики высокоскоростных роторов (рисунок 1) является разработка активного управления опор вала. В современном машиностроении является актуальным использование многолепестковых газодинамических подшипников (МЛГДП), отличающихся тем, что опорная поверхность образована комбинацией тонкостенных упругих элементов, покрытых антифрикционными материалами.

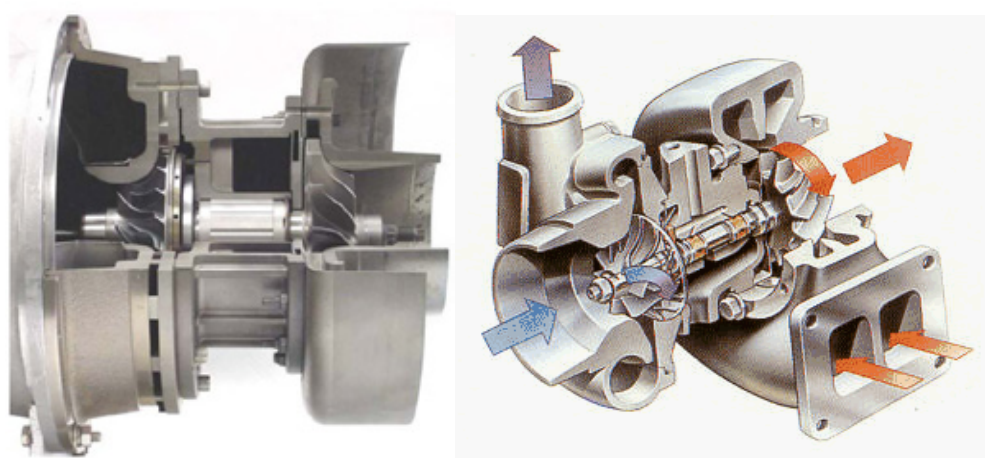


Рис. 1. Системы с лепестковыми газодинамическими подшипниками

Данный вид подшипников обладает рядом преимуществ перед другими видами роторно-опорных узлов, а именно:

- 1) возможностью достижения высоких частот вращения ротора без кардинальных изменений массогабаритных характеристик турбоагрегата, что является наиболее важно для нестационарных установок;
- 2) способностью к самоустановке и обладанием уникальными стабилизирующими свойствами;
- 3) способностью работы в условиях тепловых деформаций;
- 4) машины с подобными опорами обладают лучшими динамическими характеристиками, что обусловлено рассеиванием энергии колебаний ротора, силами возникающими при упругой деформации лепестков и силами трения в контактных зонах.

Помимо этого, многолепестковые газодинамические подшипники не допускают возникновения вихревой неустойчивости ротора, т.е. работают при ограниченной разбалансировке. Применение этого вида опор позволяет существенно снизить число отказов высокоскоростных турбомашин.

Рассмотрим расчет мультилепестковых газодинамических подшипников с активным управлением на примере одного из возможных конструктивных решений, представленном на рисунке 2.

