

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ЖУРНАЛ**

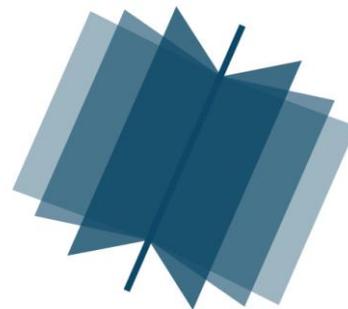
***INTERNATIONAL RESEARCH JOURNAL***

---

**ISSN 2303-9868 PRINT  
ISSN 2227-6017 ONLINE**

Екатеринбург  
2016





Периодический теоретический и научно-практический журнал.  
Выходит 12 раз в год.  
Учредитель журнала: ИП Соколова М.В.  
Главный редактор: Миллер А.В.  
Адрес редакции: 620075, г. Екатеринбург, ул. Красноармейская,  
д. 4, корп. А, оф. 17.  
Электронная почта: [editors@research-journal.org](mailto:editors@research-journal.org)  
Сайт: [www.research-journal.org](http://www.research-journal.org)

**№ 9 (51) 2016  
Часть 2  
Сентябрь**

Подписано в печать 19.09.2016.  
Тираж 900 экз.  
Заказ 26153  
Отпечатано с готового оригинал-макета.  
Отпечатано в типографии ООО "Компания ПОЛИГРАФИСТ",  
623701, г. Березовский, ул. Театральная, дом № 1, оф. 88.

Сборник по результатам LIV заочной научной конференции International Research Journal.

За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.

Журнал имеет свободный доступ, это означает, что статьи можно читать, загружать, копировать, распространять, печатать и ссылаться на их полные тексты с указанием авторства без каких либо ограничений. Тип лицензии СС поддерживаемый журналом: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0). Журнал входит в международную базу научного цитирования **Agris**.

Номер свидетельства о регистрации в Федеральной Службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций: **ПИ № ФС 77 – 51217**.

**Члены редколлегии:**

**Филологические науки:** Растягаев А.В. д-р филол. наук, Сложеникина Ю.В. д-р филол. наук, Штрекер Н.Ю. к.филол.н., Вербицкая О.М. к.филол.н.

**Технические науки:** Пачурин Г.В. д-р техн. наук, проф., Федорова Е.А. д-р техн. наук, проф., Герасимова Л.Г., д-р техн. наук, Курасов В.С., д-р техн. наук, проф., Оськин С.В., д-р техн. наук, проф.

**Педагогические науки:** Лежнева Н.В. д-р пед. наук, Куликовская И.Э. д-р пед. наук, Сайкина Е.Г. д-р пед. наук, Лукьянова М.И. д-р пед. наук.

**Психологические науки:** Мазилев В.А. д-р психол. наук, Розенова М.И., д-р психол. наук, проф., Ивков Н.Н. д-р психол. наук.

**Физико-математические науки:** Шамолин М.В. д-р физ.-мат. наук, Глезер А.М. д-р физ.-мат. наук, Свистунов Ю.А., д-р физ.-мат. наук, проф.

**Географические науки:** Умывакин В.М. д-р геогр. наук, к.техн.н. проф., Брылев В.А. д-р геогр. наук, проф., Огуреева Г.Н., д-р геогр. наук, проф.

**Биологические науки:** Буланый Ю.П. д-р биол. наук, Аникин В.В., д-р биол. наук, проф., Еськов Е.К., д-р биол. наук, проф., Шеуджен А.Х., д-р биол. наук, проф.

**Архитектура:** Янковская Ю.С., д-р архитектуры, проф.

**Ветеринарные науки:** Алиев А.С., д-р ветеринар. наук, проф., Татарникова Н.А., д-р ветеринар. наук, проф.

**Медицинские науки:** Медведев И.Н., д-р мед. наук, д.биол.н., проф., Никольский В.И., д-р мед. наук, проф.

**Исторические науки:** Меерович М.Г. д-р ист. наук, к.архитектуры, проф., Бакулин В.И., д-р ист. наук, проф., Бердинских В.А., д-р ист. наук, Лёвочкина Н.А., к.ист.наук, к.экон.н.

**Культурология:** Куценков П.А., д-р культурологии, к.искусствоведения.

**Искусствоведение:** Куценков П.А., д-р культурологии, к.искусствоведения.

**Философские науки:** Петров М.А., д-р филос. наук, Бессонов А.В., д-р филос. наук, проф.

**Юридические науки:** Грудцына Л.Ю., д-р юрид. наук, проф., Костенко Р.В., д-р юрид. наук, проф., Камышанский В.П., д-р юрид. наук, проф., Мазуренко А.П. д-р юрид. наук, Мещерякова О.М. д-р юрид. наук, Ергашев Е.Р., д-р юрид. наук, проф.

**Сельскохозяйственные науки:** Важов В.М., д-р с.-х. наук, проф., Раков А.Ю., д-р с.-х. наук, Комлацкий В.И., д-р с.-х. наук, проф., Никитин В.В. д-р с.-х. наук, Наумкин В.П., д-р с.-х. наук, проф.

**Социологические науки:** Замараева З.П., д-р социол. наук, проф., Солодова Г.С., д-р социол. наук, проф., Кораблева Г.Б., д-р социол. наук.

**Химические науки:** Абдиев К.Ж., д-р хим. наук, проф., Мельдешов А. д-р хим. наук.

**Науки о Земле:** Горяинов П.М., д-р геол.-минерал. наук, проф.

**Экономические науки:** Бурда А.Г., д-р экон. нау, проф., Лёвочкина Н.А., д-р экон. наук, к.ист.н., Ламоттке М.Н., к.экон.н.

**Политические науки:** Завершинский К.Ф., д-р полит. наук, проф.

**Фармацевтические науки:** Тринева О.В. к.фарм.н., Кайшева Н.Ш., д-р фарм. наук, Ерофеева Л.Н., д-р фарм. наук, проф.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

ОБЗОР МЕТОДОВ АДДИТИВНОГО ФОРМИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ .....	6
ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ .....	9
STUDY OF THE INFLUENCE OF ENZYMATIC HYDROLYSIS ON THE CHANGE OF THE NUTRITIONAL VALUE OF RAPESEED CAKE .....	12
АЛГОРИТМ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ESO .....	16
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПУЛЬСАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ НА МАССОВУЮ КОНЦЕНТРАЦИЮ ОБЩЕГО ЭКСТРАКТА В ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ НАСТОЕК .....	19
USE OF MODEL CHECKING FOR THE VERIFICATION OF TERRITORIAL DEVELOPMENT PROGRAMS ...	23
ЭРГОНОМИЧЕСКИЙ СЕРТИФИКАТ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ И ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ .....	25
ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СОЛНЕЧНАЯ СТАНЦИЯ С СИСТЕМОЙ МОНИТОРИНГА .....	30
КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА СВОЙСТВА МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО СТАНКА СОПРОТИВЛЯТЬСЯ ТЕРМИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ .....	35
HEAT TREATMENT OF FAT-CONTAINING RAW MATERIALS WITH ENERGY OF ELECTROMAGNETIC RADIATION .....	38
ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОСТРАНСТВЕННО-ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ДОЖДЕВАНИЯ ПОСЕВОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР .....	41
АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ В МЕБЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ .....	45
ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ТАБЛИЦ СОБЫТИЙ В РАМКАХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ СОБЫТИЙ .....	48
ПРИМЕНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ДЛЯ ЧИСТОВОЙ ОБРАБОТКИ ШТАМПОВОГО ИНСТРУМЕНТА .....	55
АНАЛИЗ МЕТОДОВ ДОРАБОТКИ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ МОДЕЛИ ПОСЛЕ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ .....	58
ИССЛЕДОВАНИЕ НЕУСТАНОВИВШЕГОСЯ ДВИЖЕНИЯ ДВУХВАЛЬНОГО СМЕСИТЕЛЯ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ .....	61
СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТЕКЛА, ПОЛУЧЕННЫЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТЕКЛОБОЯ ДЕМЕРКУРИЗАЦИИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ЛАМП .....	66
РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОБЕЛКОВЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МОРОЖЕНОГО .....	70
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ СЕЛЬХОЗПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ .....	73
МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРЕВА КВАРЦЕВЫХ ТРУБ ПОДВИЖНЫМ ИСТОЧНИКОМ ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ MСVD .....	76
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНИЧЕСКОЙ ДИФРАКЦИИ ДЛЯ РЕШЕТОК, РАБОТАЮЩИХ НА ПРОПУСКАНИЕ .....	82
ИССЛЕДОВАНИЕ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ ВЕРБЛЮЖЬЕГО МЯСА КАК СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ .....	89
ПРОВЕРКА АДЕКВАТНОСТИ РАЗРАБОТАННОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ НА ОСНОВАНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ .....	94
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ МОДЕРНИЗИРОВАННЫМ СЕПАРАТОРОМ УСС – 5M2 .....	99
МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ДРЕВЕСНОЙ ПЫЛИ И ЕЁ ЗНАЧЕНИЕ В ПРОИЗВОДСТВЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ .....	103
МОДЕЛИРОВАНИЕ И РЕКОНСТРУКЦИЯ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ РЕСПУБЛИКИ ХАКАСИЯ .....	105

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ТРАНСПОРТА НА БАЗЕ ИНСТРУМЕНТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ .....	107
МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ЗЕМЕЛЬ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СТИХИЙНЫХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИНВАРИАНТНЫХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕРРИТОРИИ.....	110
НАНОТРУБЧАТЫЙ НАПОЛНИТЕЛЬ НЕЙТРОННОЙ ЗАЩИТЫ, ЗАПОЛНЕННЫЙ КРИСТАЛЛОГИДРАТАМИ ГАДОЛИНИЯ .....	112

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHYSICS AND MATHEMATICS**

ПРОВЕДЕНИЕ РАСЧЕТОВ ШУМА ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ПОЕЗДОВ.....	118
ГРАВИТАЦИОННОЕ ПРИТЯЖЕНИЕ К ЦЕНТРУ ПОЛОСТИ ШАРОВОГО СЛОЯ ВЕЩЕСТВА .....	121
ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ РАСШИРЕННОЙ МОДЕЛИ РЕАКЦИИ БЕЛОУСОВА- ЖАБОТИНСКОГО.....	124
О РАСКРАШИВАЕМОСТИ ДВУДОЛЬНЫХ ГРАФОВ СПЕЦИАЛЬНОГО ВИДА .....	128
АПРИОРНЫЕ ОЦЕНКИ РЕШЕНИЯ В МЕТРИКЕ $C^0(S_1^2)$ УРАВНЕНИЯ ТИПА МОНЖА-АМПЕРА НА СФЕРЕ КАК ДВУМЕРНОМ МНОГООБРАЗИИ В ПРОСТРАНСТВЕ ПОСТОЯННОЙ КРИВИЗНЫ .....	132

**НАУКИ О ЗЕМЛЕ / SCIENCE ABOUT THE EARTH**

СПУСКОПОДЪЕМНОЕ УСТРОЙСТВО С ПОЛИСПАСТНОЙ СИСТЕМОЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОДЛЕДНИКОВОГО ОЗЕРА «ВОСТОК» .....	137
СПОСОБНОСТЬ ФИКСАЦИИ АТМОСФЕРНОГО УГЛЕРОДА ПОЧВАМИ РУССКОЙ РАВНИНЫ И СТРУКТУРА УГЛЕРОДНОГО ПУЛА В ПОЧВАХ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.....	141
ПОВЫШЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ПОЛИМЕРНОГО ВОДОИЗОЛИРУЮЩЕГО ЭКРАНА В ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЕ ДОБЫВАЮЩИХ СКВАЖИН .....	144
СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРЕНА ОБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ .....	149

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING**

DOI: 10.18454/IRJ.2016.51.080

Баксанова Ю.А.<sup>1</sup>, Максимов П.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Магистрант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет

<sup>2</sup>кандидат технических наук, доцент, Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ

(договор №02.G25.31.0168 от 01.12.2015 г. в составе мероприятия

по реализации постановления Правительства РФ № 218)

**ОБЗОР МЕТОДОВ АДДИТИВНОГО ФОРМИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ**

**Аннотация**

В работе представлен обзор наиболее популярных аддитивных технологий, выполненный на основе публикаций, представленных в научно-технических журналах и открытых источниках в последние пять лет. Описаны методы, основанные на порошковых технологиях, экструдировании рабочего материала, методы фотополимеризации. Представлены достоинства и недостатки каждого метода аддитивного формирования изделий, приведены ссылки на работы других авторов. Представлена информация о российских научных центрах и университетах, имеющих значимые наработки в области аддитивных технологий.

**Ключевые слова:** аддитивные технологии, аддитивное производство, порошковые технологии, экструдирование, фотополимеризация.

Baksanova Yu.A.<sup>1</sup>, Maksimov P.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Undergraduate, Perm National Research Polytechnic University

<sup>2</sup>PhD in Engineering, associate professor, Perm National Research Polytechnic University

**THE OVERVIEW OF THE ADDITIVE MANUFACTURING METHODS**

**Abstract**

The paper provides an overview of the most popular additive technology, made on the basis of publications represented in scientific and technical journals and public sources over the last five years. The methods based on powder technology, extrusion working material, photopolymerization techniques are described. The advantages and disadvantages of each method of forming an additive manufacturing are presented; links to the work of other authors are shown. The information about the Russian scientific centers and universities with significant experience in the field of additive technologies are presented.

**Keywords:** additive technologies, additive manufacturing, powder technology, extrusion, photopolymerization.

Аддитивные технологии (АТ) на сегодняшний день являются современным и перспективным способом производства изделий сложной конфигурации. Если при традиционных методах при производстве изделий с заготовки удаляется лишний материал, либо используются литейные процессы и пр., то при аддитивных технологиях происходит послойное формирование изделия различными с использованием различных технологических методов и устройств. При формировании изделия используется идеология сквозного проектирования, при этом основой является созданная ранее в специализированных конструкторских системах твердотельная или поверхностная STL-модель изделия.

В результате процесса формируется изделие без существенных отходов производства. Экономия материала, а значит и средств, не единственное достоинство данной технологии. Другими преимуществами являются возможность изготовления сложных объектов произвольной конфигурации, а также сокращение времени, затрачиваемого на подготовку производства изделий в авиационной, космической и других отраслях промышленности [1].

Целью данной работы является проведение классификации популярных способов аддитивного производства изделий на основе публикаций, представленных в научно-технических журналах и открытых источниках, а также проведение анализа научно-технической информации в сфере использования аддитивных технологий в России за период с 2011 по 2016 годы.

**Классификация аддитивных технологий на основе публикаций в журналах и открытых источниках**

С точки зрения способа послойного формирования изделия можно выделить три направления развития аддитивных технологий:

- порошковые технологии;
- экструдирование;
- фотополимеризация;

**1. Порошковые технологии**

**1.1 Селективное лазерное спекание (SLS-технологии).**

В принтерах, работающих по такой технологии, сначала формируется слой материала, после чего происходит выборочное спекание порошка лазером, связывая частички порошка в соответствии с текущим сечением исходной модели [2,3]. В качестве исходного материала SLS-технологии используются полимерные и керамические порошки и термопластики.

Так как плавление материала происходит выборочно по заданной траектории, то достоинством этой технологии является возможность одновременного производства нескольких деталей, что приводит к повышенной производительности всего аддитивного процесса.

**1.2 Прямое лазерное спекание металлов.**

Эта технология является частным случаем селективного лазерного спекания с применением металлопорошков. Из таких порошков возможно создавать детали сложной формы, которые трудно получить литьем [4], а также «вырастить» их на заранее подготовленном изделии [5].

На сегодняшний день производится широкий спектр металлических порошков на основе никеля, стали, титана, алюминия, бронзы и драгоценных металлов. Важными для современной промышленности являются никель и сплавы на его основе. Их важность и значимость объясняется тем, что детали, полученные на их основе, способны выдерживать большие нагрузки, в том числе и температурные. Порошки, полученные с применением специальных устройств – атомайзеров применяются в АФ-технологиях.

Неруш С.В. (2015) посвятил целую статью исследованию металлического порошка жаропрочного сплава марки ЭП648-ВИ применительно к технологии лазерного спекания [6]. Показано, что детали, полученные по данной технологии, на 99,99 % состоят из металла [14] и, соответственно, имеют высокие механические свойства.

### 1.3 Селективное лазерное плавление (SLM-технология).

Данная технология является аналогом лазерного спекания металлов. Принцип работы: происходит избирательное плавление порошка в зоне пятна лазерного луча. Материал полностью плавится и образует контакт с предыдущим слоем.

Исследования показали, что прочность деталей, полученных методом SLM, главным образом зависит от способа обработки порошкового материала при помощи лазерного луча [7].

Выделяют 4 способа формирования нового слоя. В первом случае треки с материалом располагаются на расстоянии близком друг к другу, равному диаметру лазерного луча. Во втором – расстояние между треками меньше и это приводит к пористости образцов и, как следствие, к невысоким механическим свойствам деталей. При третьей стратегии обрабатывание лазерным лучом происходит в два приема – сначала обрабатывается слой материала с шагом переплавленного трека, а затем луч проходит между уже переплавленными треками, сплавляя два соседних трека. Особенностью четвертой стратегии является то, что сканирование слоя происходит перпендикулярно направлению предыдущего слоя. В этом случае маловероятно возникновение волновой структуры изделия.

От выбора способа воздействия на исходный материал зависят механические свойства материалов, пористость образцов и время изготовления детали.

В описываемой технологии, как и в методе SLS, возможно создание нескольких деталей одновременно, при этом, производство является почти безотходным.

В работе [8] было проведено сравнение механических свойств литьевых изделий и материалов на основе титана, алюминия и стали, полученных SLM-методом. Опыты показали, что пределы прочности материалов, созданных по SLM-технологии больше, чем пределы прочности литьевых изделий (в среднем на 40 МПа). Объясняется это мелкой зернистой структурой, которая формируется в результате быстрого охлаждения расплава.

В работе [9] автор выделил две основные проблемы селективного лазерного наплавления. Это низкая производительность и высокая вероятность образования трещин. Во избежание образования трещин применялась двухзонная стратегия, основанная на дополнительном проходе лазерного луча.

### 1.4 Электронно-лучевая плавка.

По данной технологии изделие создается путем избирательного плавления порошка в зоне действия электронного луча. Этот метод схож с SLM-методом, только вместо лазерного луча используется электронный. За счет этого получается более высокая производительность и уменьшается трещинообразование из-за уменьшения градиента температур.

### 1.5 Избирательное тепловое спекание.

Источником тепла данной технологии являются ультрафиолетовые лампы. Специальная лампа закрывается маской и появляется возможность выборочного воздействия на исходный материал. Для данного метода используются термопластичные порошки.

На пластине из кварцевого стекла печатается предварительное изображение. Незатронутые зоны печати пропускают тепло и запекают порошок, а остальные – отражают тепловой поток.

Главное преимущество метода – это экономия материала, так как неиспользованный порошок можно использовать повторно.

## 2. Экструдирование

### 2.1 Метод послойной наплавки (FDM-технология).

Полимерная нить из нагретой головки в расплавленном состоянии подается на плоскость, где осаждаюсь и застывая формирует очередной слой [10]. В качестве материалов используются термопластики, легкоплавкие металлы и сплавы, поставляемые в виде катушек [11].

Для FDM-метода характерны несколько определяющих факторов, а именно: траектория наложения нити трека, толщина нити, способ подачи нити и нагрева, скорость подачи нити и скорость протекания процесса в целом. Изменения факторов приводят к различным формам рельефа детали. А это не всегда положительно сказывается на качестве получаемой конструкции [12].

Несомненными преимуществами данного метода являются использование тех же термопластиков, что и для традиционного литья под давлением, и возможность печати материалом, нагретым до полужидкого состояния.

## 3. Фотополимеризация

### 3.1 Стереолитография (SLA-технология).

Принтеры, работающие по данному принципу имеют платформу, которую погружают в бак с жидким фотополимером. Лазер проходит по поверхности, в результате чего слой фотополимера затвердевает. Затем платформа опускается на глубину одного слоя и процесс повторяется до тех пор, пока объект полностью не построится.

Материал, использующийся в SLA-технологиях – фотополимерная смола.

### 3.2 Технология PolyJet.

Нанесение материала происходит с помощью струйных головок. Жидкий фотополимер отвердевает под действием светового излучения. После окончания нанесения всего слоя зону печати подвергают мощному ультрафиолетовому излучению для полного отвердевания материала, после чего наносится следующий слой.

Для примера, с помощью современных 3D принтеров Object 350, в данной технологии могут применяться до 7 различных фотополимеров, которые отличаются физическими свойствами [13].

#### **Анализ научно-технической информации в области применения аддитивных технологий в России за последние пять лет.**

Лидером применения аддитивных технологий в России является ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» (ВИАМ), имеющий значительные наработки как в области подготовки и производства материалов для АФ, так и в части изготовления новых уникальных изделий, созданных по при помощи аддитивных технологий.

Значительных результатов добились в МГТУ им. Баумана, Самарском государственном аэрокосмическом университете имени академика С.П. Королёва и Центре Аддитивных Технологий ФГУП «НАМИ».

В последнее время в МГТУ им. Баумана, активно занимаются исследованиями, нацеленным на повышение технологической прочности изделий, изготовленных из материалов на основе никеля. В работе [3] представлен анализ проблемы и приведены некоторые способы повышения технологической прочности.

В Научно-исследовательском автомобильном и автомоторном институте активно развивают несколько направлений применения АФ-технологий. Первым направлением является способ формирования изделий методом стереолитографии. Второе направление – послойное спекание порошков (SLS-технология). С использованием аддитивных методов инженеры института создают компоненты двигателей внутреннего сгорания для гибридных легковых и грузовых автомобилей.

#### **Заключение**

Аддитивное производство в настоящее время многообразно и обладает большим количеством преимуществ, в том числе, применение АФ-технологий приводит к экономии средств, экономии времени и пр. Аддитивные технологии способны в разы упростить производственный процесс создания деталей. Перспективы таковы, что в ближайшем будущем вместо производственного цеха с огромными установками и работниками можно будет ограничиться одним отделом с несколькими 3D-принтерами и двумя-тремя инженерами. Поэтому неудивительно, что темпы развития аддитивных технологий в России, как и во всем мире, стремительно увеличиваются с каждым годом. Но это приводит и к ряду проблем. Например, в России самыми распространенными проблемами являются: нехватка квалифицированных кадров, недостаток отечественных материалов, а также слабая проработка методических основ производства новых изделий, создаваемых при помощи аддитивных технологий.

#### **Литература**

1. Шеховцов А.А., Карпова Н.П. Аддитивные технологии как способ реализации концепции бережливого производства // Научно-методический электронный журнал концепт. – 2015. – том 13. – с. 141-145.
2. Шестакова Е.А., Шайхутдинова Е.Ф., Янбаев Р.М., Янбаев Ф.М. Технологии селективного спекания для авиастроения // Ползуновский альманах. - 2014. - №1. – с. 21-24.
3. Кулиш А.М. Использование аддитивных технологий для получения деталей машиностроения // Молодежный научно-технический вестник. 2015. – №5. – с.1.
4. Казмирчук К., Довбыш В. Аддитивные технологии в российской промышленности [Электронный ресурс] – 2012. – Режим доступа: <http://konstruktor.net/podrobnee-det/additivnye-technologii-v-rossijskoj-promyshlennosti.html>.
5. Кузнецов П.А., Васильева О.В., Теленков А.И., Савин В.И., Бобырь В.В. Аддитивные технологии на базе металлических порошковых материалов для российской промышленности // Новости материаловедения. Наука и техника. – 2015. – №2. – с.4-10.
6. Неруш С.В., Евгенов А.Г. Исследование мелкодисперсного металлического порошка жаропрочного сплава марки ЭП648-ВИ применительно к лазерной LMD-наплавке, а также оценка качества наплавки порошкового материала на никелевой основе на рабочие лопатки ТВД // Труды ВИАМ. – 2015. – №3. – с.1.
7. Волосова М. А., Окунькова А.А. Пути оптимизации процесса селективного лазерного плавления при помощи выбора стратегии обработки лазерным лучом // Известия самарского научного центра российской академии наук. – 2012. – №14. – с.587-591.
8. Дмитренко А.А. Аддитивные технологии как новый этап развития производства деталей машин. Статья из сборника трудов конференции "Современные материалы, техника и технология". – 2014. – с.164-167.
9. Смуров И.Ю., Конов С.Г., Котобан Д.В. О внедрении аддитивных технологий и производства в отечественную промышленность // Новости материаловедения. Наука и техника. – 2015. – №2. – с.11-22.
10. Баева Л.С., Маринин А.А. Современные технологии аддитивного изготовления объектов // Вестник МГТУ. – 2014. – №1. – с.7-12.
11. Чумаков Д.М. Перспективы использования аддитивных технологий при создании авиационной и ракетно-космической техники // Электронный журнал «Труды МАИ». – 2014. – №76. – с.1-22.
12. Любимов В.В., Пермяков Д.Г. Технология изготовления технологической оснастки с применением прототипированных оправок // Известия тульского государственного университета. Технические науки. – 2013. – №7-2. – с.272-285.
13. Агаповичев А.В., Балякин А.В., Смелов В.Г. Разработка методики литья сложных деталей аэрокосмического профиля с использованием аддитивных технологий // Вестник самарского государственного аэро-космического университета им. Академика С.П. Королёва. – 2014. – №5-2 (47). – с.166-172.

## References

1. Shehovcov A.A., Karpova N.P. Additivnye tehnologii kak sposob realizacii koncepcii berezhlivogo proizvodstva // Nauchno-metodicheskiy jelektronnyj zhurnal koncept. – 2015. – tom 13. – p. 141-145. [in Russian]
2. Shestakova E.A., Shajhutdinova E.F., Janbaev R.M., Janbaev F.M. Tehnologii selektivnogo spekanija dlja aviastroeniija // Polzunovskij al'manah. - 2014. - #1. – p. 21-24. [in Russian]
3. Kulish A.M. Ispol'zovanie additivnyh tehnologij dlja poluchenija detalej mashinostroeniija // Molodezhnyj nauchno-tehnicheskij vestnik. 2015. – #5. – p.1. [in Russian]
4. Kazmirchuk K., Dovbysh V. Additivnye tehnologii v rossijskoj promyshlennosti [Jelektronnyj resurs] – 2012. – Rezhim dostupa: <http://konstruktor.net/podrobnnee-det/additivnye-texnologii-v-rossijskoj-promyshlennosti.html>. [in Russian]
5. Kuznecov P.A., Vasil'eva O.V., Telenkov A.I., Savin V.I., Bobyr' V.V. Additivnye tehnologii na baze metallicheskih poroshkovyh materialov dlja rossijskoj promyshlennosti // Novosti materialovedeniija. Nauka i tehnika. – 2015. – #2. – p.4-10. [in Russian]
6. Nerush S.V., Evgenov A.G. Issledovanie melkodispersnogo metallicheskogo poroshka zharoprochnogo splava marki JeP648-VI primenitel'no k lazernoj LMD-naplavke, a takzhe ocenka kachestva naplavki poroshkovogo materiala na nikel'noj osnove na rabochie lopatki TVD // Trudy VIAM. – 2015. – #3. – p.1. [in Russian]
7. Volosova M. A., Okun'kova A.A. Puti optimizacii processa selektivnogo lazernogo plavljenija pri pomoshhi vybora strategii obrabotki lazernym luchom // Izvestija samarskogo nauchnogo centra rossijskoj akademii nauk. – 2012. – #14. – p.587-591. [in Russian]
8. Dmitrenko A.A. Additivnye tehnologii kak novyj jetap razvitija proizvodstva detalej mashin. Stat'ja iz sbornika trudov konferencii "Sovremennye materialy, tehnika i tehnologija". – 2014. – p.164-167. [in Russian]
9. Smurov I.Ju., Konov S.G., Kotoban D.V. O vnedrenii additivnyh tehnologij i proizvodstva v otechestvennuju promyshlennost' // Novosti materialovedeniija. Nauka i tehnika. – 2015. – #2. – p.11-22. [in Russian]
10. Baeva L.S., Marinin A.A. Sovremennye tehnologii additivnogo izgotovlenija ob#ektov // Vestnik MGTU. – 2014. – #1. – p.7-12. [in Russian]
11. Chumakov D.M. Perspektivy ispol'zovaniija additivnyh tehnologij pri sozdanii aviacionnoj i raketno-kosmicheskoi tehniki // Jelektronnyj zhurnal «Trudy MAI». – 2014. – #76. – p.1-22. [in Russian]
12. Ljubimov V.V., Permjakov D.G. Tehnologija izgotovlenija tehnologicheskoi osnastki s primeneniem prototipirovannyh opravok // Izvestija tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki. – 2013. – #7-2. –p.272-285. [in Russian]
13. Agapovichev A.V., Baljakin A.V., Smelov V.G. Razrabotka metodiki lit'ja slozhnyh detalej ajerokosmicheskogo profilja s ispol'zovaniem additivnyh tehnologij // Vestnik samarskogo gosudarstvennogo ajero-kosmicheskogo universiteta im. Akademika S.P. Koroljova. – 2014. – #5-2 (47). – p.166-172. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.51.182

Болтунов А.И.<sup>1</sup>, Кротов Л.Н.<sup>2</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0002-2776-2465, Аспирант, <sup>2</sup>доктор физико-математических наук, доцент, Пермский национальный исследовательский политехнический университет**ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ  
ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ***Аннотация*

*В современном мире информационные технологии используются практически во всех сферах жизни общества, поэтому вопрос обеспечения информационной безопасности становится особенно актуальным. Существуют различные методы решения задач информационной безопасности, одним из которых является использование экспертных систем. В данной статье описываются различные подходы к использованию подобных систем, а также рассматриваются их сильные и слабые стороны.*

**Ключевые слова:** информационная безопасность, экспертные системы.

Boltunov A.I.<sup>1</sup>, Krotov L.N.<sup>2</sup><sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-2776-2465, Postgraduate student, <sup>2</sup>PhD in Physics and Mathematics, Associate professor, Perm National Research Polytechnic University**EXPERT SYSTEMS APPLICATION FOR SOLVING THE INFORMATION SECURITY PROBLEMS***Abstract*

*Information technologies are used in almost all areas of society in the modern world, therefore information security becomes particularly relevant. There are various methods for solving the information security problems, one of which is the use of expert systems. This article describes the different approaches to the expert systems application and considers their advantages and disadvantages.*

**Keywords:** information security, expert systems.

**В**озможность использования экспертных систем для решения задач защиты информации стала интересовать специалистов по информационной безопасности в связи с бурным развитием информационных технологий, а, следовательно, и появлением новых видов угроз. Уже сейчас экспертные системы применяются для решения некоторых задач информационной безопасности:

- оценка рисков и составление модели угроз [1];
- антивирусное программное обеспечение;

- аудит информационной безопасности предприятия [2];

Несмотря на все многообразие решаемых задач, можно выделить два основных подхода к созданию экспертных систем:

- создание экспертных систем, использующих эвристические правила;
- создание самообучающихся экспертных систем;

#### **Экспертные системы на основе эвристических правил.**

В данном подходе используется один из популярных методов представления знаний – правила в форме IF <условие> THEN <action>. Одним из применений такого подхода является создание антивирусного программного обеспечения и систем обнаружения вторжений. Возможны следующие варианты эвристического анализа:

- Анализируется программный код файла и сравнивается с сигнатурами, хранящимися в базе антивирусного ПО. Эти сигнатуры характеризуют не какой-либо конкретный вид вредоносного ПО, а некоторую совокупность вирусов, исходя из предположения о том, что новые вирусы имеют сходство с уже существующим вредоносным ПО;
- Анализируются действия, совершаемые рассматриваемым процессом во время работы, и сравниваются с правилами, сохраненными в базе антивирусного ПО. В этом случае появляется возможность обнаружить вредоносное ПО, сигнатуры для которого еще не были добавлены в базу, если оно нацелено на выполнение тех же действий, что и ранее встречавшиеся вирусы.

Примерами антивирусного ПО, использующего эвристический анализ, могут послужить ESET Threat Sense[3] Kaspersky[4], Dr.Web Katana[5].

Кроме того, эвристические механизмы могут также использоваться с целью автоматизации аудита информационной безопасности. К примеру, система контроля защищенности и соответствия стандартам MaxPatrol, разработанная компанией Positive Technologies, использует эвристический анализ для выявления уязвимостей в сетевых службах и приложениях, давая оценку защищенности сети со стороны злоумышленника [6].

Данный подход к созданию экспертных систем обеспечивает простоту программирования и представления данных, так как знания, используемые в разрабатываемых системах, могут быть представлены в сравнительно простой форме эвристического правила. Кроме того, системы на основе эвристических правил могут быть разработаны без использования специальных средств (таких, как среда программирования CLIPS, язык логического программирования PROLOG). К недостаткам подобных систем можно отнести необходимость постоянного обновления баз знаний и полиномиальное возрастание числа ложных срабатываний создающихся систем при чрезмерной чувствительности эвристического анализатора.

#### **Семантические сети**

Другой подход, применимый для решения задач информационной безопасности – использование семантических сетей. С точки зрения математики данная структура представляет собой помеченный ориентированный граф, узлы которого представляют объекты, а дуги – связи между этими объектами.

Подобный способ представления знаний может быть использован для описания многих предметных областей, в том числе и относящихся к сфере информационной безопасности. Пример использования семантических сетей для представления знаний в области защиты информации представлен в работе [7]. В данной работе представлено построение модели данных о различных уязвимостях на основе онтологического подхода, которая затем может быть использована для моделирования сетевых атак.

Рассмотрим достоинства и недостатки семантических сетей как способа представления знаний в экспертных системах. К достоинствам можно отнести следующие моменты:

– с помощью выбора соответствующих связей между объектами в семантической сети, становится возможной описание сколь угодно сложной предметной области.

– представленная графически, система знаний является более наглядной;

Но данный подход также имеет и некоторые недостатки:

– сетевая модель не содержит ясного представления о структуре предметной области;

– подобные модели являются пассивными структурами, а потому требуют специальный аппарат формального вывода для обработки[8];

– при осуществлении поиска узлов возникает комбинаторный взрыв, особенно если ответ на запрос является отрицательным[9].

#### **Комбинирование подходов.**

Каждый из описанных выше подходов обладает собственными преимуществами и недостатками. Тем не менее, представляется возможным комбинирование этих подходов с целью упорядочения эвристических правил и ускорения классификации атаки или вредоносного программного обеспечения.

В данной модели предполагается следующая структура: в узлах графа, представляющего семантическую сеть, находятся эвристические правила, позволяющие отнести атаку либо вредоносное программное обеспечение к тому или иному типу/классу. Дуги же в этой модели будут представлять отношения, показывающие связь между различными правилами. Сами правила должны располагаться на нескольких уровнях, причем каждый последующий уровень должен определять более узкий класс угроз (рис. 1).

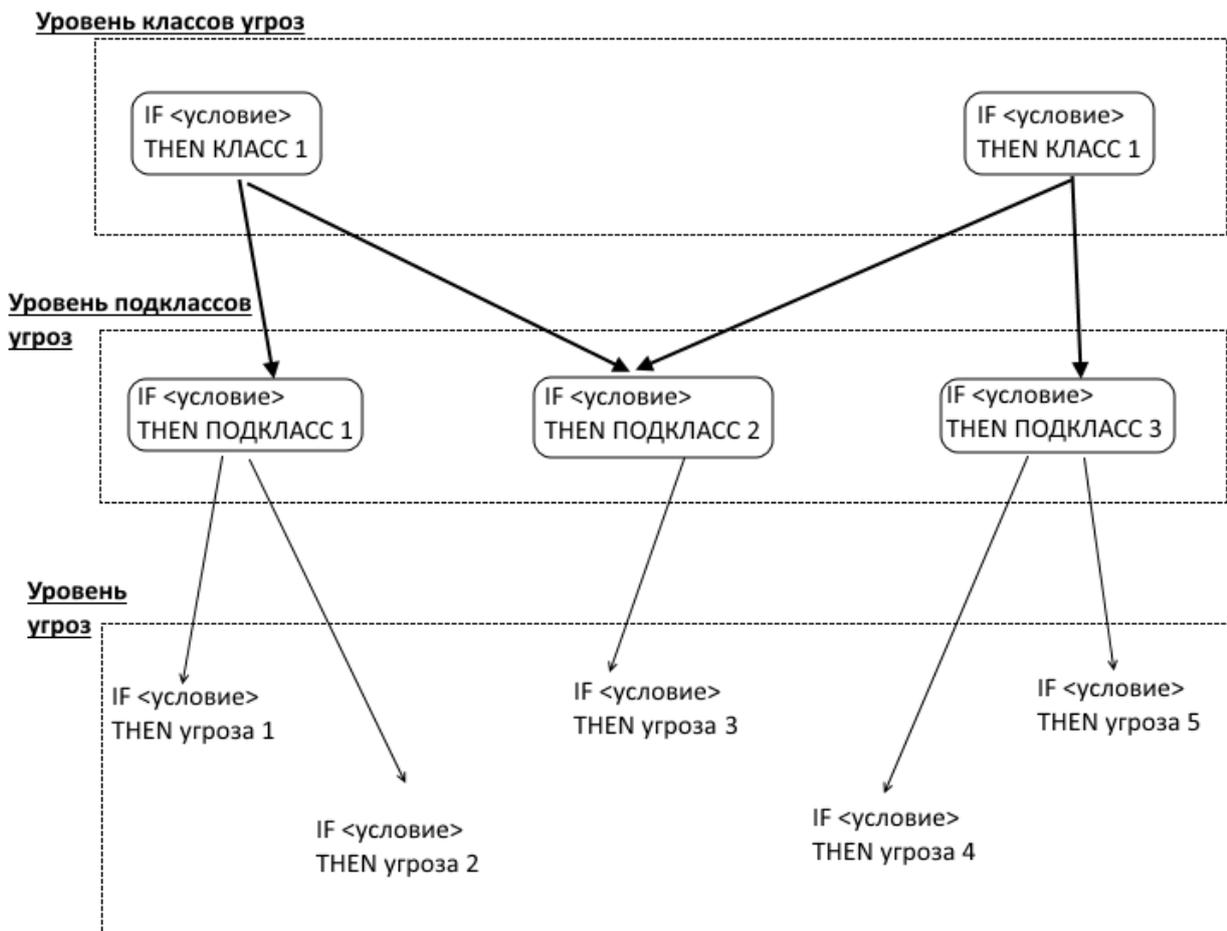


Рис. 1 – Представление модели данных в виде графа

Таким образом, построив подобную семантическую сеть, содержащую в своих узлах эвристические правила для классификации класса атак или угроз, предполагается получить увеличение скорости определения типа угрозы, а следовательно, увеличение производительности системы обнаружения вторжений.

#### Заключение.

В данной статье рассматриваются различные подходы к использованию экспертных систем для решения задач информационной безопасности. Были рассмотрены два подхода: использование экспертных систем, основанных на эвристических правилах и применение экспертных систем с представлением базы знаний в виде семантических сетей. Для каждого подхода приведены примеры существующих разработок, выделены преимущества и недостатки.

В результате был предложен комбинированный подход, суть которого заключается в построении семантической сети с иерархической структурой, содержащей в себе эвристические правила для классификации угроз или атак в качестве объектов. Предполагается, что подобная схема представления знаний позволит добиться увеличения производительности систем обнаружения вторжений.

#### Литература

1. Плетнёв П.В. Алгебраический подход к оценке информационной безопасности / Плетнёв П.В., Лёвкин И.В. // Известия Алтайского государственного университета. 2010. №1-2. С. 124-127
2. K. Kozhakhmet, G. Bortsova, A. Inoue, L. Atymtayeva. Expert System for Security Audit Using Fuzzy Logic, Kazakh-British Technical University, Tole bi st., 59, Almaty, Kazakhstan. MAICS, 2012 (material of conference).
3. ESET. Описание используемых технологий [Электронный ресурс] URL: <https://www.esetnod32.ru/company/why/technology/> (дата обращения 04.03.2016).
4. Что такое компонент Проактивная защита в Антивирусе Касперского 2012? [Электронный ресурс] URL: <https://support.kaspersky.ru/6658> (дата обращения 04.03.2016).
5. Dr. Web Katana [Электронный ресурс] URL: <https://products.drweb.ru/home/katana/> (дата посещения 20.02.2016).
6. Maxpatrol compliance and vulnerability management system [Электронный ресурс] URL: <http://www.ptsecurity.ru/upload/iblock/941/9419112fb9740415f920fd33d027a78d.pdf> (дата посещения 07.03.2016)
7. Котенко И.В. Построение модели данных для системы моделирования сетевых атак на основе онтологического подхода / Котенко И.В., Полубелова О.В., Чечулин А.А. // Труды СПИИРАН. 2013. Вып. 26. С. 26-39.
8. Башмаков А.И., Башмаков И.А. Интеллектуальные информационные технологии: Учеб. пособие. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. - 304 с.