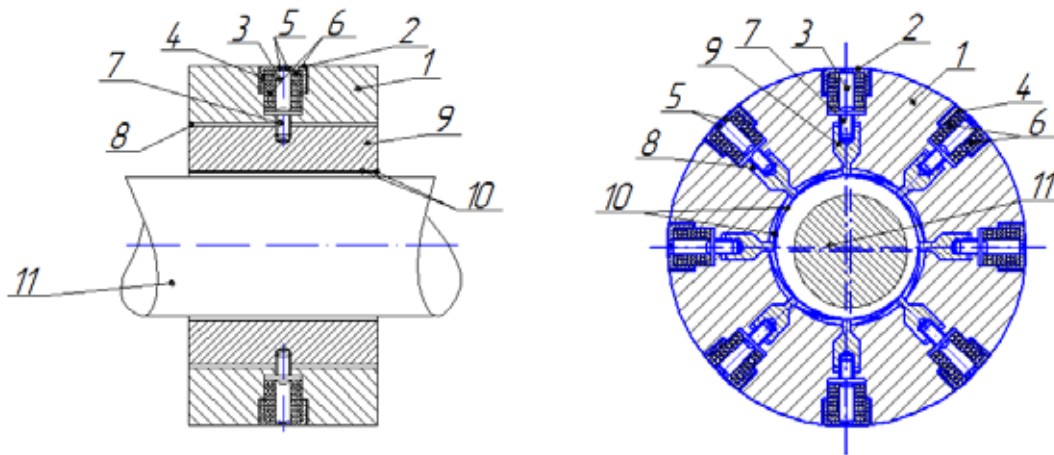


Рис. 2. Схема многолепесткового газодинамического подшипника с активным управлением: 1. Корпус, 2. Радиальные отверстия, 3. Пьезоактуаторы, 4. Гайки, 5. Отверстия для проводов, 6. Пьезоэлементы, 7. Штифты, 8. Продольные пазы, 9. Подвижные элементы, 10. Тонкие лепестки, 11. Вал

Расчет основных характеристик подшипников скольжения предполагает: определение толщины смазочного слоя и определение полей давлений в смазочном слое. Так же необходимо описать процесс деформаций в мультилепестковом газодинамическом подшипнике.

Существенное влияние на распределение поля давлений в смазочном слое оказывает его толщина  $h$ , входящая в уравнение Рейнольдса и являющаяся функцией положения центра шипа и угловой координаты  $\theta$ . В связи с этим представляется необходимым подробнее остановиться на нахождении толщины смазочного слоя — функции радиального зазора.

Для эксцентричного положения цапфы в радиальном многолепестковом подшипнике при отсутствии перекоса оси ротора функция радиального зазора, выглядит следующим образом

$$h(\theta, z) = h_e + h_k + w \tag{1}$$

$h_e$  — функция радиального зазора вызванная эксцентричным положением цапфы ротора в подшипнике,  $h_k$  — функция радиального зазора учитывающая образованную нахлестом лепестков многоклиновую поверхность,  $w = f(\theta, z)$  — функция прогиба,  $\theta$  — угловая координата по поверхности подшипника, определяющая радиальный зазор,  $z$  — осевая координата.

Уравнение Рейнольдса с помощью качественных оценок выводится из системы Навье-Стокса в предположении малости зазора между трущимися поверхностями, по сравнению с остальными размерами. Использование уравнения Рейнольдса является в теории газовой смазки общепринятым [4]. Влияние инерционных сил в зазоре при вращающемся роторе по сравнению с силами давления и вязкими силами мало, как и в задаче Рейнольдса для несжимаемой смазки. Поэтому определение поля давлений в конкретный момент времени представляет собой краевую задачу решения уравнения Рейнольдса (2). Обобщенное уравнение Рейнольдса, в цилиндрических координатах имеет вид:

$$\frac{1}{R^2} \cdot \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \frac{\rho h^3}{\mu K_\theta} \frac{\partial p}{\partial \theta} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\rho h^3}{\mu K_z} \frac{\partial p}{\partial z} \right) = 6 \frac{\partial(\rho \cdot U \cdot h)}{\partial \theta} - 12\rho V + 12h \frac{\partial \rho}{\partial t} \tag{2}$$

Коэффициенты турбулентности  $K_\theta$  и  $K_z$ , учитывающие влияние дополнительной турбулентной вязкости, определяются по соотношениям:

$$\begin{aligned} K_\theta &= 1 + 0,044 \cdot (k^* \cdot \text{Re})^{0,725}; \\ K_z &= 1 + 0,0247 \cdot (k^* \cdot \text{Re})^{0,65}, \end{aligned} \tag{3}$$

где  $k^*$  — коэффициент Кармана, который может принимать различные значения  $k^* \approx 0.2...0.4$ , причем малые значения  $k^*$  соответствуют малым радиальным зазорам  $h = 10...100$  мкм. Часто рассчитывают коэффициент Кармана по эмпирической зависимости:  $k^* = 0,125 \cdot \text{Re}^{0,07}$ .

Точно описать процесс деформаций в мультилепестковом газодинамическом подшипнике позволяет теория пологих оболочек совместно с граничными условиями, основная система которой имеет следующий вид:

$$\begin{cases} \nabla_k^2 \varphi + D \nabla^2 \nabla^2 w - p(\theta, z) = 0 \\ \frac{1}{E \delta} \nabla^2 \nabla^2 \varphi - \nabla_k^2 w = 0 \end{cases} \tag{4}$$

В основе данной теории лежат две следующие гипотезы:

- геометрическая гипотеза: оболочка принимается настолько полой, что геометрию ее поверхности можно приближенно считать совпадающей с геометрией плоскости ее проекции;
- статическая гипотеза: в уравнениях равновесия можно пренебречь моментными членами, содержащимися в качестве коэффициентов выражения кривизны и их производные.

На основании приведенных гипотез можно получить систему уравнений для полой оболочки [1].

$$\begin{cases} \frac{1}{E \delta} \left( \frac{\partial^4 \varphi}{R \partial \theta^4} + 2 \frac{\partial^4 \varphi}{R \partial \theta^2 \partial z^2} + \frac{\partial^4 \varphi}{\partial z^4} \right) - \frac{\partial}{R \partial \theta} \left( k_2 \frac{\partial w}{R \partial \theta} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k_1 \frac{\partial w}{\partial z} \right) = 0 \\ \frac{\partial}{R \partial \theta} \left( k_2 \frac{\partial \varphi}{R \partial \theta} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k_1 \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right) + D \left( \frac{\partial^4 w}{R \partial \theta^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{R \partial \theta^2 \partial z^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial z^4} \right) = p(\theta, z) \end{cases} \tag{5}$$

Основным элементом управления рассматриваемой системы является пьезоэлектрический актуатор. На сегодняшний день существует большое количество разнообразных типов и видов пьезокерамических актуаторов из различных материалов.

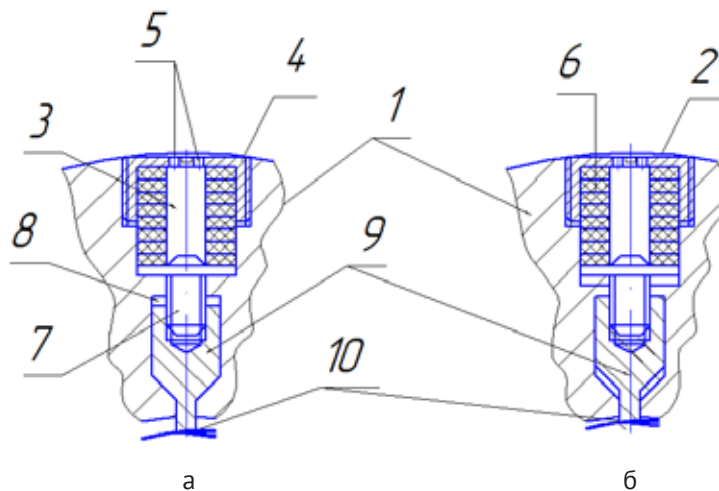


Рис. 3. Увеличенный вид пакетного безкорпусного пьезоактуатора со слоями в форме колец: а – при отсутствии электрического напряжения, б – при наличии электрического напряжения

Каждый вид пьезокерамики обладает определенными свойствами, поэтому перед расчетами необходимо задаться определенным материалом, исходя из требуемых параметров таких как: пьезоэлектрический модуль, коэффициенты электромеханических связей, относительная диэлектрическая проницаемость и т. п. Расчет пакетного пьезоактуатора складывается из определения основных параметров, а именно удельного перемещения и генерируемой силы.

Под удельным перемещением актуатора понимают деформацию в осевом направлении под действием электрического тока. Зависимость имеет следующий вид:

$$\Delta L_3 = N \cdot d_{33} \cdot U_{вх}, \quad (6)$$

$U_{вх}$  — напряжение, подаваемое на актуатор,  $d_{33}$  — пьезомодуль в осевом направлении,  $N$  — количество активных слоев в одном актуаторе.