9. Джарратано Дж. Экспертные системы: принципы разработки и программирование / Дж. Джарратано, Г. Райли; пер. с англ. – М.: ООО “И. Д. Вильямс”, 2007. – 1152 с.

10. Krotov L. N. Identification and counteractions to attacks of malefactors in the automated working system / Krotov L. N., Krotova E. L., Bogdanov N. V. // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2015. Vol. 10. C. 10387-10391.

#### References

1. Pletnjov P.V. Algebraicheskiy podhod k ocenke informacionnoj bezopasnosti / Pletnjov P.V., Ljovkin I.V. // Izvestija Altajskogo gosudarstvennogo universiteta. 2010. №1-2. S. 124-127

2. K. Kozhakhmet, G. Bortsova, A. Inoue, L. Atymtayeva. Expert System for Security Audit Using Fuzzy Logic, Kazakh-British Technical University, Tole bi st., 59, Almaty, Kazakhstan. MAICS, 2012 (material of conference).

3. ESET | Описание исползуемых технологий [Jelektronnyj resurs] URL: <https://www.esetnod32.ru/company/why/technology/> (data obrashhenija 04.03.2016).

4. Chto takoe komponent Proaktivnaja zashhita v Antiviruse Kasperskogo 2012? [Jelektronnyj resurs] URL: <https://support.kaspersky.ru/6658> (data obrashhenija 04.03.2016).

5. Dr. Web Katana [Jelektronnyj resurs] URL: <https://products.drweb.ru/home/katana/> (data poseshhenija 20.02.2016).

6. Maxpatrol compliance and vulnerability management system [Jelektronnyj resurs] URL: <http://www.ptsecurity.ru/upload/iblock/941/9419112fb9740415f920fd33d027a78d.pdf> (data poseshhenija 07.03.2016)

7. Kotenko I.V. Postroenie modeli dannyh dlja sistemy modelirovanija setevyh atak na osnove ontologicheskogo podhoda / Kotenko I.V., Polubelova O.V., Chechulin A.A. // Trudy SPIIRAN. 2013. Vyp. 26. S. 26-39.

8. Bashmakov A.I., Bashmakov I.A. Intellektual'nye informacionnye tehnologii: Ucheb. posobie. - М.: MGТУ im. N. Je. Baumana, 2005. - 304 s.

9. Dzharratano Dzh. Jekspertnye sistemy: principy razrabotki i programmirovaniya / Dzh. Dzharratano, G. Rajli; per. s angl. – М.: ООО “И. Д. Вильямс”, 2007. – 1152 с.

10. Krotov L. N. Identification and counteractions to attacks of malefactors in the automated working system / Krotov L. N., Krotova E. L., Bogdanov N. V. // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2015. Vol. 10. S. 10387-10391.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.51.043

Большакова Л.С.<sup>1</sup>, Гудименко Г.В.<sup>2</sup>, Степина О.Н.<sup>3</sup>, Шелепина Н.В.<sup>4</sup>, Кузина А.В.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>ORCID: 0000-0003-4074-4461, Кандидат биологических наук, Доцент,

<sup>2</sup>ORCID: 0000-0001-5042-0191, Доктор экономических наук, Профессор, <sup>3</sup>Кандидат технических наук, Доцент,

<sup>4</sup>ORCID: 0000-0002-1154-8624, Доктор сельскохозяйственных наук, Доцент,

<sup>5</sup>Кандидат биологических наук, Доцент,

Орловский государственный университет экономики и торговли,

Работа выполнена в рамках выполнения Государственного задания Министерства образования и науки РФ

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФЕРМЕНТАТИВНОГО ГИДРОЛИЗА НА ИЗМЕНЕНИЕ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ ЖМЫХА РАПСОВОГО

#### Аннотация

В работе проведено исследование влияния ферментативного гидролиза на изменение пищевой ценности жмыха рапсового. Ферментализация проводилась с применением полиферментного препарата Ровабио<sup>TM</sup> Макс АР, производство Франция. Полученные в ходе исследований результаты показали целесообразность ферментативной обработки жмыха рапсового с целью повышения его пищевой ценности. Ферментативный гидролиз позволяет снизить количество клетчатки и гемицеллюлозы, увеличить количество свободного фосфора в жмыхе рапсовом. Несмотря на уменьшение содержания протеинов, в результате ферментативной обработки их перевариваемость увеличивается, что свидетельствует о возрастании биологической ценности белков. Полученный в ходе биотрансформации продукт может быть использован в качестве функционального обогатителя при производстве пищевых продуктов.

**Ключевые слова:** жмых рапсовый, ферментативный гидролиз, пищевая ценность

Bolshakova L.S.<sup>1</sup>, Gudimenko G.V.<sup>2</sup>, Stepina O.N.<sup>3</sup>, Shelepina N.V.<sup>4</sup>, Kuzina A.V.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>ORCID: 0000-0003-4074-4461, PhD in Biology, Associate Professor,

<sup>2</sup>ORCID: 0000-0001-5042-0191, PhD in Economics, Professor, <sup>3</sup>PhD in Engineering, Associate Professor,

<sup>4</sup>ORCID: 0000-0002-1154-8624, PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor, <sup>5</sup>PhD in Biology, Associate Professor,

Orel State University of Economy and Trade, Orel, Russia

The work is done within the framework of State order of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation

#### STUDY OF THE INFLUENCE OF ENZYMATIC HYDROLYSIS ON THE CHANGE OF THE NUTRITIONAL VALUE OF RAPESEED CAKE

#### Abstract

The paper studied the influence of enzymatic hydrolysis on the change of the nutritional value of rapeseed cake. Enzymatic hydrolysis was carried out with the use of the polyenzyme preparation Rovabio<sup>TM</sup> Max AR, made in France. The results have shown the advisability of enzymatic processing of rapeseed cake to improve its nutritional value. Enzymatic hydrolysis allows reducing the amount of cellulose and hemicellulose, increasing the amount of free phosphorus in rapeseed cake. Despite the decrease of protein content, as a result of enzymatic processing, the digestibility increases that indicates the increase of the biological value of proteins. The product obtained during biotransformation can be used as a functional fortifier in food production.

**Keywords:** rapeseed cake, enzymatic hydrolysis, nutritional value.

## Introduction

Oil cake is a byproduct of oil production from oil plant seeds by pressing. The main use of oil cakes is in fodder production as a component of animal feed and as a separate feed [8,12]. The factors limiting the use of oil cakes for food are high content of cellulose and lignin, and the presence of anti-nutritional compounds, which include phytates, phytic acid, lectins, chlorogenic, quinine, erucic acid and others [2].

In general amount of oil cakes produced both in Russia and in the world, rapeseed cake takes one of the leading places [8]. Rapeseed cake is characterized by the presence of protein with full amino acid composition of polyunsaturated fatty acids with a predominant content of linolenic ( $\omega$ -3) acid, dietary fiber, significant amount of choline, niacin, riboflavin, folic acid, thiamine, mineral substances - calcium, phosphorus, magnesium, copper manganese [3,5,6], which indicates the prospect of its use in food production.

The presence of large amounts of cellulose and phytic compounds limits using of rapeseed cake as a functional ingredient in food production. Phytin content in rape is 1-3%. Phytic acids of cakes bind calcium and phosphorus. From 40 to 70% of total phosphorus of rapeseed cake is connected with phytin [9,14]. Protein, linked by phytates, can't be the subject of hydrolysis with pepsin. This is due to decreased protein solubility and structural changes after the merger with phytate. In addition, protein-phytic complexes react readily with iron, zinc, manganese, copper, impeding their absorption [1,13]. These aspects need to find the effective ways of processing and to improve the quality of rapeseed cake that will allow to save the protein component, increasing its digestibility, and at the same time, to eliminate the factors that reduce the nutritional value of the rape. One of the promising directions of improving the quality of rapeseed cake is its enzymatic treatment with the help of cellulolytic enzyme preparations with phytase activity to get a product with a low content of cellulose and phytic compounds [4,7].

**The purpose** of the work is to study the influence of enzymatic hydrolysis on the change of the nutritional value of rapeseed cake.

### Objects and methods of the research

The objects of the research work are:

- rapeseed cake of increased oil content of "Orelrastmaslo" production (TU 9146-005-00336527-2005);
- enzyme preparation Rovabio Max AR (production - France, Endo-1,4-in-xylanase -14000 AXC- u/g, Endo-1,3 (4) -in-glucanase -2000 AGL- u/g, 6-Phytase-10000 FTU- u/g).

Analysis of samples was carried out according to conventional techniques:

- mass fraction of crude protein – according to GOST 13496.4-93;
- fractional composition of proteins – by Osborne method (in VIR modification) [10];
- mass fraction of crude fiber in the fat-free product, based on absolutely dry substance - according to GOST R 52839-2007;
- determination of qualitative and quantitative composition of vitamins – by the method of high performance liquid chromatography;
- content of minerals - by atomic absorption spectrophotometry;
- determination of free phosphorus concentration - by the method of Ermakov A.I. [11];
- protein digestibility – by colorimetric method (by Lowry) [11].

The reliability of experimental data was evaluated by methods of mathematical statistics with the use of Microsoft Excel.

### Results and their discussion

For carrying out the enzymatic processing of rapeseed cake polyenzyme preparation Rovabio<sup>TM</sup> Max AR was chosen, made in France, consisting of 20 enzymes, which are produced by strains of *Penicillium Funiculosum* and *Schizosaccharomyces pombe*. The main groups of enzymes are xylanase,  $\beta$ -glucanase, phytase, cellulase, protease, pectinase. This preparation hydrolyzes non-starch polysaccharide and phytates of plant origin, allowing on the one hand, partially to hydrolyze the matrix cell wall seed coats of rapeseed cake, and on the other hand, will promote the release of phosphorus bound in phytate.

At the first stage of the study the optimal parameters for enzymatic hydrolysis were determined: hydraulic module, pH, temperature, time and dosage of the enzyme preparation. We studied the influence of these factors on the degree of hydrolysis of rapeseed cake, which was judged by the change in crude fiber content, free of phosphorus and total compressive strain.

On the basis of the experiments and mathematical processing of results some optimal parameters of enzymatic hydrolysis of rapeseed cake by using enzyme preparation Rovabio<sup>TM</sup> Max AR were established (Table 1).

Table 1 – Rational parameters of enzymatic hydrolysis of rapeseed cake

Hydrolysis parameters	Hydrolysis modes
Hydraulic module	1:3
pH	5,5
Soaking temperature, °C	40
Soaking duration, min	180
Dosage, %	0,05

Technological process of enzymatic hydrolysis of rapeseed cake includes the following operations: preparation of raw materials for production; carrying out enzymatic hydrolysis by the preparation Rovabio Max AR; dispersion; drying; grinding; screening; labeling, packaging, transportation and storage.

Since the main objective of the enzymatic influence on rapeseed cake was to increase its nutritional value, at the second stage the changes in its chemical composition, digestibility and fractional composition of proteins, as a result of enzymatic hydrolysis, were studied. The results of chemical composition of the research are presented in Figure 1.

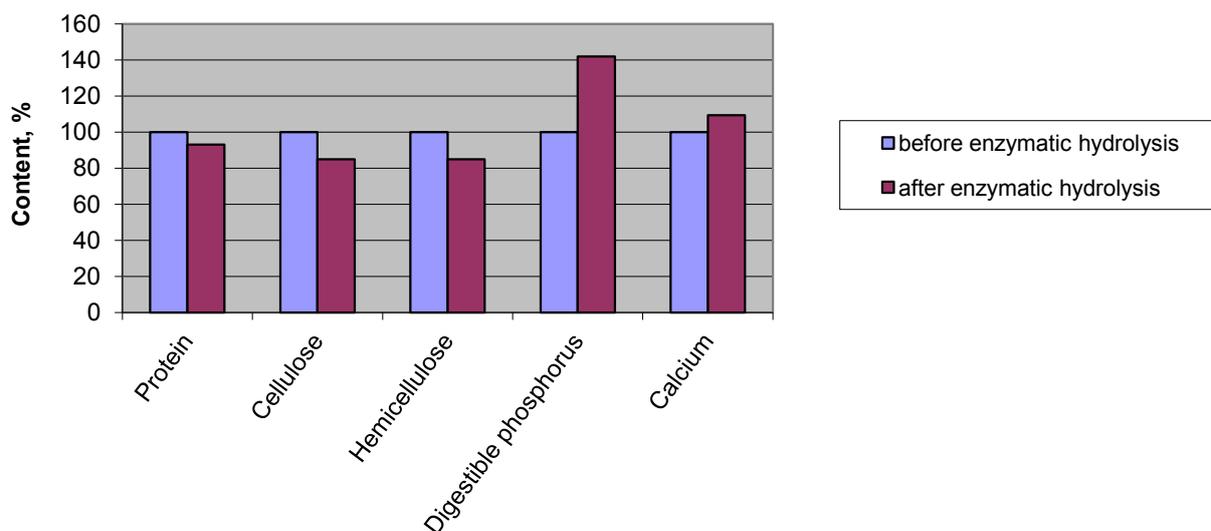


Fig. 1 – Change of the chemical composition of rapeseed cake as a result of enzymatic hydrolysis (Content of nutrients in rapeseed cake to enzymatic hydrolysis is taken as 100%.)

The studies found that as a result of enzymatic processing of rapeseed cake protein content decreased by 7%, cellulose - 15%, hemicellulose - 15%; the amount of digestible (free) phosphorus increased by 42%, calcium – 9,3% respectively. No significant differences in changes of magnesium, sodium, chlorine and sulfur, as well as microelements and vitamins are determined.

Changes in fractional protein composition of rapeseed cake in the enzymatic hydrolysis are shown in Table 2.

Table 2 – Fractional protein composition of rapeseed cake before and after enzymatic hydrolysis

Fractions of proteins	Content to total amount of protein, %	
	before enzymatic hydrolysis	after enzymatic hydrolysis
Water-soluble (albumins)	39,72	40,38
Salt-soluble (globulins)	26,38	27,21
Alkali soluble (glutelins)	16,8	16,27
Insoluble residue	17,1	16,14

As seen from the table, content of the main protein fractions of rapeseed cake under the action of enzymatic processing remains practically unchanged.

Data on the influence of enzymatic hydrolysis on protein digestibility of rapeseed cake are reflected in Figure 2.

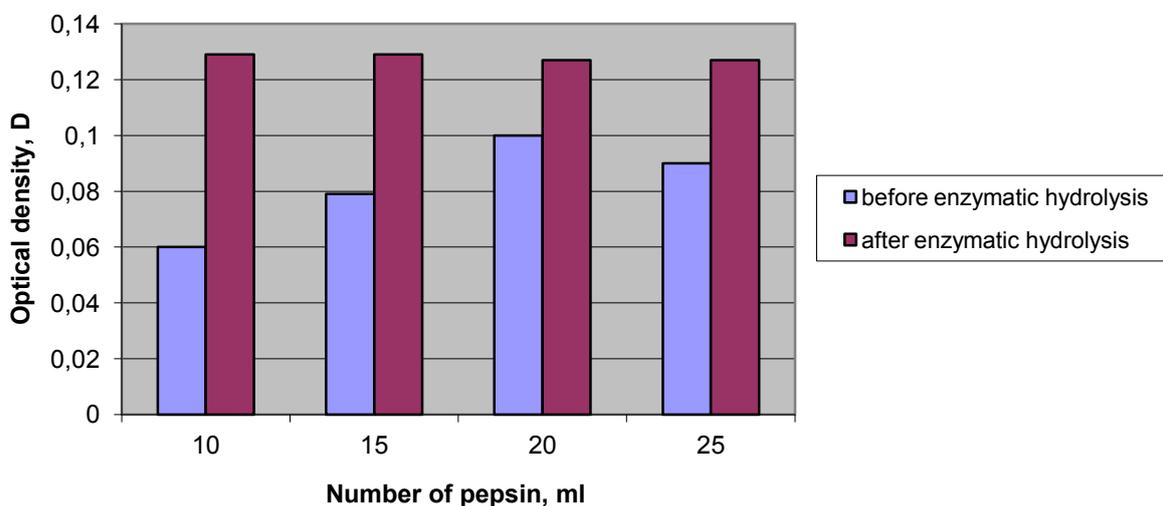


Fig. 2 – Influence of enzymatic hydrolysis on the protein digestibility of rapeseed cake

The obtained data indicate that proteins attacked by digestive enzymes in the enzymatic hydrolysis increase and consequently their digestibility increases. Besides, protein product digestion of enzymatic hydrolysis of rapeseed cake requires a minimum amount of pepsin.

### Conclusion

The results of the research have shown the advisability of rapeseed cake enzymatic processing to improve its nutritional value. During the experiments it was found that the use of the polyenzyme preparation Rovabio<sup>TM</sup> Max AP for the enzymatic hydrolysis, having cellulase and phytase activity, reduces the amount of cellulose and hemicellulose, increases the amount of free phosphorus. Despite the decrease in protein content, as a result of enzymatic processing, the digestibility grows up that shows the increase of biological value of proteins. The product obtained during biotransformation can be used as a functional fortifier in food production.

### Литература

1. Белова Е. И., Глотова И.А., Забурунов С.С. Перспективы вторичных продуктов переработки рапса в разработке комплексных пищевых белково-углеводных обогатителей// Современные наукоемкие технологии.- 2010.- №3.- С. 58-59.
2. Бочкарев М.С., Егорова Е.Ю. Качество и потенциал пищевого использования жмыхов масличного сырья, перерабатываемого в Алтайском крае// Ползуновский вестник.- 2015. - № 4. –С. 19-22.
3. Глотова И. А., Забурунов С. С. Перспективы вторичных продуктов переработки рапса в обеспечении производства биологически полноценных продуктов питания на мясной и рыбной основе// Успехи современного естествознания.- 2007. -№ 11. – С. 47
4. Горпинченко Т.В. Актуальные вопросы продовольственного и кормового использования рапса (обзор)// Хранение и переработка сельскохозяйственного сырья.- 2003.- №7.- С.21-29.
5. Кислухина О.В. Ферменты в производстве пищи и кормов. –М.: ДеЛи принт, 2002. -336 с.
6. Лагутин В. Обзор рынка: жмыхи и шроты // Режим доступа: <http://tsenovik.ru/articles/vystavki-i-meropriyatiya/obzor-rynka-zhmykhi-i-shroty-2/>.
7. Лишаёва Л.Н., Турчина Т.Н., Кириллова О.В., Назарова Н.И. Отдельные экономические аспекты производства жмыхов и шротов и их использование в кормопроизводстве// Масложировая промышленность – 2010 - №4 – с.12-13.
8. Методы белкового и аминокислотного анализа растений: Методические указания.-Л., 1973.-69 с.
9. Методы биохимических исследований растений / А. И. Ермаков, В. В. Ара-симович, Н. П. Ярош [и др.]; Под ред. А. И. Ермакова. - 3-е изд., перераб. и доп. - Л.: ВО Агропромиздат. Ленингр. отд-ние, 1987. - 430 с.
10. Рензяева Т. В. Функциональные свойства белковых продуктов из жмыхов рапса и рыжика// Техника и технология пищевых производств. – 2009. - №4(15). – С.23-26.
11. Солонникова Н. В., Ксандопуло С.Ю., Прудников С.М. Технологические свойства семян рапса новых селекционных сортов// Известия вузов. Пищевая технология. - 2005. - № 4. –С. 3-15.
12. Friedman M. Dietary impact of food processing// Annu. Rev. Nutr. - 1993.-№12.-P. 119-137.
13. Kavalek M., Hanus J. Rapeseed by-products to substitute soymeal// All about feed.- 2015.- v. 23., №7. - P.24-25.
14. Leming R., Lember A. Chemical composition of expeller-extracted and cold-pressed rapeseed cake // J. Agricult. Sci.- 2005.-№16.- P.103-109.