Сила, которую способен развивать актуатор, называют генерируемой силой. Расчет данной силы выглядит следующим образом:

$$F_b = \Delta L_3 \cdot K_E \quad (7)$$

$K_E$  — жесткость актуатора,

$$K_E = \frac{E \cdot S}{L \cdot N} \quad (8)$$

$E$  — модуль юнга,  $S$  — площадь, на которую распределена нагрузка,  $L$  — толщина одного активного слоя,  $N$  — количество активных слоев.

$$E = C^2 \cdot \rho \quad (9)$$

$C^2$  — скорость распространения звука в пьезокерамике,  $\rho$  — плотность пьезокерамики.

Сравнение основных характеристик лепестковых газодинамических подшипников и других высокоскоростных подшипников показывает, что параметры первых существенно выше, а внесение в систему активного управления значительно расширяет возможности опорного узла. Многолепестковый газодинамический подшипник с активным управлением — оптимальный тип газовой опоры для турбомашин.

#### Литература:

1. Колкунов, Н. В. Основы расчета упругих оболочек. — М.: Высшая школа, 1963. — 278 с.
2. Панич, А. Е. Пьезокерамические актуаторы. — Ростов-на-Дону: Издательство Южного Федерального Университета, 2008. — 159 с.
3. Пешти, Ю. В. Газовая смазка // М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1993. — 382 с.
4. Савин, Л. А. Моделирование роторных систем с опорами жидкостного трения: монография/Л. А. Савин, О. В. Соломин. — М.: Машиностроение-1, 2006. — 444 с.
5. Сытин, А. В. Решение комплексной задачи расчета характеристик радиальных лепестковых газодинамических подшипников: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. — Орел, 2008. — 201 с.

## Исследование динамики машин

Эрдэнэ-Очир Мял Уулд, преподаватель

Монгольский научно-технологический университет (г. Улан-Батор)

### Введение

Одна из возможностей увеличить производительность грузового крана — это уменьшение движения качения груза при транспортировке. Уменьшение качения груза влияет и на качество штабеловки.

#### 1. Метод и методика

Мы создали математическую модель движения качения груза, используя уравнение Лагранжа второго рода.

Для контроля модели мы использовали готовое уравнение [4]:

$$F_x = k_{mx} \cdot V \cdot (t - \tau_x)$$

Для разработки уравнения использовали матлав.

#### 2. Математическая модель

На рисунке 1 показана наша расчетная схема крана.

Наша система имеет две степени свободы. Выберем в качестве обобщенных координат  $x$  — координаты тележки и угол  $\varphi$ , характеризующий отклонение троса, скрепленного с грузом  $m$ , от вертикали.

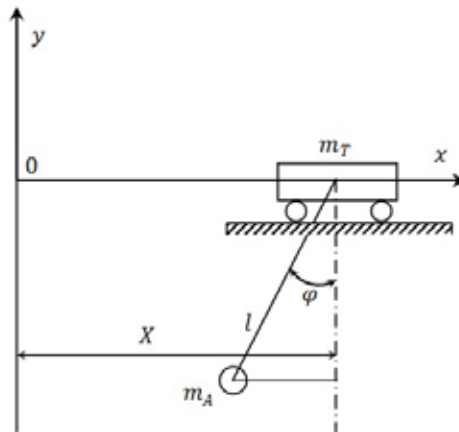


Рис. 1. Расчетная схема

Связь идеальная голономная. Активные силы: силы тяжести, действующие на груз и тележку, сила  $F_x$ , движущая тележку.

Потенциальная энергия тележки равна нулю:  $\Pi_T = 0$ .