### References

1. Belova E. I., Glotova I.A., Zaburunov S.S. Perspektivy vtorichnyh produktov pererabotki rapsa v razrabotke kompleksnyh pishhevyyh belkovo-uglevodnyh obogatitelej// Sovremennyye naukoemkie tehnologii.- 2010.- №3.- S. 58-59.
2. Bochkarev M.S., Egorova E.Ju. Kachestvo i potencial pishhevogo ispol'zovaniya zhmyhovyh maslichnogo syr'ya, pererabatyvaemogo v Altajskom krae// Polzunovskij vestnik.- 2015. - № 4. –S. 19-22.
3. Friedman M. Dietary impact of food processing// Annu. Rev. Nutr. - 1993.-№12.-P. 119-137.
4. Glotova I. A., Zaburunov S. S. Perspektivy vtorichnyh produktov pererabotki rapsa v obespechenii proizvodstva biologicheskii polnocennyh produktov pitaniya na mjasnoj i rybnoj osnove// Uspеhi sovremennogo estestvoznaniya.- 2007. -№ 11. – S. 47
5. Gorpinchenko T.V. Aktual'nye voprosy prodovol'stvennogo i kormovogo ispol'zovaniya rapsa (obzor)// Hranenie i pererabotka sel'skohozjajstvennogo syr'ja.- 2003.- №7.- S.21-29.
6. Kavalek M., Hanus J. Rapeseed by-products to substitute soymeal// All about feed.- 2015.- v. 23., №7. - P.24-25.
7. Kisluhina O.V. Fermenty v proizvodstve pishhi i kormov. –М.: DeLi print, 2002. -336 с.
8. Lagutin V. Obzor rynka: zhmyhi i shroty. <http://tsenovik.ru/articles/vystavki-i-meropriyatiya/obzor-rynka-zhmykhi-i-shroty-2/>.
9. Leming R., Lember A. Chemical composition of expeller-extracted and cold-pressed rapeseed cake // J. Agricult. Sci.- 2005.-№16.- P.103-109.
10. Metody belkovogo i aminokislотного анализа растений: Metodicheskie ukazaniya.-L., 1973.-69 s.
11. Metody biokhimicheskikh issledovaniy rastenij / A. I. Ermakov, V. V. Ara-simovich, N. P. Jarosh [i dr.]; Pod red. A. I. Ermakova. - 3-e izd., pererab. i dop. - L.: VO Agropromizdat. Leningr. otd-nie, 1987. - 430 s.
12. Lishajova L.N., Turchina T.N., Kirillova O.V., Nazarova N.I. Otdel'nye jekonomicheskie aspekty proizvodstva zhmyhovyh i shrotov i ih ispol'zovanie v kormoproizvodstve// Maslozhirovaja promyshlennost' – 2010 - №4 – s.12-13.
13. Renzjaeva T. V. Funkcional'nye svojstva belkovykh produktov iz zhmyhovyh rapsa i ryzhika// Tehnika i tehnologija pishhevyyh proizvodstv. – 2009. - №4(15). – S.23-26.
14. Solonnikova N. V., Ksandopulo S.Ju., Prudnikov S.M. Tehnologicheskie svojstva semjan rapsa novykh selekcionnyh sortov// Izvestija vuzov. Pishhevaja tehnologija. - 2005. - № 4. –S. 3-15.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.51.060

Брюхова К.С.<sup>1</sup>, Максимов П.В.<sup>2</sup><sup>1</sup>Магистрант, <sup>2</sup>кандидат технических наук, доцент,

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (договор №02.G25.31.0168 от 01.12.2015 г. в рамках реализации постановления Правительства РФ № 218)***АЛГОРИТМ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ESO****Аннотация**

*В работе представлено решение задачи топологической оптимизации опорной конструкции. Разработан алгоритм топологической оптимизации, использующий критерий, учитывающий распределение напряжений в конструкции. Алгоритм написан на языке APDL ANSYS. В представленных результатах присутствуют примеры оптимизации конструкции с различными значениями параметра оптимизации. При использовании представленного в работе алгоритма получена оптимизированная конструкция, в которой появляются участки, представляющие собой подобие балочно-стержневых конструкций.*

**Ключевые слова:** топологическая оптимизация, метод конечных элементов, ANSYS, методы оптимизации.

Bryukhova K.S.<sup>1</sup>, Maksimov P.V.<sup>2</sup><sup>1</sup>Undergraduate, <sup>2</sup>PhD in Engineering, associate professor,

Perm National Research Polytechnic University

**THE ALGORITHM OF TOPOLOGY OPTIMIZATION BASED ON THE ESO-METHOD****Abstract**

*The paper presents a solution to the problem of the topological optimization of the support structure of the shop. The algorithm uses the topological optimization criterion taking into account the distribution of stresses in the structure. The algorithm is written in apdl ANSYS. The results of the present represented by examples of design optimization with different values of the optimization parameter. When using the algorithm presented in this work, the optimized design is obtained, in which there are areas representing the similarity of rod structures.*

**Keywords:** topological optimization, finite elements method, ANSYS, optimization methods.

**Т**опологическая оптимизация – математический подход, решающий проблему оптимального распределения материала в ограниченном пространстве с учетом действующих нагрузок и граничных условий таким образом, чтобы решение удовлетворяло требуемым условиям. При этом анализ конструкции выполняется методом конечных элементов, в то время как сама оптимизация может выполняться одним из известных методов оптимизации.

**Постановка задачи топологической оптимизации**

Один из подходов топологической оптимизации состоит в минимизации податливости и максимизации функции жесткости, при ограничениях в виде граничных условий и условий нагружения. Так же в приоритете стоит максимальное достижение в конструкции состояния равнопрочности.

Формула пересчета перегруженности модели, с учетом распределения напряжений в конструкции выглядит следующим образом:

$$\sigma = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}, \quad (1)$$

где  $\sigma_{\min}$ ,  $\sigma_{\max}$  – минимальное и максимальное значение интенсивности напряжений по Мизесу, найденные среди всего набора значений интенсивностей, вычисленных в центральных точках конечных элементов.

**Описание разработанного алгоритма топологической оптимизации**

Решается задача о разработке алгоритма топологической оптимизации на основе метода ESO. Математическая основа метода ESO достаточно проста. В текущей работе принято решение усложнить описываемым образом известный метод, а в последующем заимствовать и интегрировать в модифицированный алгоритм некоторый функционал метода BESO.

Для решения данной задачи предлагается следующий алгоритм:

1. Заданная проектная область подробно разбивается на конечные элементы. Для построенной конечно-элементной модели задаются граничные условия и условия нагружения.
2. Производится расчет напряженно деформированного состояния конструкции.
3. Определяется максимальное и минимально эквивалентное напряжение по Мизесу в центральных точках каждого элемента, они потребуются для дальнейших расчетов.
4. Производится расчет критерия оптимизации

$$\varphi = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) * \varepsilon - \sigma_{\min}, \quad (2)$$

где  $\varphi$  – критерий оптимизации;  $\varepsilon$  – коэффициент оптимизации, который на текущем этапе подобран после ряда численных экспериментов, коэффициент дает лучшие результаты с точки зрения сходимости (сходится быстрее за меньшее количество итераций). Так же, благодаря подобранному параметру, конструкция быстрее становится равнопрочной, то есть указанный далее коэффициент перегруженности модели достигает нужного значения близкого к единице.

Очень часто при топологической оптимизации конструкций возникает проблема, когда элементы располагаются как бы в шахматном порядке, то есть связь, между двумя существующими элементами, производится только за счет одного узла, что в последующем требует дополнительной инженерной доработки уже после выполнения топологической оптимизации конструкции. При подобранном критерии и при более мелкой сетке такая проблема практически исчезает. Понятно, что если же сетка будет недостаточно мелкой, то конструкция будет выглядеть более грубо и критерий оптимизации не сможет полностью решить сложившуюся проблему.

Так же благодаря данному критерию последующее распределение напряжений будет более гладким.

5. Определяется общая характеристика распределения напряжений в конструкции. Для этого рассчитывается отношение минимального эквивалентного напряжения к максимальному эквивалентному напряжению во всей оптимизированной конструкции, а после записывается получившееся значение. Тем самым становится возможно определить равнопрочность конструкции, в идеале данное отношение должно стремиться к единице.

6. Производится вычисление массы. Вычисление массы может производиться на каждой итерации, чтобы далее было возможно качественно и количественно оценить падение массы в процессе топологической оптимизации конструкции.

7. Производится проверка значения критерия оптимизации во всех элементах, если он ниже полученного значения, то записывается номер соответствующего элемента в специальный массив, который будет использоваться на следующем шаге.

8. Проверяется, является ли конструкция равнопрочной. То есть рассматривается значение, записанное на шаге 5. Если это значение равно или выше заданного значения (заданное значение должно быть меньше единицы или равно ему, смотря, какого результата необходимо добиться), то конструкция является равнопрочной, а цикл завершается, и пункт 9 не выполняется (в случае с циклом while это условие является условием выхода из цикла), а выполняются пункты, следующие за пунктом 10, которые уже не входят в цикл по элементам. В противном случае выполняются последующие шаги, и цикл начинается заново.

9. С использованием технологии умерщвления элементов, представленной в пакете ANSYS (EKILL) исключаются из расчета элементы, номера которых записывались на шаге 7.

При умерщвлении конечного элемента программа ANSYS фактически не удаляет "убитые" элементы. Вместо этого она деактивирует их, умножая их жесткость (или проводимость, или другой аналогичный параметр) на коэффициент уменьшения (ESTIF). Этот коэффициент по умолчанию равен  $1.0E-6$ , но можно задать и другие значения.

10. Проводится расчет напряженно деформированного состояния для оптимизированной конструкции.

11. В программе установлен счетчик, по которому пользователь сможет определить номер итерации, на которой он остановился, либо остановилась сама программа.

В текущей реализации модифицированного алгоритма, как и в методе ESO, не предполагается «серых» областей.

Процесс топологической оптимизации конструкции носит итерационный характер, на каждом шаге которого при помощи метода конечных элементов определяется напряженно-деформированное состояние, реализуемое в конструкции с измененной конфигурацией при заданных силовых и кинематических граничных условиях.

#### Результаты работы алгоритма топологической оптимизации

Продемонстрируем работу алгоритма топологической оптимизации, реализованного с помощью метода конечных элементов в пакете ANSYS, для плоской задачи теории упругости на примере кронштейна (рисунок 1), имеющего в начальном состоянии форму прямоугольника.

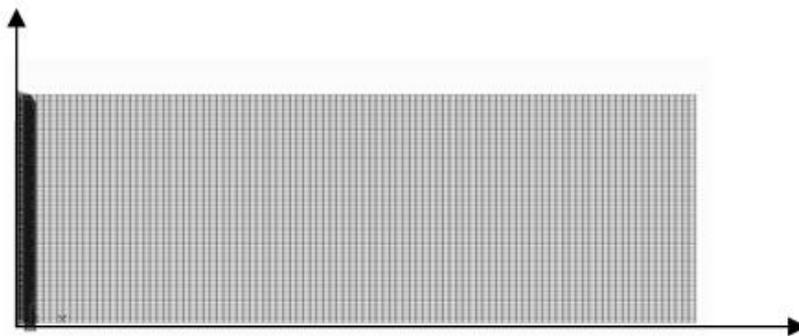


Рис.1 – Начальная расчетная схема

Кронштейн жестко закреплен по левой стороне. На кронштейн сверху действует распределенная нагрузка. Требуется найти такую форму кронштейна, при которой последний будет иметь наименьшую массу, но при этом конструкция должна быть равнопрочной (то есть отношение минимального напряжения конструкции к максимальному должно быть близко к единице).

На рисунке 2 показана последовательно изменяющаяся в результате оптимизации форма кронштейна:

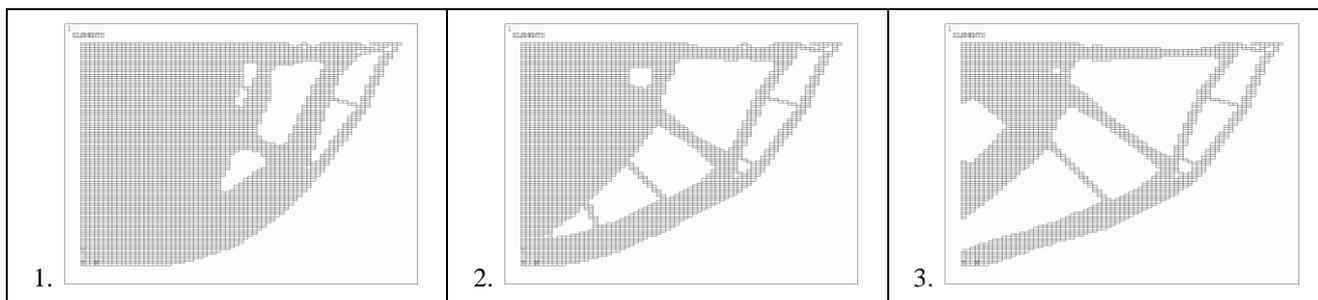


Рис.2 – Формы кронштейна на различных шагах оптимизации

На рисунке 2 представлены шаги итерационного процесса оптимизации, критерием “умерщвления” элементов являлось достижение эквивалентными напряжениями по Мизесу значений, заданных по формуле (2). Наблюдается образование условно балочно-стержневой конструкции, представляющей собой взаимно перпендикулярные стержни. При этом, в ходе оптимизации количество этих стержней уменьшается. Так стержни, направленные из нижнего левого угла в верхний правый угол, сохраняют свое количество, при этом уменьшая толщину. Перпендикулярные же им стержни постепенно разгружаются и в итоге пропадают. В частности, основную нагрузку воспринимает один стержень, расположенный посередине.

#### Заключение

При использовании представленного в работе алгоритма получена оптимизированная конструкция, в которой появляются участки, представляющие собой подобие тонких балочно-стержневых элементов. В текущей постановке вопросы потери устойчивости таких элементов не рассматривались. В дальнейшем планируется учитывать критерий потери устойчивости прямо в ходе итерационного процесса.

После проведения ряда численных экспериментов подобран оптимальный критерий оптимизации для заданной конструкции.

В дальнейшем планируется учет в алгоритме более сложных критериев оптимизации разработанного критерия, а также модификация предложенного алгоритма оптимизации. Предлагается введение «замороженных» неизменяемых областей, к которым, в первую очередь, должны быть отнесены границы приложения нагрузок, области закреплений.

#### Литература

1. Bendsoe, Martin P. Topology Optimization: Theory, methods and applications / Martin P. Bendsoe // Ole Sigmund. – Germany : Springer, 1995. –370 с.
2. Сысоева В.В., Чедрик В.В. Алгоритмы оптимизации топологии силовых конструкций // ученые записки ЦАГИ, том XLII. –с.91-102. –2011
3. Джилавян С.А., Хуршудян Ас.Ж. Оптимизация топологии упругого основания прямоугольной пластинки, подверженной воздействию подвижной нагрузки // XII всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ–2014. –с.1745-1756. –2014.
4. Яров В.А., Прасоленко Е.В. Строительные конструкции здания и сооружения // Вестник ТГАСУ № 3. – с.89-102. –2011.
5. Rozvany G.I.N., Zhou N., Sigmund O. Topology Optimization in Structural Design // In: Advances in Design Optimization. – Adeli, 1994, London. –p.240–299.

#### References

1. Bendsoe, Martin P. Topology Optimization: Theory, methods and applications / Martin P. Bendsoe // Ole Sigmund. – Germany : Springer, 1995. –370 с.
2. Sysoeva V.V., CHedrik V.V. Algoritmy optimizacii topologii silovyh konstrukcij // uchenye zapiski CAGI, tom XLII. – s.91-102. –2011.
3. Dzhilavyan S.A., Hurshudyan As.ZH. Optimizaciya topologii uprugogo osnovaniya pryamougol'noj plastinki, podverzhennoj vozdejstviyu podvizhnoj nagruzki // XII vserossijskoe soveshchanie po problemam upravleniya VSPU–2014. – s.1745-1756. –2014.
4. Yarov V.A., Prasolenko E.V. Stroitel'nye konstrukcii zdaniya i sooruzheniya // Vestnik TGASU № 3. –s.89-102. –2011.
5. Rozvany G.I.N., Zhou N., Sigmund O. Topology Optimization in Structural Design // In: Advances in Design Optimization. – Adeli, 1994, London. –p.240–299.



ПРИМЕР DOI:  
10.18454/IRJ.2015.0001

Начиная с ноябрьского выпуска 2015 года /10 (41) Ноябрь 2015/, каждой статье, опубликованной в Международном научно-исследовательском журнале, редакция издания будет присваивать идентификатор цифрового объекта DOI:

- DOI облегчает процедуры цитирования, поиска и локализации научной публикации;
- DOI повышает авторитет журнала, а также свидетельствует о технологическом качестве издания;
- DOI является неотъемлемым атрибутом системы научной коммуникации за счет эффективного обеспечения процессов обмена научной информацией.

**(Digital Object Identifier)** — идентификатор цифрового объекта, стандарт обозначения представленной в сети информации.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.51.004

Бурова Н.О.<sup>1</sup>, Грязина Ф.И.<sup>2</sup>, Кислицына Н.А.<sup>3</sup>, Смоленцев С.Ю.<sup>4</sup><sup>1</sup>Кандидат технических наук, <sup>2</sup>кандидат сельскохозяйственных наук,<sup>3</sup>кандидат технических наук, <sup>4</sup>доктор биологических наук,

Марийский государственный университет

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПУЛЬСАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ НА МАССОВУЮ КОНЦЕНТРАЦИЮ ОБЩЕГО ЭКСТРАКТА В ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ НАСТОЕК****Аннотация**

Материал посвящен проблеме повышения суммарной концентрации растворенных в настоеке нелетучих веществ в процессе экстрагирования растительного и спиртосодержащего сырья после предварительной обработки пульсацией в мембранном пульсационном аппарате. Традиционно, биологически активные соединения и сырье растительного происхождения продолжают занимать значительное место в современном пищевом производстве. Одной из главных задач современных пищевых технологий является максимально полное извлечение ценных компонентов из сырья и снижение процента потерь в ходе его дальнейшей переработки. Основной стадией получения настоек является экстрагирование из сырья, определяемое общими законами массопередачи, свойствами растительной ткани и физико-химическим средством растворителя и извлекаемого вещества. В статье описаны недостатки экстракции, как способа извлечения компонентов из растительного сырья, и методы, позволяющие повысить эффективность данного процесса. Целью работы является исследование возможности применения пульсационного способа обработки растительного сырья на стадии предварительной обработки для повышения выхода экстрактивных веществ готового продукта на примере настоек. Представлена схема разработанного пульсационного аппарата и оптимальные режимы обработки сырья, согласно ранее проведенным исследованиям. Технология настаивания, залива и методы контроля основных показателей качества взяты согласно стандартной технологии. Рассмотрены результаты экспериментального исследования влияния пульсационной обработки на выход экстрактивных веществ, которые подтверждают возможность использования данного вида предварительной обработки растительного сырья.

**Ключевые слова:** пульсация, растительное сырье, экстракция, экстрактивные вещества, общий экстракт

Burova N.O.<sup>1</sup>, Gryazina F.I.<sup>2</sup>, Kislitsyna N.A.<sup>3</sup>, Smolentsev S.Yu.<sup>4</sup><sup>1</sup>PhD in Engineering, <sup>2</sup>PhD in Agriculture, <sup>3</sup>PhD in Engineering, <sup>4</sup>PhD in Biology,

Mari State University

**RESEARCH INTO THE INFLUENCE OF PULSE PROCESSING OF PLANT RAW MATERIAL ON THE MASS CONCENTRATION OF CRUDE EXTRACT IN TINCTURATION TECHNOLOGY****Abstract**

The paper is devoted to the problem of increasing the total concentration of nonvolatile substances in the tincture during the extraction process of plant and alcohol-containing raw materials after preliminary pulse processing in the membrane apparatus. Traditionally, biologically active compounds and plant raw material continue to play a significant role in the modern food production. One of the main goals of modern food technology is the most complete extraction of valuable constituents from raw material and a decrease in their loss during its further processing. The main stage intincturation is the extraction process, determined by the general laws of mass transfer, the properties of plant tissue and chemical and physical affinity between the solvent and extracted substance. The article describes the disadvantages of extraction as a method of extracting constituents from plant raw material and methods to increase the efficiency of this process. The aim of the paper is to research the possibilities for application of pulse processing of plant raw material at the preliminary processing stage to increase the yield of extractive substances of the finished product by the example of tinctures. The scheme of the developed pulsation apparatus and optimum modes of raw material processing are presented according to the previously conducted research. Infusion technology, control methods for basic quality indicators are taken according to the standard technology. The results of experimental research into the influence of pulse processing on the yield of extractive substances which confirm the possibility of using this type of preliminary processing of plant raw materials.

**Keywords:** pulsation, plant raw materials, extraction, extractive substances, crude extract.

Современное развитие алкогольной промышленности России предусматривает рациональное использование натуральных растительных ресурсов и разработку новых видов продуктов по современным технологиям.

Настойки представляют собой прозрачные жидкие спиртовые или спиртоэфирные извлечения из растительного сырья, получаемые без нагревания и удаления экстрагента.

В качестве экстрагента используют этиловый спирт различной концентрации, зависящей от свойств экстрагируемого сырья.

Спирт эффективно извлекает полезные компоненты из сырья, гарантируя при этом их долгую сохранность. Основным методом извлечения полезных для организма человека веществ из растений на сегодняшний день остается экстракция. Данный процесс широко рассматривается в контексте комбинирования основных параметров и реагентов [1,3,4,5,6].

Метод настаивания (экстракция из растительного сырья) несовершенен и имеет ряд недостатков. В связи с низкой скоростью диффузионного обмена процесс проводится длительное время, следовательно, возможны потери экстрагента вследствие испарения. Также, большую трудность вызывает операция перемешивания, поскольку набухшая растительная масса на дне аппарата слеживается.

Большое распространение получили методы динамической экстракции:

- 1) с циркуляцией экстрагента (образующуюся вытяжку периодически сливают из нижней части настойки и заливают в него сверху);
- 2) дробная (экстрагент делят на порции и сырье заливают этими порциями последовательно);
- 3) центробежная (осуществляется при помощи фильтрующей центрифуги и заключается в прохождении экстрагента сквозь располагающийся по периферии слой растительного сырья);
- 4) турбоэкстракция (способ основан на вихревом перемешивании смеси сырья и экстрагента при помощи турбинной мешалки со скоростью 8000—13 000 об/мин при одновременном измельчении сырья);
- 5) ультразвуковая (сочетание мацерации с обработкой смеси сырья и экстрагента ультразвуком).

Указанные методы позволяют существенно сократить стадию экстрагирования (до нескольких часов и даже минут) в процессе получения настоек.

Однако не исследованными в должной степени остаются процессы предварительной обработки растительного сырья перед экстракцией.

Известен способ обработки жидкостных гетерогенных сред, заключающийся в создании колебательного движения в среде, находящейся в аппарате. Колебательные движения создаются вибрированием или пульсацией.

Принцип действия системы пульсации сводится к тому, что генератор импульсов, дистанционно, через пульсопровод генерирует в пульсационной камере пневматические импульсы определенной мощности и приводит в колебательное движение суспензию [2].

Системы пульсации были широко изучены в технологии химических производств.

Большой вклад в развитие процесса пульсации внесли Лященко П.В., Кутепов А.М., Нигматуллин Р.И., Губанов А.М., Жихарев А.С., Чепура И.В., Скороходов А.Г., Реут К.В., Бредихин С.А., Ефремов Б.А., Иванов Г.И., Ибяттов Р.И., Иванникова Е.М. и многие другие ученые [2].

**Материалы и методы.** Исследование возможности использования пульсации на стадии предварительной обработки сырья для повышения выхода экстрактивных веществ проводилось на пульсационном аппарате, разработанном на кафедре Технологии хранения и переработки продукции растениеводства Марийского государственного университета (рисунок 1) с использованием ягод облепихи, спирта этилового, питьевой воды и другого сырья, согласно требованиям действующих ГОСТ.

Пульсационный аппарат состоит из полый стеклянной трубы 1, разделенной на рабочую зону и зону отстаивания (успокоитель). Частота пульсационных колебаний регулируется преобразователем и передается на пульсатор, выполненный в виде мембраны 2 через эксцентрик 4 и шток 3. Работа осуществляется от электродвигателя через редуктор. Амплитуда пульсации составляет 2 мм, что объясняется конструкцией пульсационной установки.

Настойка обрабатывалась на установке в течении 30 минут, частота пульсаций  $n=8-9$  Гц при амплитуде колебаний 2 мм. Данные параметры были приняты оптимальными согласно предварительным испытаниям [7,8,9].

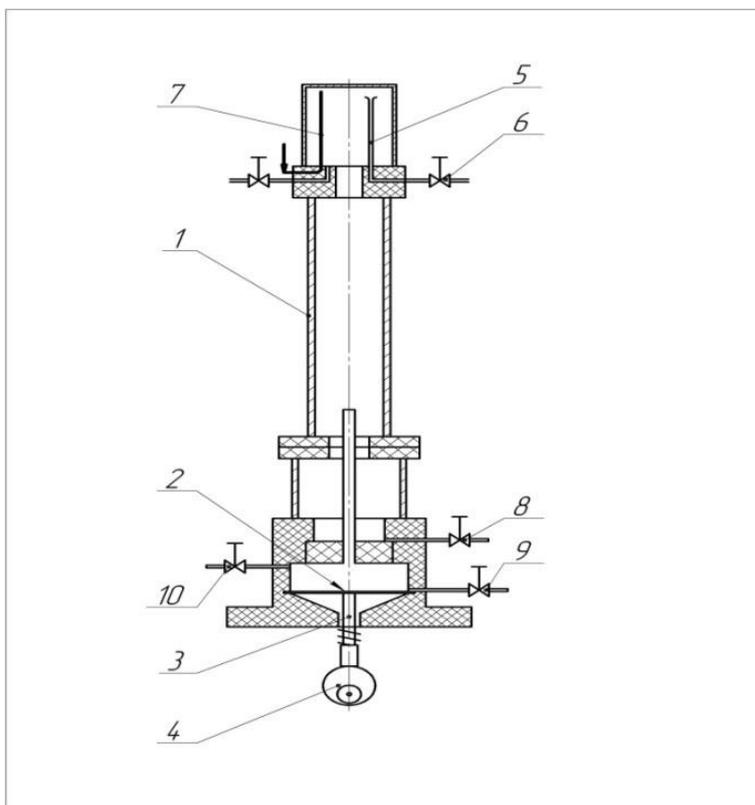


Рис. 1 – Схема пульсационного аппарата

1 – стеклянная труба диаметром 80 мм и длиной 120мм, 2 – пульсатор, выполненный в виде мембраны, 3 – шток, 4 – эксцентрик, 5 – успокоитель, 7 – воздуховод, 6,8,9,10 – запорные элементы

За основу разработки настойки была принята стандартная рецептура, представленная в таблице 1.

Таблица 1 – Выход настоев из 1000 кг свежих плодов и ягод

Сырье	Первый залив		Второй залив			Выход				Общее количество морсов первого и второго слива, л
	Количество водно-спиртовой жидкости, л	Крепость, % об	Количество водно-спиртовой жидкости		Крепость, % об	Первый слив		Второй слив		
						количество		количество		
			л	% от жидкости, залитой в первый раз		л	% от жидкости, залитой в первый раз	л	% от жидкости, залитой во второй раз	
Облепиха	990	45	693	70	30	1089	110	970	140	2059
Калина	990	45	693	70	30	1089	110	970	140	2059
Имбирь	1000	70	1000	100	50	850	100	850	100	1070

Технология настаивания и залива были взяты согласно стандартной технологии.

Полуфабрикаты до купажирования подвергались следующим определениям: крепости по ГОСТ Р 51135-2010, массовой концентрации общего экстракта рефрактометрическим методом ГОСТ Р 51135-2010, органолептических показателей по ГОСТ Р 52522-2006.

**Основные результаты.** Целью работы является исследование возможности применения пульсационного способа обработки растительного сырья на стадии предварительной обработки для повышения выхода экстрактивных веществ готового продукта на примере настойки.

Экспериментальные исследования проводили в соответствии с действующими ГОСТами, методиками, обеспечивающими получение первичной информации в виде реализации случайных процессов с последующей их обработкой на персональном компьютере при помощи программы «Microsoft Excel».

Одним из основных показателей, оказывающих влияние на качество готовой настойки является показатель массовой концентрации общего экстракта - суммарная концентрация всех растворенных веществ.

Результаты определения массовой концентрации общего экстракта полупродуктов и готовой настойки представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты определения массовой концентрации общего экстракта рефрактометрическим методом

Показатели	С применением пульсации			Контроль		
	1	2	3	1	2	3
Массовая концентрация общего экстракта 1 слива, г/дм <sup>3</sup>	6,4	6,4	6,4	4,2	4,6	4,6
Массовая концентрация общего экстракта 2 слива, г/дм <sup>3</sup>	3,6	3,6	3,6	3,8	4,0	3,8
Массовая концентрация общего экстракта 1 и 2 слива, г/дм <sup>3</sup>	5,2	5,1	5,2	4,0	3,9	3,9

Метрологической характеристикой проведенного эксперимента является сходимость результатов, заключающаяся в допустимом абсолютном расхождении между результатами двух параллельных определений не более 0,7 г/дм<sup>3</sup>.

Стандартная технология настаивания предполагает 6 суточную выдержку сырья и экстрагента. Экспериментальный образец с применением пульсационной обработки и контрольный, приготовленный по традиционной технологии, подвергали лабораторному контролю ежедневно. Последовательно фиксировалась массовая концентрация общего экстракта полупродукта первого слива, второго слива и, после купажа - готовой настойки.

Результаты эксперимента показывают, что при настаивании образца с применением пульсационной обработки массовая концентрация общего экстракта первого слива составила 6,4 г/дм<sup>3</sup>, что на 2,2 г/дм<sup>3</sup> больше чем в контрольном варианте без обработки.

Кроме этого видим, что при настаивании образца с применением пульсационной обработки выход экстрактивных веществ произошел более полно, массовая концентрация общего экстракта 1 и 2 слива с средним составляет 5,17 г/дм<sup>3</sup>, что превышает аналогичные показатели в контрольном образце на 31,6%.

Таким образом, предварительная обработка сырья пульсацией позволяет получать из растительного сырья большее количество экстрактивных веществ, тем самым улучшая качество готового изделия.

Возможно, в основе подобного эффекта лежит явление скачкообразного увеличения массообмена в режиме инверсии фаз между газовой и жидкой фазами в пористых средах при предельных скоростях потоков, соответствующих переходу газовой фазы в дисперсную, а жидкой в сплошную с сохранением их противоточного движения, открытого в 1949 году В.В.Кафаровым и А.Н.Плановским (Приоритет № 141 от 6 июня 1949 года).

**Выводы.** Согласно проведенным исследованиям, использование предварительной обработки растительного сырья в пульсационном аппарате при режиме: амплитуда пульсации  $A=2$  мм, частота пульсации  $n=8-9$  Гц, продолжительность процесса обработки  $t=30$  мин - положительно влияет на повышение содержания общего экстракта в готовом продукте.

Исследования по применению метода пульсации для пищевых систем позволяют сделать вывод о перспективности данного направления. Кроме того метод пульсации является недостаточно исследованным на пищевых системах и служит основой для создания новых пищевых технологий и аппаратов.

#### Литература

1. Di Zhao, Hong-Bo Li, Jia-Yi Xu, Jun Luo, Lena Qiying Ma. Arsenic extraction and speciation in plants: Method comparison and development. *Science of The Total Environment*, Volume 523, 1 August 2015, Pages 138-145
2. Карпачева, С.М. Основы теории и расчета пульсационных колонных реакторов /С. М. Карпачева, Е.И. Захарова. – М.: Атомиздат, 1980. – 256с.
3. Man Wang, Wentao Bi, Xiaohua Huang, David Da Yong Chen. Ball mill assisted rapid mechanochemical extraction method for natural products from plants. *Journal of Chromatography A*, In Press, Corrected Proof, Available online 19 April 2016
4. Priscilla C. Veggi, Rodrigo N. Cavalcanti, M. Angela A. Meireles Production of phenolic-rich extracts from Brazilian plants using supercritical and subcritical fluid extraction: Experimental data and economic evaluation. *Journal of Food Engineering*, Volume 131, June 2014, Pages 96-109
5. Ramesh Kumar Saini, Young-Soo Keum Tocopherols and tocotrienols in plants and their products: A review on methods of extraction, chromatographic separation, and detection. *Food Research International*, Volume 82, April 2016, Pages 59-70
6. Tiziana Fornari, Gonzalo Vicente, Erika Vázquez, Mónica R. García-Risco, Guillermo Reglero Isolation of essential oil from different plants and herbs by supercritical fluid extraction. *Journal of Chromatography A*, Volume 1250, 10 August 2012, Pages 34-48.
7. Юнусов Г.С. Исследование влияния пульсационной обработки на процесс разделения гетерогенной пищевой среды / Г.С. Юнусов, Н.А. Кислицына // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. - 2013.- № 1. - С. 69-72.
8. Юнусов Г.С. Результаты исследования процесса разделения пищевой суспензии с помощью пульсационного аппарата / Г.С.Юнусов, Н.А.Кислицына // *Вестник Казанского ГАУ*. - 2013. - № 2. - С. 99-102.
9. Юнусов Г.С. Исследование влияния пульсационной обработки и температуры на процесс разделения жидкостной гетерогенной пищевой среды / Г.С.Юнусов, Н.А.Кислицына // *Вестник Марийского гос. ун-та*. – 2013. - С. 24-26.

#### References

1. Di Zhao, Hong-Bo Li, Jia-Yi Xu, Jun Luo, Lena Qiying Ma Arsenic extraction and speciation in plants: Method comparison and development. *Science of The Total Environment*, Volume 523, 1 August 2015, Pages 138-145
2. Karpacheva, S.M. Osnovy teorii i rascheta pul'sacionnyh kolonnyh reaktorov /S. M. Karpacheva, E.I. Zaharova. – М.: Atomizdat, 1980. – 256s.
3. Man Wang, Wentao Bi, Xiaohua Huang, David Da Yong Chen Ball mill assisted rapid mechanochemical extraction method for natural products from plants. *Journal of Chromatography A*, In Press, Corrected Proof, Available online 19 April 2016
4. Priscilla C. Veggi, Rodrigo N. Cavalcanti, M. Angela A. Meireles Production of phenolic-rich extracts from Brazilian plants using supercritical and subcritical fluid extraction: Experimental data and economic evaluation. *Journal of Food Engineering*, Volume 131, June 2014, Pages 96-109
5. Ramesh Kumar Saini, Young-Soo Keum Tocopherols and tocotrienols in plants and their products: A review on methods of extraction, chromatographic separation, and detection. *Food Research International*, Volume 82, April 2016, Pages 59-70
6. Tiziana Fornari, Gonzalo Vicente, Erika Vázquez, Mónica R. García-Risco, Guillermo Reglero Isolation of essential oil from different plants and herbs by supercritical fluid extraction. *Journal of Chromatography A*, Volume 1250, 10 August 2012, Pages 34-48.
7. Junusov G.S. Issledovanie vlijanija pul'sacionnoj obrabotki na process razdelenija geterogennoj pishhevoj sredy / G.S.Junusov, N.A. Kislicyna // *Agrarnaja nauka Evro-Severo-Vostoka*. - 2013.- № 1. - S. 69-72.
8. Junusov G.S. Rezul'taty issledovanija processa razdelenija pishhevoj suspenzii s pomoshh'ju pul'sacionnogo apparata / G.S.Junusov, N.A.Kislicyna // *Vestnik Kazanskogo GAU*. - 2013. - № 2. - S. 99-102.
9. Junusov G.S. Issledovanie vlijanija pul'sacionnoj obrabotki i temperatury na process razdelenija zhidkostnoj geterogennoj pishhevoj sredy / G.S.Junusov, N.A.Kislicyna // *Vestnik Marijskogo gos. un-ta*. – 2013. - S. 24-26.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.51.174

Vega Vice X.L.

Аспирант, Кафедра системного анализа, Институт вычислительной математики и информационных технологий,  
Казанский (Приволжский) Федеральный Университет

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНИКИ «MODEL CHECKING» ДЛЯ ВЕРИФИКАЦИИ ПРОГРАММ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ

*Аннотация*

*Разработка программ территориального развития представляет собой сложную и важную задачу, которая требует тщательного рассмотрения многих аспектов. В процессе их создания некоторые важные аспекты остаются без должного внимания, что приводит к проблемам в реализации программ. Эти проблемы могут возникать, к примеру, из-за нехватки ресурсов или невыполнения сроков, установленных на первоначальном этапе планирования. Иногда под влиянием различных факторов главная цель проекта не может быть достигнута. Поэтому для обеспечения корректности и надежности операции системы возникает необходимость использовать некий инструмент, позволяющий гибко влиять на её производительность.*

*В настоящей статье рассматривается широко распространённый подход к моделированию и верификации систем, известный под названием Model Checking, позволяющий выявлять ошибки на разных этапах разработки и сопровождения программ территориального развития, чтобы последовательно устранять их.*

**Ключевые слова:** программа территориального развития, model checking, темпоральная логика, CTL, NuSMV, JetBrains MPS + mbeddr.

Vega Vice J.L.

Postgraduate student, Dept. of System Analysis, Institute of Computer Mathematics and Information Technologies,  
Kazan (Volga Region) Federal University

### USE OF MODEL CHECKING FOR THE VERIFICATION OF TERRITORIAL DEVELOPMENT PROGRAMS

*Abstract*

*The elaboration of territorial development programs is a complex and important task that requires the careful consideration of many aspects. Occasionally, during the creation process, some important aspects are overlooked, which leads to issues in the program. These issues can range from financial overdraft or failure to meet the established timeline, to failure to achieve the main objective of the program. Therefore, to ensure the correctness and reliability of the system, it is necessary to use a tool that allows for the flexibility to influence its performance.*

*This article discusses the widespread approach to the modeling and verification of systems, known as Model Checking, which allows for the detection of errors at different stages of the development and maintenance of territorial development programs in order to consistently eliminate them.*

**Keywords:** territorial development program, model checking, temporal logic, CTL, NuSMV, JetBrains MPS + mbeddr.

The elaboration of territorial development programs is a complex task that requires the careful consideration of many relational aspects, such as local resources and territorial indicators, as well as desired outcomes.

Programs are usually commissioned by government authorities, carried out by groups of experts that put in a lot of effort to complete the assigned task. Occasionally, because of the complexity of the projects, some inefficiency is built into the programs, and often, they manifest themselves much later, usually during the execution phase, when results are expected, therefore causing the program to fall short of expectations. [1]

What can be done to fix this? A model verification technique known as *Model Checking* has played a decisive role in eliminating design errors in hardware and software, as well as other industrial processes [1]. However, the author believes that the potential of this technique is not being fully utilized in the evaluation of development programs.

*Model Checking* is capable of automatically verifying the properties of a finite-state model, which is an abstraction of a real system, with the use of temporal logic expressions such as Linear Temporal Logic (LTL) or Computational Tree Logic (CTL) [2] as a properties language, thus allowing the detection of inconsistencies long before the system is put into practice; in this case the system being a territorial development program.

Before the generalized use of *Model Checking*, errors were very common in many areas of advanced technology. Some of these errors were responsible for great capital loss as well as the loss of human lives. For example, many planes and space crafts were lost because of errors in the navigation system that went undetected at the time of conception. Another example would be the “friendly fire” incidents that were caused by the U.S. surface-to-air missile system, Patriot, in which at least one U.S. plane was destroyed.

Through the use of a model checker, for example, NuSMV [3] or SPIN, it would be possible to define the abstract model using their modelling language; SMV or Promela, respectively. This way, it would be possible to emulate elements and behaviors of any development program, such as the resources that will be employed (financial, human, material, time), state of territorial indicators (economic-productive, sociocultural, ecological, institutional, etc.), the tasks and activities to be undertaken, as well as their interrelations according to the execution timeline along with their respective preconditions.

With the help of experts in a specific field, it's possible to define how each element or behavior should affect each indicator, which would reflect on the model. Then, with the use of the temporal logic rules, we could check for the model properties at a given time, which would show if the applied changes to the territorial indicators produce the desired outcome. The author recommends the use of CTL [4] for this purpose.

The author finds very interesting the idea of focusing the activities as concurrent, asynchronous processes that share and compete for common resources, utilizing the potential of parallel and distributed programming systems, which are included in the majority of model checkers. These processes would wait for the fulfillment of starting preconditions such as date or a specific

state of one or more indicators, disputing and waiting for available common resources, for example, financial resources and personnel. On occasion these resources are pre-existent and in other cases they are the outcome of previous activities.

The following is an example of how the many territorial indicators interact with one another: imagine a city that has great potential for tourism, but suffers from high unemployment, which in turn leads to social problems that are detrimental to tourism, for example, crime and homelessness. The local government would like to fuel the development of tourism as a source of revenue, and use it to fix the unemployment problems in the area by utilizing the local inhabitants as the workforce behind the change. For this purpose, a plan is created for the training of the city inhabitants. Because this training demands a certain amount of time, any activities that would utilize the local workforce must take into consideration the time at which it would be ready. At the same time, these tasks cause many positive changes on territorial indicators such as economic development as a result of an increase in external revenue, the reduction of unemployment, and the betterment of the social situation. However, not all change would be positive; it's very possible that the increase in tourism would also bring the destruction of the local nature in order to build hotels, golf courses, marinas and other touristic structures, thus having a negative impact on the city's environmental indicators.