Координаты груза и тележки:

$$r_A = \{X - l \cdot \sin(\varphi), -l \cdot \cos(\varphi)\}, r_T = \{X, 0\}$$

Вычисляем проекции скорости

$$\dot{r}_A = \{\dot{X} - l \cdot \dot{\varphi} \cdot \cos(\varphi), l \cdot \dot{\varphi} \cdot \sin(\varphi)\}, \dot{r}_T = \{\dot{X}\}$$

Кинетическая энергия системы

$$\begin{aligned} E_K &= E_{KT} + E_{AK} = m_A \cdot \frac{1}{2} (\dot{X}^2 - 2\dot{X}l\dot{\varphi} \cos(\varphi) + l^2\dot{\varphi}^2 \cos^2(\varphi) + l^2\dot{\varphi}^2 \sin^2(\varphi)) + m_T \cdot \frac{1}{2} \cdot \dot{X}^2 \\ &= m_A \cdot \frac{1}{2} (\dot{X}^2 - 2\dot{X}l\dot{\varphi} \cos(\varphi) + l^2\dot{\varphi}^2) + m_T \cdot \frac{1}{2} \cdot \dot{X}^2 \end{aligned}$$

Потенциальная энергия системы

$$E_{\Pi} = E_{T\Pi} + E_{A\Pi} = 0 - m_A g \cdot l \cos(\varphi)$$

Функция Лагранжа

$$L = E_K - E_{\Pi} = m_A \cdot \frac{1}{2} (\dot{X}^2 - 2\dot{X}l\dot{\varphi} \cos(\varphi) + l^2\dot{\varphi}^2) + m_T \cdot \frac{1}{2} \cdot \dot{X}^2 + m_A g \cdot l \cos(\varphi)$$

Выполним операции дифференцирования, необходимые для составления уравнений Лагранжа

$$\frac{\partial L}{\partial X} = 0, \frac{\partial L}{\partial \dot{X}} = m_A \cdot \frac{1}{2} (2\dot{X} - 2l\dot{\varphi} \cos(\varphi)) + m_T \cdot \dot{X}$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{X}} \right) = m_A \cdot \frac{1}{2} (2\ddot{X} - 2l\ddot{\varphi} \cos(\varphi) + 2l\dot{\varphi}^2 \sin(\varphi)) + m_T \cdot \ddot{X}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial \varphi} &= m_A \dot{X} l \dot{\varphi} \sin(\varphi) - m_A g \cdot l \sin(\varphi), \frac{\partial L}{\partial \dot{\varphi}} = m_A \cdot \frac{1}{2} (-2l\dot{X} \cos(\varphi) + l^2 2\dot{\varphi}) \\ &= m_A (-l\dot{X} \cos(\varphi) + l^2 \dot{\varphi}) \end{aligned}$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{\varphi}} \right) = m_A (-l\ddot{X} \cos(\varphi) + l\dot{X} \dot{\varphi} \sin(\varphi) + l^2 \ddot{\varphi})$$

Уравнения Лагранжа системы имеют вид

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{X}} \right) - \frac{\partial L}{\partial X} = F_x \Rightarrow m_A \cdot (\ddot{X} - l\ddot{\varphi} \cos(\varphi) + l\dot{\varphi}^2 \sin(\varphi)) + m_T \cdot \ddot{X} = F_x \quad (1)$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{\varphi}} \right) - \frac{\partial L}{\partial \varphi} = 0 \Rightarrow m_A(-l\dot{X} \cos(\varphi) + l^2\ddot{\varphi}) + m_A g \cdot l \sin(\varphi) = 0 \quad (2)$$

Если (2) делить на  $m_A l$

$$l\ddot{\varphi} - \dot{X} \cos(\varphi) + g \sin(\varphi) = 0 \quad (3)$$

Сила  $F_x$ , движущая тележку:  $F_x = k_{mx} \cdot V \cdot (t - \tau_x)$

Таблица 1

Параметры системы

Параметры	Обозначение	Разметность	Значение
Масса груза	$m_A$	кг	0.32
Масса тележки	$m_T$	кг	0.7
Константа времени	$\tau_x$	с	0.024
Время	$t$	с	3
Коэффициент ускорения	$k_{mx}$	$\frac{m/s^2}{V}$	5.8808
Длина троса	$l$	$m$	1
Напряжение двигателя	$V$	$B$	20