Another concept that must be considered is the *meta-model*, which, in this case would consist of the relationship between various models of territorial development programs at a macro level. For this concept, a strict regulation would be necessary for the coding and denomination during the modeling of resources, indicators, tasks, activities, etc.; this would allow them to interweave. This focus on seeing activities as asynchronous processes is reinforced when switching from independent models towards a unified meta-model.

Once at the meta-model level, or even at an independent model level, it can be very difficult to model directly using languages such as Promela or NuSMV; an alternative to this problem would be using a visual modeling tool. There are many tools that allow for the visual modeling of processes and systems; in some cases, this can be done utilizing activities diagrams of the standard UML, in other cases with a focus on business oriented processes of BPMN. However, these two ways lack the advantages of the *Model Checking* technique, therefore, in the great majority of cases, a combination of format transformations, as well as third party software would be needed in order to transform an activities diagram or any other kind of diagram into a comprehensible logical model to be verified through a model checker.

Nevertheless, there are other tools that maintain a focus on the potential of *Model Checking* from the beginning. An example that is not so well known to most specialists in this field, but that the author values greatly is JetBrains MPS (MetaProgramming System) with mbeddr, internally linked to NuSMV, joined as one computer system. Currently, this system is mainly implemented by German companies as well as companies from others European countries.

To conclude, it is the author's opinion that through the use of the *Model Checking* technique it is possible to improve the creation of territorial development programs, which would employ the combination of JetBrains MPS + mbeddr<sup>[5]</sup> to define very complex finite-state models for the use of simulation and verifying both visually and through programming.

#### References

1. Karpov Y.G. Verifikacija paralel'nyh i raspredelennyh programmnyh sistem [Model Checking. Verification of the parallel and distributed program systems]. – BJV-Peterburg. – 2010. – P. 13-39. [In Russian]
2. Clarke E. M., Emerson E. A., Sistla, A. P. Automatic verification of finite-state concurrent systems using temporal logic specifications // ACM Transactions on Programming Languages and Systems. – 1986. - № 8(2). – P. 244-263.
3. Cavada R., Cimatti A., Jochim C. A., Keighren G., Olivetti E., Pistore M., Roveri M., Tchaltsev A. NuSMV 2.6 User Manual [Electronic resource]. – URL: <http://nusmv.fbk.eu/NuSMV/userman/v26/nusmv.pdf>
4. Baier C., Katoen J.-P. Principles of model checking. – Cambridge, MA: The MIT Press. – 2008. – P. 313-447.
5. Rosenberger, Ch. Model Checking for State Machines with mbeddr and NuSMV [Electronic resource]. – URL: <http://mbeddr.com/files/modelcheckingforstate-machineswithmbeddrandnusmv.pdf>

DOI: 10.18454/IRJ.2016.51.101

Горячкин Б.С.

ORCID: 0000-0002-0852-4162, кандидат технических наук, доцент,

Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана

## ЭРГОНОМИЧЕСКИЙ СЕРТИФИКАТ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ И ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ

*Аннотация*

*Статья посвящена оценке и выбору рациональных информационных моделей автоматизированной системы обработки информации и управления, методам и способам расчета и улучшения параметров экранных форм, основанных на инженерно-психологических возможностях человека, что существенно повышает эффективность работы человека-оператора в контуре управления автоматизированной информационной системы как эргатической системы.*

**Ключевые слова:** эргономический сертификат, информационная модель, экранная форма.

Goryachkin B.S.

ORCID: 0000-0002-0852-4162, PhD in Engineering, assistant professor,

Moscow State Technical University names Bauman

## ERGONOMIC CERTIFICATE OF THE AUTOMATED SYSTEM FOR PROCESSING AND DISPLAYING INFORMATION AND CONTROL

*Abstract*

*The article is devoted to the evaluation and selection of rational information model of automated system of information processing and management, methods and techniques of calculation and improve the parameters of screen forms based on the engineering-psychological abilities of a person, which significantly increases the efficiency of the human operator in the control loop of the automated information system as ergatic system.*

**Keywords:** ergonomic certificate, information model, display form.

### **В**ведение

С появлением компьютерной техники началось бурное развитие информационных технологий. Хотя и до появления компьютеров имелись средства для обмена информацией, построенные на аналоговой электронике и цифровой, жесткой логике.

Информационные технологии развивались во многих отраслях промышленности, но именно компьютеризация дала толчок для их интенсивного развития.

Мир вступил в эпоху глобального информационного общества. Объем информации, величина информационных потоков, которые вынужден пропускать через себя человек, требуют эффективной регулировки этого процесса, приемлемых, а порой и оптимальных способов переработки, хранения, передачи и особенно представления информации.

Представленная информация должна быть удобна человеку, ее параметры должны позволять человеку-оператору (ЧО) принять ее, идентифицировать и если нужно предпринять те или иные ответные действия.

Для работы в контуре управления автоматизированной информационной системы (АИС) работа человека-оператора требует концентрации внимания, умелых управленческих действий, возможно предварительной подготовки и обучения. Но даже выполнение всех вышеперечисленных факторов может быть недостаточно для эффективного выполнения поставленной задачи. Таким образом, мы имеем контур, где:

1. Активный оператор должен соответствовать поставленным целям АИС. Здесь уместно говорить о базовых знаниях, специализированной подготовке, об адаптированном обучении (например, на тренажерах), о соответствующем психофизиологическом состоянии, целом ряде инженерно-психологических характеристик. Безусловно, критичными параметрами являются граничные возможности зрительной системы человека, характеристики зрительного анализатора ЧО, так как 90% операторского информационного потока идет через зрительный канал;

2. Техническое средство, представляющее собой систему обработки и отображения информации, должно позволять в отведенное время (возможно и реальное) формировать и представлять информационную модель. В вопросах формирования ключевыми являются задачи времени и степени детализации и точности получаемого изображения. В вопросах представления на первый план выходят характеристики средства отображения;

3. Среда обитания или рабочая операционная среда должна отвечать целому ряду параметров, многие из которых стандартизованы (например, освещенность, шум, электромагнитное излучение и пр.). Однако есть характеристики, которые могут подвергаться только экспертной оценке, которая субъективна по своей сути.

Проблемам систем «человек-машина» (СЧМ) и систем «человек-машина-среда» (СЧМС), эффективности работы этих систем, распределению функций между компонентами системы уделяется очень широкое внимание. В данной статье предлагается вариант оценки эргономичности автоматизированной системы обработки информации и управления (АСОИУ).

### **Постановка задачи**

Имеется автоматизированная система обработки информации и управления. В ее составе есть комплекс технических средств со своими характеристиками, есть информационное и программное обеспечение; в контуре управления (КУ) работает человек-оператор. Требуется оценить эргономическую составляющую, эргономичность АСОИУ. При этом надо иметь в виду, что разработчик системы, а впоследствии возможно и ее эксплуатационщик – это, как правило, IT-специалист, способный грамотно выстроить архитектуру системы, спроектировать и разработать одну или несколько баз данных, распределить необходимые ресурсы, учесть особенности и специфику человеческого

фактора и пр. Но дело в том, что сегодня оценка эргономичности АИС – это сложная комплексная процедура, требующая присутствия в коллективе разработчиков эргономистов высокого класса, создания не одной экспертной фокус-группы, использования современных методов и средств измерений и соответственно знания приборов и устройств для этих измерений [6]. Это заставляет найти эффективные экономные и рациональные способы оценки эргономичности АСОИУ и наглядного представления результатов этой оценки. Таковым может быть некий сертификат – документ, отражающий наиболее критичные параметры эргономического обеспечения системы обработки и отображения информации. Ниже приведены нюансы и специфика разработки эргономического сертификата (ЭС) АСОИУ.

### Структура эргономического сертификата и его наполнение

Оценка эргономичности, как было отмечено, являясь комплексной процедурой, должна, безусловно, затрагивать все три коммуниканты СЧМС и учитывать доминирующее влияние зрительного канала приема информации. На основании изложенного напрашивается подход к данной процедуре, основанный на анализе и последующем рациональном или оптимальном выборе (расчете) характеристик зрительного анализатора (ЗА) человека [5]. Анализ восприятия можно разделить на две стадии:

– прием общей информации, приходящей с экрана монитора средства отображения АСОИУ, учитывая условия функционирования, внешние условия (особенно уровень внешней засветки, определяемый естественным и искусственным освещением), возможности по формированию изображения в зависимости от свойств монитора и параметров технических средств АИС и др. (общая эргономическая оценка – часть I);

– прием конкретных выходных экранных форм, получаемых на выходе разработанной АИС, особенно учитывая сложные графические и как вариант картографические ИМ с высокой степенью детализации и крайне насыщенные (частная эргономическая оценка – часть II).

В I части эргономического сертификата дадим оценку:

1. энергетическим (яркостно-контрастным) характеристикам;
2. пространственным характеристикам;
3. временным характеристикам;
4. информационным характеристикам.

Во II части ЭС оценим частные ИМ. Эта оценка может быть основана, в том числе, и на методе экспертных оценок, который потребует значительной подготовки и выбора соответствующего персонала. Степень глубины и детализации оценки может различаться для разных эргономических сертификатов [4]. Если брать интегральный уровень, то, безусловно, целесообразно произвести оценку информационной насыщенности и цветовой гаммы изображений на основе нескольких аспектов.

Нельзя сказать, что оценка по указанным параметрам и характеристикам является всеобъемлющей, но она дает четкое представление об эргономичности АСОИУ в отношении пользовательского «экранного» интерфейса и позволяет внести соответствующие коррективы в процесс разработки и проектирования.

### Методика расчета характеристик эргономического сертификата

1. Расчет яркостно-контрастных характеристик.

При оценке этих характеристик следует учесть не только технические параметры выбранных средств отображения (например, световой поток генерируемого средством отображения излучения), но и оказывающие на них критическое влияние характеристики специфических условий функционирования, в частности, внешней освещенности и, следовательно, внешнего светового потока.

Как известно, яркость определяется двумя составляющими [7].

$$L = L_{\text{изл}} + L_{\text{отр}}, \quad (1)$$

где  $L_{\text{изл}}$  – яркость излучения;  $L_{\text{отр}}$  – яркость отражения.

Причем яркость излучения определяется как

$$L_{\text{изл}} = \frac{I}{S \cos(\alpha)}, \quad (2)$$

где  $I$  – сила света, то есть световой поток, излучаемый на единицу телесного угла;  $S$  – площадь светящейся поверхности экрана;  $\alpha$  – угол наблюдения.

Излучаемый световой поток можно выразить формулой [5]

$$\Phi = \int_{\Omega} I d\Omega, \quad (3)$$

где  $\Phi$  – световой поток, генерируемый выбранным средством отображения;  $\Omega$  – угол, в пределах которого распространяется учитываемый световой поток.

Световой поток, попадающий в глаз ЧО (рис. 1) создает силу света

$$I = \frac{\Phi_{\text{изл}}}{2\pi(1 - \cos(\sigma))}, \quad (4)$$

где  $\Phi_{\text{изл}}$  – световой поток, генерируемый выбранным средством отображения;  $\sigma$  – плоский угол, соответствующий телесному углу обзора ИМ.

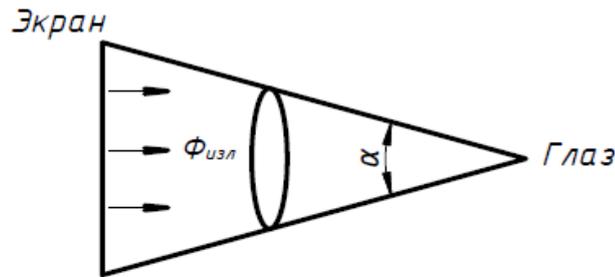


Рис. 1

Вторая составляющая формулы (1) определяется уровнем освещенности и ее отражающими свойствами:

$$L_{отр} = \frac{E_{вн}\rho}{\pi}, \quad (5)$$

где  $E_{вн}$  – освещенность поверхности;  $\rho$  – коэффициент отражения поверхности экрана монитора, он во многом определяется цветом поверхности [2].

Внешняя засветка экрана показана на рис. 2.

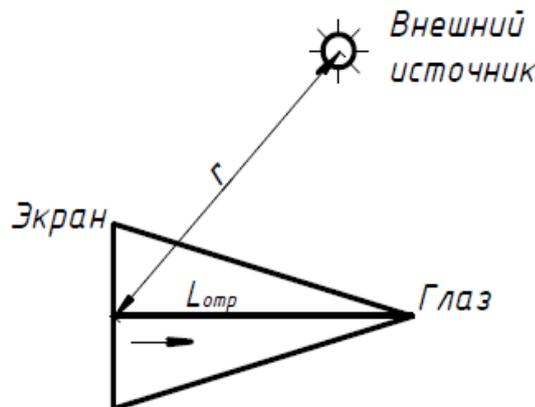


Рис. 2

Освещенность поверхности экрана  $E$  формируется за счет искусственных или естественных источников освещения. Искусственные – освещение рабочих помещений начиная от ламп накаливания (точечный источник света) до различных световых панелей, площадок, требующих интегральной оценки светового воздействия. Естественное освещение – дневной свет, солнечные лучи, достигающие экрана монитора.

Тогда  $E$  можно представить как:

$$E = \frac{I_{вн} \cos(\varepsilon)}{r^2} \quad (6)$$

где  $I_{вн}$  – сила света внешнего источника;  $\varepsilon$  – угол между линией визирования и падающими лучами внешнего источника света;  $r$  – расстояние от внешнего источника до центра экрана.

$$L = \frac{\Phi_{изл}}{2\pi(1 - \cos(\sigma)) * S * \cos(\alpha)} + \frac{I_{вн} \cos(\varepsilon) * \rho}{\pi * r^2} \quad (7)$$

Рассчитанная по формуле (7) яркость будет обеспечивать наилучшие условия для работы, а, следовательно, для восприятия ИМ при уровнях так называемой адаптирующей яркости, лежащей в пределах от нескольких десятков до нескольких сотен кд/м<sup>2</sup>. Для сравнительного анализа целесообразно брать  $L_{адапт}$  в пределах от 10 кд/м<sup>2</sup> до 1000 кд/м<sup>2</sup>.

Так как в поле зрения оператора могут попадать предметы с различной яркостью, оценим эффективность восприятия таких объектов. Эта характеристика определяется яркостным контрастом, который в зависимости от того, предмет темнее или ярче фона, бывает прямым и обратным. Оптимальной считается величина контраста равная в пределах:

$$0.6 \leq K \leq 0.95 \quad (8)$$

А при работе в условиях ограниченного пространства и времени (например, в реальном масштабе времени) эту величину следует принимать:

$$0,85 \leq K \leq 0,9 \quad (9)$$

При этом восприятие ИМ, содержащей объекты различной яркости, при прямом контрасте более благоприятна, чем при обратном.

Тогда получим яркость фона при прямом контрасте равной

$$L_{фона}^{прям} = \frac{L_{пред}}{1-K}, \quad (10)$$

а при обратном

$$L_{фона}^{обр} = L_{пред} (1 - K), \quad (11)$$

где  $K$  – величина прямого и обратного контраста соответственно. Подставив в выражения (10) и (11) величины  $K$  для разных режимов ( см. выражения (8) и (9)), получим количественные значения эффективных яркостей фона для восприятия объектов различной яркости.

## 2. Расчет пространственных характеристик.

При оценке этих характеристик сфокусируемся на пространственных величинах, оказывающих существенное влияние на расположение ИМ относительно человека-оператора и соответственно на эффективность всего приема информации. При этом, безусловно, надо учитывать «пространственные» возможности ЧО, а, именно, и остроту зрения, и поля зрения, и объем восприятия – то есть соответствующие характеристики зрительного анализатора. К величинам, описанным выше, относятся расстояние до монитора и пространственное расположение средства отображения информации (видеотерминального устройства).

Из анализа источников следует, что наиболее приемлемое расстояние  $l$  от глаза до экрана равно:

$$0.4 \leq l \leq 0.8 \text{ м}, \quad (12)$$

хотя многие склоняются к  $l_{opt} = 50 \text{ см}$ . Однако учитывая современный парк компьютеров и проведенные исследования, целесообразней это расстояние принять за 65 см, тем более что в последующих расчетах характеристик эргономического сертификата этот параметр будет выступать в качестве аргумента и может быть несколько скорректирован.

Вторая пространственная характеристика ЭС – угловые размеры полезного информационного поля. Так как возможности зрительного анализатора по всему фронту обзора серьезно разнятся, следует угловые параметры средства отображения как по вертикали, так и по горизонтали установить в рамках поля ясного зрения. Это второй по эффективности участок поля зрения оператора. Такой выбор оправдан, исходя из того, что в зону периферического зрения могут попадать другие предметы и объекты (информационные средства и системы, другие операторы и пр.), а зоне центрального зрения как правило располагается объект управления (рис. 3).

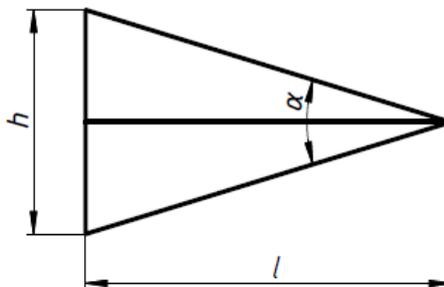


Рис. 3

Тогда

$$\gamma^{ep} = \gamma_{яз}; \quad \gamma^{op} = \gamma_{яз}, \quad (13)$$

где  $\gamma^{ep}$ ,  $\gamma^{op}$  – угловые размеры полезного информационного поля монитора;  $\gamma_{яз}$  – зона ясного зрения, равная  $30^\circ-35^\circ$ .

## 3. Расчет временных характеристик.

Временные характеристики восприятия существенно зависят от структуры, сложности, содержательности и технических характеристик изображения таких как четкость, контраст, яркость. Ввиду того, что процесс приема сложноструктурированной графической, а подчас и картографической информации (то есть восприятие сложных информационных моделей) сводится в основном к информационному поиску, определим математическое ожидание времени поиска  $M_{ин}$

$$M_{ин} = \frac{E+a}{a*(1+MН\alpha)} t_{\phi}, \quad (14)$$

где  $E$  – общий объем элементов ИМ (максимальное значение будет достигаться при абсолютно максимальной насыщенности информационного поля);  $a$  – объем зрительного восприятия (характеристика зрительного анализатора), ограниченный объемом оперативной памяти ЧО и пространственными характеристиками зрения;  $M_{Ha}$  – число элементов ИМ с заданным для поиска набором характеристических параметров –  $\alpha$ ;  $t_{\phi}$  – продолжительность зрительной фиксации.

Результаты исследований показали, что восприятие одного элемента сложной ИМ в процессе зрительного поиска составляет в среднем 1–1.2 сек. Процесс выделения и преобразования информации, составляющий основу информационного поиска, представляет случайное сканирование по полю экрана, и во многом зависит от условий восприятия [3]. Это обусловлено тем, что последние определяют продолжительность фиксаций, которая составляет 90% – 95% от времени зрительного восприятия.

Длительность фиксации, в свою очередь, определяет критическую частоту смены кадров (перелистывание экранных форм) –  $f_{cm}$ , а, следовательно, и время экспозиции. В общем случае

$$f_{cm} \leq 1/t_{\phi} \quad (15)$$

С другой стороны, величина зрительной фиксации ограничена периодом следования картин, так как для эффективности восприятия динамических информационных моделей необходимо учитывать время сохранения ощущения, в пределах которого в зрительной системе ЧО остается образ предыдущего кадра (ЭФ), в противном случае будет ухудшаться точность и скорость реагирования.

Время, необходимое для возникновения зрительного ощущения, характеризует также критическую частоту мельканий. Величина последней зависит от уровня яркости адаптации и в условиях высокой внешней засветки ( $E_{вн}$ ,

см. формулу (5)) экрана неприемлемо повышается. Для неспецифических условий функционирования значение внешней освещенности не является критичной.

#### 4. Расчет информационных характеристик

Если не брать интегральных информационных характеристик частных (конкретных) информационных моделей таких как, информационный объем, коэффициент заполнения экрана, насыщенность, которые целесообразно оценить во второй части ЭС, внимания заслуживают пороговые значения элементов ИМ [1]. Для буквенно-цифровых символов с учетом оптимальных значений яркости, освещенности, контраста угловые размеры данной величины будут составлять 15' – 18' для простых знаков, 21' – 26' для средних знаков и 35' – 40' для сложных знаков.

Тогда пороговые значения будут равны

$$h_{\text{пор}} = .2 * l * tg(\beta/2), \quad (16)$$

где  $l$  – расстояние от экрана монитора до ЧО,  $\beta$  – угловой размер элемента ИМ.

Градация на простые и сложные знаки во многом условна. Поэтому букву какого-либо из алфавитов можно принять за сложный символ.

#### Заключение

В целом можно заключить, что эргономический сертификат может рассматриваться как оценка эргономического обеспечения АСОИУ. В то же время мы вправе его рассматривать как ступень (этап) эргономической экспертизы соответствующей стадии проектирования. Её результаты оформляются в виде акта экспертизы, в котором излагаются отмеченные недостатки, даются предложения по их устранению. Материалы ЭС как раз позволяют это сделать и, если понадобится, осуществить гибкий пошаговый процесс устранения неэффективности работы ЧО в контуре управления, а значит, и всей информационной системы.

Также следует отметить, что ЭС внедрен и успешно используется в учебном процессе в МГТУ им. Н.Э. Баумана, а разработка ЭС является составной частью выпускных квалификационных работ, посвященных созданию автоматизированных систем обработки и отображения информации и управления.

#### Литература

1. Баканов А.С., Обознов А.А. Эргономика пользовательского интерфейса. – М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2011. – 176 с.
2. Вудсон У., Коновер Д. Справочник по инженерной психологии для инженеров и художников-конструкторов – Москва: Издательство «Мир», 1968. – 518 с.
3. Горячкин Б.С. Влияние временных задержек в пользовательском интерфейсе автоматизированной системы управления зданием на ее эргономические характеристики // Инженерный вестник (МГТУ им. Н.Э. Баумана). Электронный журнал 2015. – № 2. – URL: <http://engbul.bmstu.ru/doc/756802.html> (Дата обращения 15.08.2016).
4. Горячкин Б.С. Шкала для оценки эргономичности способов отображения информации // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана 2014. – № 5. – URL: <http://technomag.bmstu.ru/doc/711864.html> (Дата обращения 15.08.2016). DOI: 10.7463/0514.0711864.
5. Ломов Б.Ф. Справочник по инженерной психологии. – М.: Машиностроение, 1982. – 368 с.
6. Организация взаимодействия человека с техническими средствами АСУ: в 7 т. / под ред. В. Н. Четверикова. – М.: Высшая школа, 1990. – Т. 7: Системное проектирование взаимодействия человека с техническими средствами / В. М. Гасов, А. В. Меньков, Л. А. Соломонов, А. В. Шигин. – 1990. – 142 с.
7. Основы инженерной психологии / Б.А.Душков и др.; под ред. Б. Ф. Ломова. – М.: Высшая школа, 1986. – 448 с.

#### References

1. Bakanov A. S., A. A. Oboznov. Jergonomika pol'zovatel'skogo interfejsa [The Ergonomics of the user interface]. – М.: Изд-во «Institut psihologii RAN» [Publishing house «Institute of psychology RAS» publ.], 2011. – 176 s. [In Russian]
2. Woodson W., Conover, D. Spravochnik po inzhenernoj psihologii dlja inzhenerov i hudozhnikov-konstruktorov [Handbook of engineering psychology for engineers and artists-designers] – М.: Publishing house «Mir», 1968. – 518 s. [In Russian]
3. Goryachkin, B. S. Vlijanie vremennyh zaderzhkek v pol'zovatel'skom interfejse avtomatizirovannoj sistemy upravlenija zdaniem na ee jergonomicheskie harakteristiki [The Effect of time delays in the user interface of the automated building management system to its ergonomic features] // Inzhenernyj vestnik (MGTU im. N. Je. Baumana) [Engineering journal (MGTU im. N. Uh. Bauman)]. Electronic journal 2015. – No. 2. – URL: <http://engbul.bmstu.ru/doc/756802.html> (accessed 15.08.2016). [In Russian]
4. Goryachkin B. S. Shkala dlja ocenki jergonomichnosti sposobov otobrazhenija informacii [Scale for the assessment of the ergonomics of ways to display information] // [Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie MGTU im. N. Je. Baumana Science and education: scientific publication MGTU im. N. Uh. Bauman] 2014. – No. 5. – URL: <http://technomag.bmstu.ru/doc/711864.html> (accessed 15.08.2016). DOI: 10.7463/0514.0711864. [In Russian]
5. Lomov B. F. Spravochnik po inzhenernoj psihologii [Handbook of engineering psychology]. – М.: Mashinostroenie, 1982. – 368 s. [In Russian]
6. Organizacija vzaimodejstvija cheloveka s tehničeskimi sredstvami ASU: v 7 t. [The organization of human interaction with technical means of ACS: in 7 v.] / under the editorship of V. N. Четверикова. – М.: Higher school, 1990. – Vol. 7: Sistemnoe proektirovanie vzaimodejstvija cheloveka s tehničeskimi sredstvami [System design of human interaction with the hardware] / VM Gusov, A. V. Menkov, L. A. Solomon, V. A. Shigin. – 1990. – 142 s. [In Russian]
7. Osnovy inzhenernoj psihologii [Fundamentals of engineering psychology] / B Duchkov A. and others; ed. by B. F. Lomov. – М.: Higher school, 1986. – 448 s. [In Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.51.171

Джумаев А.Я.

ORCID: 0000-0002-2297-1989, Кандидат физико-математических наук,

Государственный энергетический институт Туркменистана

**ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СОЛНЕЧНАЯ СТАНЦИЯ С СИСТЕМОЙ МОНИТОРИНГА***Аннотация*

*В работе предлагается фотоэлектрической солнечной станция с системой мониторинга для автономного энергоснабжения. Рассматриваются возможные подходы к созданию энергетических аналитических систем по возобновляемым источникам энергии. Рассмотрены варианты энергоснабжения населения за счет фотоэлектрических солнечных станций на примере экспериментального дома с автономным энергоснабжением.*

**Ключевые слова:** солнечная радиация, оптимальная ориентация, фотоэлектрическая солнечная станция, выработка электроэнергии, мониторинг работы станции, автономное энергоснабжение.

Jumayev A.Y.

ORCID : 0000-0002-2297-1989, PhD in Physics and Mathematics,

State Energy Institute of Turkmenistan

**PHOTO-ELECTRIC SOLAR STATION WITH MONITORING SYSTEM***Abstract*

*In work the photo-electric solar station with monitoring system for independent power supply is offered. It is considered possible approaches to creation of power analytical systems on renewable energy sources. Variants of power supply of the population at the expense of photo-electric solar stations on an example of the experimental house with independent power supply are considered.*

**Keywords:** solar radiation, optimum orientation of solar panels, photoelectric solar station, generation of electric energy, monitoring performance of solar station, independent power supply.

**Введение**

В последние годы в мировой практике фотоэлектрические солнечные станции получили достаточно широкое распространение и в некоторых европейских странах достигнуты за последние 5-10 лет очень высокие результаты, согласно принятых новых законодательных документов на государственном уровне к концу 2020 года предполагается достижения 20% доли возобновляемой энергии в общем энергетическом балансе. При этом, в последние годы внедрение экологических чистых технологий способствует широкому развитию автономного энергообеспечения, использующего возобновляемые источники энергии [3].

Ресурсы солнечной энергетики Туркменистана огромные, т.е годовой приход суммарной солнечной радиации на всю площадь Туркменистана составляет  $3157 \cdot 10^{12}$  МДж или же  $877,646 \cdot 10^{12}$  кВт•ч [4].

**Метод исследования и схема установки**

Наши исследования проводились на жилом доме с фотоэлектрической солнечной станцией на 2 кВт, построенной в Государственном энергетическом институте Туркменистана (Рис.1.), подробное описание которой приводится в работе[6].

Жилой дом расположен в г. Мары. Предполагаемые месяцы использования круглый год, автономный режим, время использования ежедневно и круглосуточно, место установки солнечных панелей на крыше дома с наклоном  $36^0$ , ориентированный на юг. Жилой дом состоит из двух этажей. На первом этаже размещены аккумуляторы и оборудование резервного энергоснабжения. Второй этаж состоит из двух комнат, веранды и уголка для сан-техники. На веранде также размещены система мониторинга. На рисунке 2 показана схема подключения системы мониторинга. В систему мониторинга входят: солнечные модули(1), аккумуляторы (10), контроллер (2), компьютер(4), инвертор (5), оборудование резервного энергоснабжения (3), потребители электрической энергии (11,12,13) и электронные счетчики (6,7,8,9). Электронный счетчик (6) производить учет электроэнергии потребляемая для освещения. Для освещения жилого дома использованы LED лампы и энергосберегающие лампы. На первом этаже подключены 2 энергосберегающие лампы с мощностью 125 Вт и на втором этаже подключены 8 LED лампы с мощностью 24 Вт. В комнатах расположены печь для нагрева, телевизор, компьютер, холодильник. Учет энергопотребления производится электронным счетчиком (7). В зимнее время в случае нехватки электроэнергии может использоваться оборудование резервного энергоснабжения и учет энергии получаемая от резервного энергоснабжения производится электронным счетчиком (8). В летнее время, когда солнечная радиация достигает максимального значения может появиться излишки электроэнергии, которая может потребляться внешними потребителями. Учет электроэнергии подаваемая внешним потребителям производится электронным счетчиком (9). Ниже в таблице приведены примерное энергопотребления и мощности электробытовых приборов установленных в жилом доме.

Таблица 1 – Энергопотребление и мощность электробытовых приборов

Оборудование	Мощность,Вт	Кол	Время работы в теч. сутки,ч	Потребляемая энергия в теч. сутки, Вт• ч.
Кофеварка	800	1	0,2	160
Холодильник	300	1	$0,25 \cdot 24$ ч=6 ч	1800
Телевизор	250	1	4	1000
LED лампы	24	8	$8 \cdot 4$ ч=32 ч	768
Энергосберегающие лампы	125	2	$2 \cdot 0,5$ ч=1ч	125

Окончание табл. 1 – Энергопотребление и мощность электробытовых приборов

Оборудование	Мощность,Вт	Кол	Время работы в теч. сутки,ч	Потребляемая энергия в теч. сутки, Вт•ч.
Насос	1000	1	0,5	500
Система спутникового телевидения	30	1	4	120
Компьютер	500	1	2	1000
Микровольновая печь	1000	1	0,5	500
Итого	4029			5973

### Энергетические расчеты и система мониторинга

Выработанная фотоэлектрической станцией за день энергия оценивалась по формуле:

$$E_{\text{прз.1}}(\text{кВт}\cdot\text{ч}) = [\eta_{\text{inv}}(\%) \cdot \eta_{\text{pv}}(\%) \cdot \eta_{\text{cont}}(\%) \cdot S_{\text{n}}(\text{м}^2) \cdot N_{\text{n}} \cdot E_{\text{i}}(\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2)]/10^6 \quad (1)$$

где  $E_{\text{прз.1}}$  - выработанная или произведенная фотоэлектрической станцией за сутки расчетная средняя энергия;  $E_{\text{i}}$  - усредненное для каждого месяца суточное удельное значение падающей солнечной радиации;  $\eta_{\text{pv}}$  - КПД солнечной панели;  $\eta_{\text{cont}}$  - КПД контроллера;  $\eta_{\text{inv}}$  - КПД инвертора напряжения;  $N_{\text{n}}$  - количество солнечных панелей в составе фотоэлектрической станции;  $S_{\text{n}}$  - площадь одной солнечной панели.

При расчетах использовались данные усредненного для каждого месяца суточное удельное значение падающей солнечной радиации из БД NASA SSE [5]. Так, как в БД NASA SSE даны суточные суммы падающей солнечной радиации, усреднение которой ведется за месяц следовательно для сравнения результатов теоретических расчетов и экспериментальных исследований целесообразно сравнивать месячные суммы солнечной радиации и выработанной энергии по формуле:

$$E_{\text{прз.м}}(\text{кВт}\cdot\text{ч}) = E_{\text{прз.1}}(\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2) \cdot (N_{\text{д}} - N_{\text{бсд}}) \quad (2)$$

где  $E_{\text{прз.м}}$  - выработанная или произведенная фотоэлектрической станцией за месяц расчетная средняя энергия;  $N_{\text{д}}$  - количество дней в месяце;  $N_{\text{бсд}}$  - количество бессолнечных дней в месяце, усредненное по месяцу. Полученное значение имеет смысл сравнивать с суммарной энергией, реально выработанной фотоэлектрической станцией за месяц:

$$E_{\text{р.прз.м}}(\text{кВт}\cdot\text{ч}) = \sum E_{\text{прз.1}}(\text{кВт}\cdot\text{ч}) \quad (3)$$

Здесь суммирование ведется по всем суткам месяца.

Измерение проводились в последовательно соединенных 4 фотоэлектрических панелях при различных нагрузках. На рисунке 4 показаны дневная выработка электрической энергии фотоэлектрической солнечной станцией в течении месяца в различные времена года. Полученные данные показали, что сезонные изменения погоды при солнечной погоде сильно не влияет на энергетические параметры фотоэлектрической станции, хотя температура панелей в летнее время нагреваются до температуры  $70^{\circ}\text{C}$  и выше. Изменение энергетических параметров в течении года составляет порядка 20-25% [2,7].

Результаты показали, что производимая энергия фотоэлектрической солнечной станцией сильно зависит от климатических условий, т.е. выработка энергии в течении дня составляет соответственно при облачной погоде - 1,895 кВт•ч, при пыльной погоде - 1,289 кВт•ч, при переменной облачной погоде - 2,397 кВт•ч, при состоянии полной зарядки аккумулятора - 1,368 кВт•ч, при солнечной погоде в зимнее время - 2,351 кВт•ч, при солнечной погоде в летнее время - 2,838 кВт•ч [6].



Рис. 1 – Блок схема жилого дома с автономным энергоснабжением

Нами предлагается система мониторинга на базе контроллера LB01. Интерфейс контроллера LB01 показан на рисунке 3. Контроллер LB01 является многофункциональным и позволяет автоматически провести мониторинг работы солнечной станции.

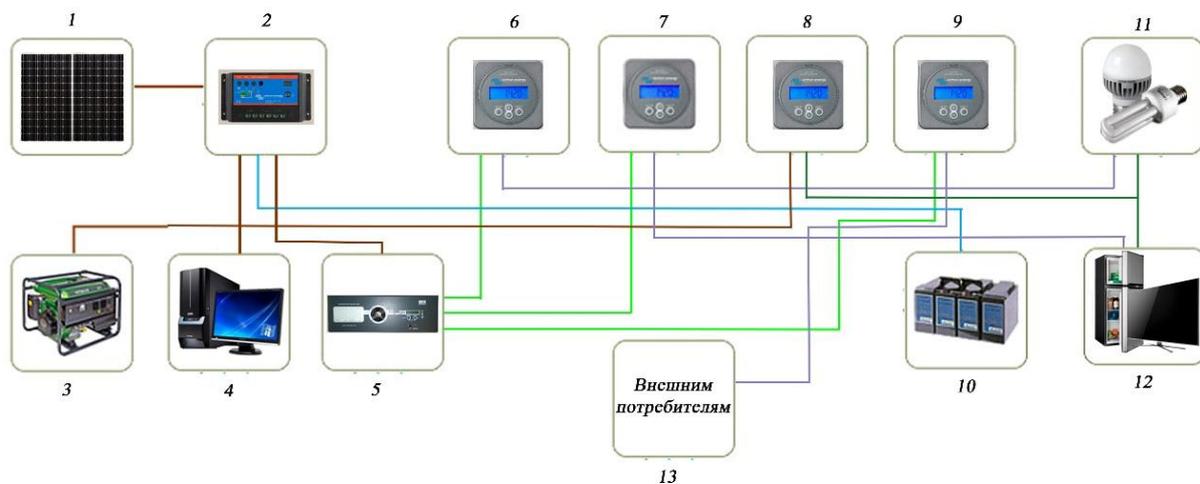


Рис. 2 – Схема подключения системы мониторинга

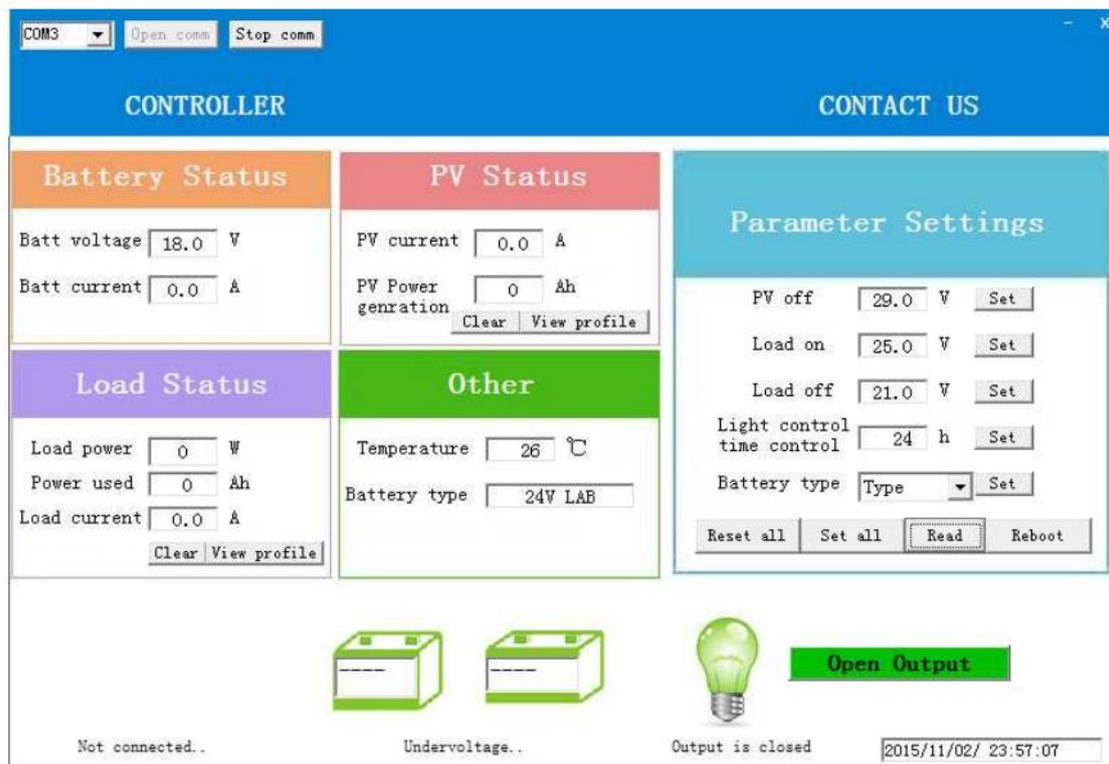


Рис. 3 – Интерфейс контроллера

В ходе исследований был проведен предварительный расчет выработки энергии фотоэлектрической станцией, а также в ходе испытаний – сравнение с экспериментальными данными полученные в различные времена года (рис.5). Сравнение расчетных и экспериментальных данных показало хорошую точность прогнозов в летний полугодие с высоким уровнем солнечной радиации и снижение точности в зимний полугодие.

Мониторинг работы фотоэлектрической станции позволяет получать информацию о рабочих параметрах установки и уровне инсоляции в течении заданных периодов, накапливать, систематизировать и обрабатывать полученную информацию. В результате можно создать климатические базы данных и разработать методы проектирования солнечных станций, а также позволяет перейти от расчетно-аналитических данных к экспериментальным исследованиям. Проведенный сравнительный анализ показал, что прогноз для различных сезонов имеет достаточную точность и выявил ряд особенностей работы фотоэлектрической солнечной станции в климатических условиях Туркменистана.