Ограничимся рассмотрением малых колебаний качения груза, поэтому в полученных уравнениях сохраним лишь линейные слагаемые:

$$m_A \cdot (\ddot{X} - l\ddot{\varphi} + l\dot{\varphi}^2 \cdot \varphi) + m_T \cdot \ddot{X} = F_x$$

$$l\ddot{\varphi} - \dot{X} + g \cdot \varphi = 0$$

Запишем уравнения движения в виде:

$$\ddot{\varphi} = \left[ \frac{k_{mx} \cdot V \cdot (t - \tau_x)}{(m_A + m_T)} - \frac{m_A \dot{\varphi}^2 \varphi}{(m_A + m_T)} - g \cdot \varphi \right]$$

Мы решим уравнения, используя программу Matlab.

Преобразуем уравнение в уравнение 1-ого порядка. Обозначим:

$$\begin{cases} y(1) = \varphi \\ y(2) = \varphi' = \dot{\varphi}(1) \end{cases}$$

Зададим начальные условия

$$\varphi_0 = 0$$

$$\dot{\varphi}_0 = 0$$

Уравнение имеет вид

$$\dot{y}_2 = -14.29y_1 - 0.457y_1y_2^2 + k_{mx} \cdot V \cdot (t - \tau_x)/0.7$$

На рисунке 2 показан m-файл для разработки движения.

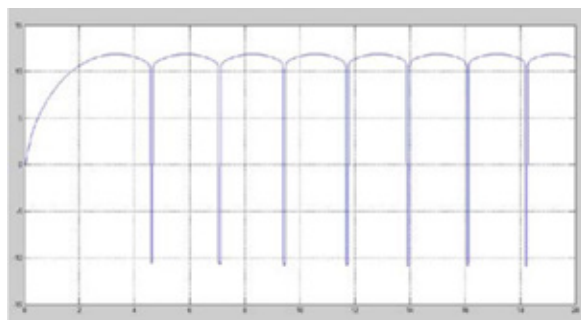
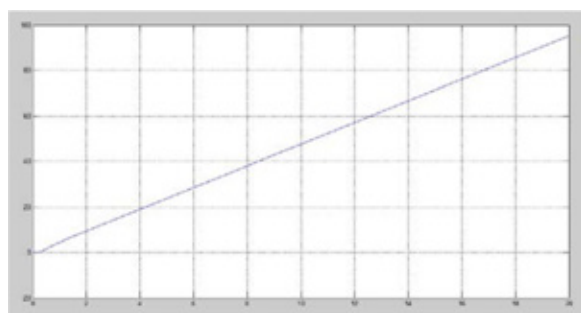
На рисунке 3 показан получившийся график без контроля.

На рисунке 4 — график, использующий контрольную функцию.

**Вывод:** Используя контрольную функцию, уменьшили качение груза.



Рис 2. m-файл

Рис. 3.  $\varphi = f(t)$ Рис. 4.  $\varphi = f(t)$  с контрольной функцией*Литература:*

1. Oleg Vinogradob. Fundamentals of kinematics and dynamics of machines and mechanisms. CRC Press. 2000.
2. Мещерский, И. В. Задачи по теоретической механике. Изд-во «Лань», 1998. — 448 с.
3. Л. А. Мироновский, К. Ю. Петрова. Введение в матлав. Санкт-Петербург. 2005 г.
4. FAISAL ALTAJF. Modeling and Event-Triggered Control of Multiple 3D Tower Cranes over WSNs. Stockholm, Sweden October 2010

*Научное издание*

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

III Международная научная конференция

Пермь, апрель 2015 г.

*Материалы печатаются в авторской редакции*

Дизайн обложки: *Е.А. Шишков*

Верстка: *П.Я. Бурьянов*

Подписано в печать 24.04.2015. Формат 60x90 1/8.  
Гарнитура «Литературная». Бумага офсетная.  
Усл. печ. л. 23,43. Уч.-изд. л. 15,84. Тираж 300 экз.

Отпечатано в типографии «Меркурий»  
614010, г. Пермь, Комсомольский пр., 80