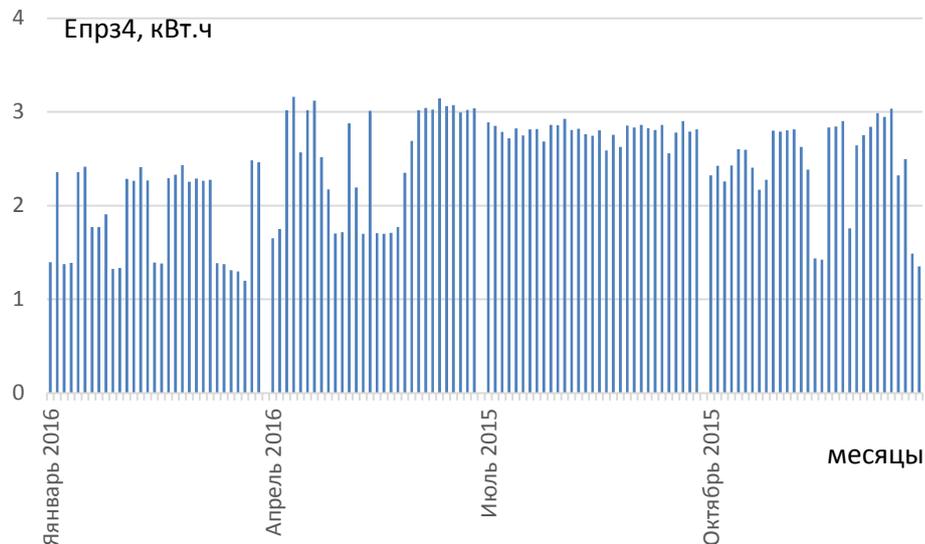


Рис. 4 – Дневная выработка электрической энергии фотоэлектрической солнечной станцией в течении месяца в различные времена года

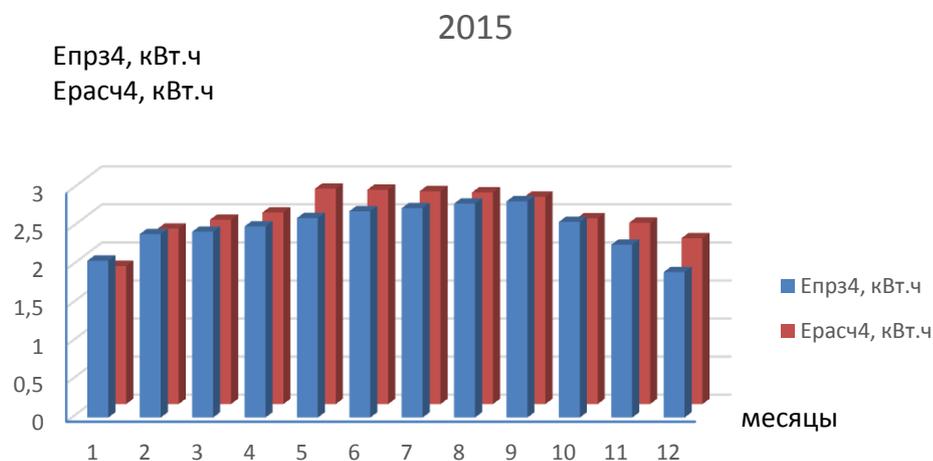


Рис. 5 – Сравнение расчетного значения и дневной выработки электрической энергии фотоэлектрической солнечной станцией усредненного для каждого месяца в течении года

#### Выводы

- Полученные данные свидетельствуют о возможности использования международных баз данных NASA для расчетов солнечной радиации в рассматриваемом районе.
- Оптимальный угол наклона солнечных панелей к горизонту для г. Мары в летний период составляет  $17^{\circ}$ , а для зимнего периода –  $61^{\circ}$ .
- При фиксированном угле наклона поверхности солнечной панели оптимальным углом является  $36^{\circ}$ .
- В течении года с одного квадратного метра солнечной панели можно получить 326 кВт•ч электроэнергии при фиксированном положении солнечной панели.
- На базе контроллера LB01 создана система мониторинга для автономного энергоснабжения.
- Система мониторинга для автономного энергоснабжения позволяет провести мониторинг выработки и расхода электроэнергии в автономном доме.
- Результаты исследования и полученные данные могут быть использованы для технико-экономической обоснования эффективности использования солнечной энергии и разработки дорожной карты развития солнечной энергетики в Туркменистане, в частности для определения места для построения фотоэлектрической солнечной станции большой мощности, составления бизнес-модели для этой станции.

#### Литература

1. Джумаев А.Я., Кадыров Э.Д. Исследование эксплуатационных параметров фотоэлектрической солнечной станции в условиях Туркменистана // Автоматизация в промышленности. 2015. №11.С. 20-22.
2. Джумаев А.Я., Сарыев К.А. Анализ влияния температуры на энергетические параметры фотоэлектрической солнечной станции. // "European Conference on Innovations in Technical and Natural Sciences". Proceeding of the 7th International scientific conference. (25th May 2015.). „East West“ Association for Advanced Studies on Higher Education. GmbH. Vienna.2015, - p 82-88.

3. Стребков Д.С., Пенджиев А.М., Мамедсахатов Б.Д. Развитие солнечной энергетики в Туркменистане. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2012. 496 с.

4. Пенджиев А.М., Мамедсахатов Б.Д. Основные условия и факторы развития фотоэнергетики в Туркменистане// International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology. 2007. №7(51), p62-66.

5. [Электронный ресурс] – Режим доступа. URL: <http://wrdc.mgo.rssi.ru/>, <http://eosweb.lars.nasa.gov/sse/>.

6. Jumayev A.Y. Scientific-technical and methodological aspects of an estimation of resources of solar energy in Turkmenistan. International Conference on European Science and Technology: materials of the XI international research and practice conference. Munich, Germany October 21-22th, 2015.P. 80-92.

7. Jumayev A., Sariyev K. Research of the optimum operating mode of photo- electric solar station under the conditions of Turkmenistan. The 9 th International Conference on Electrical and Control Technologies, May 8-9,2014, Kaunas, Lithuania. Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Conference on Electrical and Control Technologies ECT-2014, P.154-156.

#### References

1. Dzhumaev A.Ja., Kadyrov Je.D. Issledovanie jekspluatacionnyh parametrov fotoelektricheskoy solnechnoj stancii v usloviyah Turkmenistana // Avtomatizacija v promyshlennosti. 2015. №11.S. 20-22.

2. Dzhumaev A.Ja., Saryev K.A. Analiz vlijaniya temperatury na jenergeticheskie parametry fotoelektricheskoy solnechnoj stancii. // “European Conferece on Innovations in Technical and Natural Sciences“. Proceeding of the 7th International scientific conferece. (25th May 2015.). „East West“ Association for Advanced Studies on Higher Education. GmbH. Vienna.2015, - p 82-88.

3. Strebkov D.S., Pendzhiev A.M., Mamedsahatov B.D. Razvitie solnechnoj jenergetiki v Turkmenistane. М.: GNU VIJeSH, 2012. 496 s.

4. Pendzhiev A.M., Mamedsahatov B.D. Osnovnye uslovija i faktory razvitija fotojenergetiki v Turkmenistane// International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology. 2007. №7(51), p62-66.

5. [Jelektronnyj resurs] – Rezhim dostupa. URL: <http://wrdc.mgo.rssi.ru/>, <http://eosweb.lars.nasa.gov/sse/>.

6. Jumayev A.Y. Scientific-technical and methodological aspects of an estimation of resources of solar energy in Turkmenistan. International Conference on European Science and Technology: materials of the XI international research and practice conference. Munich, Germany October 21-22th, 2015.P. 80-92.

7. Jumayev A., Sariyev K. Research of the optimum operating mode of photo- electric solar station under the conditions of Turkmenistan. The 9 th International Conference on Electrical and Control Technologies, May 8-9,2014, Kaunas, Lithuania. Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Conference on Electrical and Control Technologies ECT-2014, P.154-156.



*Все статьи, опубликованные в «Международном научно-исследовательском журнале», загружаются в РИНЦ.*

*Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) — библиографическая база данных научных публикаций российских учёных. Для получения необходимых пользователю данных о публикациях и цитируемости статей на основе базы данных РИНЦ разработан аналитический инструмент ScienceIndex.*

DOI: 10.18454/IRJ.2016.51.099

Дмитриев Б.М.

Доктор технических наук, профессор,  
МГТУ им. Баумана**КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА СВОЙСТВА МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО СТАНКА СОПРОТИВЛЯТЬСЯ  
ТЕРМИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ***Аннотация*

Для совершенствования свойства конструкции, обеспечивающего точность станка, требуется иметь возможность количественно оценивать уровень этого свойства. Современное состояние дел в этом направлении характеризуется наличием разработанных единицы измерения таких свойств как геометрическая точность станка, жёсткость конструкции, устойчивость упругой системы и т. д. Разработаны шкалы этих свойств. Наличие единиц, шкал количественных значений этих свойств станка, методик измерений обеспечивает управляемый процесс проектирования и изготовления. Для такого процесса как сопротивление конструкции станка термическим воздействиям на параметры точности единицы измерения свойства.

Существующие подходы к методам измерения данного свойства основываются на применении распределённых параметров таких как температура конструкции, частота вращения шпинделя и т. д. Применение распределённых параметров как во времени, так и в пространстве конструкции станка приводит к неопределённости результатов. Однако имеет возможность их использования на уровне качественных оценок. Для того чтобы иметь конструкцию станка на современном уровне требуется иметь единицу измерения свойства станка формировать сопротивление термическим воздействиям. Результаты данной работы обнаруживают возможность разработки единицы измерения данного свойства.

**Ключевые слова:** свойство станка, свойство сопротивляться, термические воздействия, единица измерения.

Dmitriev B.M.

PhD in Engineering, Professor,  
MSTU. Bauman**QUANTITATIVE EVALUATION OF PROPERTIES OF METAL MACHINE RESIST THERMAL EFFECTS***Abstract*

To improve the properties of the structure, ensuring the accuracy of the machine, you want to be able to quantify the level of this property. The current state of Affairs in this direction is characterized by the presence of the developed units of properties such as geometric accuracy of the machine, rigidity, stability of elastic systems, etc. Developed the scale for these properties. The presence of units, scales quantitative values for these properties, the machine, methods of measurements provides a guided process for designing and manufacturing. For such a process as the resistance of the machine structure thermal effects on the parameters of accuracy units of measure properties.

previous studies approaches to measurement for this property are based on the use of distributed parameters such as design temperature, spindle speed, etc. the Use of distributed parameters both in time and in space the design of the machine leads to the uncertainty of the results. However, it has the possibility of their use at the level of qualitative assessments. In order to have the construction of the machine at the present level is required to be measurable properties of the machine to generate resistance to thermal influences. The results of this work reveal the possibility of developing a unit of measurement for this property.

**Keywords:** property of the machine, the property to resist thermal exposure unit.

**В**ведение

Современный уровень станкостроения характеризуется высоким уровнем энерговооружённости. Этот факт приводит к определённому влиянию термических потерь на работоспособность конструкции. Особенно это характерно для станков с числовым программным управлением. Термические воздействия приводят к изменению точности станка, приводят к изменению производительности процесса обработки через изменение жёсткости конструкции, воздействуя на состояние несущей системы станка. Несмотря на многочисленные работы, проводимые в направлении оценки действия теплоты на точность конструкции, а также на методы измерения количественного действия теплоты на точность станка, требования к точности производимых деталей постоянного ужесточаются, что требует совершенствование методов исследования термических процессов в станкостроении [1].

Современный уровень проектирования требует оценки качества конструкции выраженный в количественных значениях. Существующая система знаний представляет станкостроителям методы оценки качества разрабатываемых конструкций на качественном уровне. Существующая система знаний предлагает оценивать степень термических воздействия на поведение конструкции методами, которые из-за неопределённости результатов измерения, затруднительны в применении в практике станкостроения. Этот факт препятствует совершенствованию конструкции станка в отношении термических воздействий. Для того чтобы иметь возможность сравнивать качество разных конструкций, технологии их производства и сборки, требуется иметь единицу измерения свойства конструкции сопротивляться термическим воздействиям.

Цель данной работы состоит в том, чтобы предложить станкостроителям, конструкторам и технологам, возможный способ измерения данного свойства в количественном выражении.

Существующие способы оценка свойства станка

В существующей системе знаний свойство конструкции сопротивляться термическим воздействиям определяют, как зависимость изменения геометрической точности станка от параметров термических показателей. Это параметры, определяющие положение базы станка под инструмент относительно базы под заготовку. Количественная оценка этих параметров определяют в линейно-угловых единицах. В качестве источников термических воздействия на

конструкцию используют различные параметры, зависящие от термических процессов. Это температура конструкции, это частота вращения шпинделя и т. д. [2,3,4]. Используемые параметры представляют собой распределённые параметры. То обстоятельство что для оценки используют распределённые параметры как в пространстве, так и во времени, создаёт широкие неопределённости в оценке параметров исследуемого свойства. Так, например, для однозначности оценки при использовании температуры приходится определять на конструкции точку, температура которой однозначно определяет термическое состояние конструкции. В существующей системе знаний по термическим явлениям в станках не обнаружено таких устойчивых методик, которые обеспечивают удовлетворительно свёртывание информации о температуре конструкции в одну точку. Аналогично можно говорить и относительно такого параметра как частота вращения шпинделя.

Успешное продвижение в данном направлении возможно, однако для этого требуется разработка методов свёртывания информации, что придаст однозначность в решении оценки свойства. Данное направление успешно проявляется при качественной оценке свойства исследуемого станка.

#### Измерительное преобразование

В рассматриваемой проблеме существует иной подход к оценке количественного значения данного свойства. Параметры свойства станка подобного плана скрыты от внешнего наблюдателя т. к. формируется внутренней структурой конструкции. В этом случае для оценки количественного значения таких свойства станка применяют измерительное преобразование [5]. Процедура измерительного преобразования состоит в том, что конструкция подвергается внешним термическим воздействиям известной величины и одновременно оценивается реакция конструкции на эти действия. Количественное выражение этого свойства определяют как отношение реакции, к величине термического воздействия. Для того чтобы воспользоваться измерительным преобразованием при оценке количественного значения исследуемого свойства, требуется иметь как реакцию, так и воздействие в виде сосредоточенных параметров как в пространстве, так и во времени. В данном случае при оценке свойства станка в качестве реакции конструкции используют выходные параметры в виде геометрической точности конструкции. Это положение баз станка относительно друг друга. Такими параметрами являются пять координат по степеням свободы несущей системы станка. Это линейные по трём осям координат перемещение базы под инструмент относительно базы под заготовку, и две угловые координаты, определяющие угловые положения баз. Данные параметры при действии термических возмущений изменяют свои количественные значения.

Во время рабочего процесса существует такой показатель как величина потребляемой электрической энергии на входе станка. Количественное значение потреблённой энергии конструкцией станка во время рабочего процесса является, во-первых, индивидуальной величиной данного образца станка. Она характеризует качество не только производства и сборки станка, но и качество конструкции. Что определяет работу трения в механизмах станка от чего изменяется термическое состояние конструкции. И во-вторых является параметром, сосредоточенным в пространстве, а именно на входе электричества в несущую систему станка. Эти свойства данного параметра могут быть использованы в измерительном преобразовании. Однако потребляемая мощность характеризует скорость процесса потребления электроэнергии. Для однозначности потребуются ограничить время исследований. Следующее условие состоит в том, что конструкция универсального станка имеет широкий диапазон режимов эксплуатации. Для сокращения времени исследования требуется иметь определённый закон воспроизводства режимов за время исследований.

Выполнение указанных требований может обеспечить закон воспроизводства теплового режима станка при проведении оценки количественного значения свойства, состоящего из чередования работы шпинделя станка на частотах вращения в процентах от максимальной частоты шпинделя. После проведения воспроизводства данного закона требуется определить значение величины перемещения базы инструмента относительно базы под заготовку. Так же оценить количество потреблённой энергии за время исследований. Последовательность действий требуется следующая. Сначала работа станка каждые 15 минут с попеременной частотой шпинделя 25, 100, 75, 25 единиц в процентном соотношении от максимальной частоты, затем обеспечение перерыва работы шпинделя в течение 10 минут, далее обеспечение следующего цикла с попеременной частотой шпинделя 25, 50, 25, 50, 75, 25 единиц в процентном соотношении от максимума, затем обеспечение перерыва работы шпинделя в течение 10 минут, далее обеспечение завершающего цикла с попеременной частотой шпинделя 25, 50, 75, 100, 25, 50 единиц в процентном соотношении от максимальной частоты [6].

Данное предложение не только определяет закон воспроизводства термического действия, но и определяет продолжительность исследования. Причём перерывы в работе проявляются как характеристика свойств конструкции. Количественное значение свойства сопротивления конструкции действию термических процессов состоит в нахождении отношения величины перемещения базы инструмента относительно базы заготовки к величине потреблённой энергии.

В качестве апробации данного предложения было исследование свойства ( $\Psi$ ) конструкции консольно-фрезерного станка мод. 676П по трём линейным координатам  $OX$  ( $\Psi'$ ),  $OY$  ( $\Psi''$ ),  $OZ$  ( $\Psi'''$ ). В данном случае количественное значение исследуемого свойства, определяющее термические свойства конструкции, получило следующие значения при действии двухчасовой работы станка на холостом ходу. По осям соответственно  $\Psi' = 51,40$ ;  $\Psi'' = 0,93$ ;  $\Psi''' = 42,06$  (мкм/кВт\*ч). В дополнении к этим значениям, в силу того, что на фрезерных станках нет явного предпочтения в точности станка по определённому направлению, было сформировано суммарное значение. В данном случае это геометрическая сумма по трём координатным осям. Станок 676П имеет количественное значение в этом случае 66,5 мкм/кВт\*ч.

#### Обсуждение результатов

ССЗ в своём составе имеет определённый арсенал подходов к оценке свойства конструкции станка формировать сопротивление термическим воздействиям по параметрам точности станка. Из-за того, что возникают трудности со свёртыванием информации в качестве аргумента в оценке количественного значения свойства возникают

существенные неопределенности. Такие оценки используют для качественной оценки, но в современном станкостроении требуется количественная оценка свойств конструкции.

В предлагаемом подходе удаётся решить возникшую проблемную ситуацию. Возникает возможность оценивать уровень свойства конкретной конструкции по разным направлениям движения баз во время рабочего процесса. Из этого следует что единицей измерения свойства конструкции сопротивляться действию термических возмущений может является величина  $\varepsilon$ , значение отношения величины перемещения баз станка относительно друг друга в размере одного мкм отнесённое к величине потреблённой энергии в 1кВт энергии за время действия в один час. Единица измерения свойства сопротивляться термических воздействий есть  $\varepsilon = 1 \text{ ств}$ .

Физически эта величина показывает на сколько микрометров перемещается база станка в данном направлении при потреблении одного кВт \*часа электрической энергии из сети за один час исследования.

В этом случае величина свойства станка сопротивляться действию термических воздействия составляет  $\Psi = 33,25 \varepsilon$ .

Выводы:

1. Предлагаемая единица измерения свойства станка сопротивления термическим воздействиям формирует возможность количественной оценки не только свойства станка по разным направлениям точности, но позволяет оценивать величину свойства производства и сборки станков данной модели;

2. Наличие возможности оценивать в количественном выражении свойства конструкции создаёт условия для стандартизации этого свойства;

3. Измерительное устройство для измерения указанного свойства основано на базе существующих средств, производимых промышленностью. Измерительное средство состоит из совмещения следующих составляющих. Это средства линейно-угловых измерений, средства для измерения потребляемой электрической мощности и хронометра;

4. Методика измерения количественного значения свойства проста в применении и не требует специальной подготовки персонала. Применима в подразделениях как при проведении исследовательских работ, так и в производственных условиях.

5. Наличие единицы оценки количественного значения свойства сопротивления термическим воздействиям создаёт основу для разработки шкалы количественного значения свойства.

#### Литература

1. Юркевич В.В. Тепловые процессы в токарном станке мод. МК-3002[Текст]/В.В. Юркевич//Вестник машиностроения. – 2000. - №1. – 46-49 с.

2. Jungnickel G. Wärmeübertragung durch freie Konvektion an Maschinenbauteilen. Maschintnbautechnik. /1979/ vol.28/ N.72/ pp. 568-573]

3. Поляков А.Н., Дьяконов П.И. Исследование теплового состояния станков с помощью нейронных сетей. /СТИН, 2006, С 10-13.

4. Jacob K. Beurteilungskriterien für das termische Verhalten von Werkzeugmaschinen. Maschinenbautechnik. 1981. v.30. №12. P. 540-544]

5. Новицкий П.В. Основы информационной теории измерительных устройств. Л.; Энергия, 1968. – 248с.

6. Международный стандарт ISO 230-3, вторая редакция от15.08.2007. Инструкция по испытаниям металлорежущих станков. Часть 3. Определение тепловых воздействий.

#### References

1. Jurkevich V.V. Teplovyje processy v tokarnom stanke mod. MK-3002[Tekst]/V.V. Jurkevich//Vestnik mashinostroenija. – 2000. - №1. – 46-49 s.

2. Jungnickel G. Wärmeübertragung durch freie Konvektion an Maschinenbauteilen. Maschintnbautechnik. /1979/ vol.28/ N.72/ pp. 568-573]

3. Poljakov A.N., D'jakonov P.I. Issledovanie teplovogo sostojanija stankov s pomoshh'ju nejronnyh setej. /STIN, 2006, S. 10-13.

4. Jacob K. Beurteilungskriterien für das termische Verhalten von Werkzeugmaschinen. Maschinenbautechnik. 1981. v.30. №12. P. 540-544]

5. Novickij P.V. Osnovy informacionnoj teorij izmeritel'nyh ustrojstv. L.; Jenergija, 1968. – 248s.

6. Mezhdunarodnyj standart ISO 230-3, vtoraja redakcija ot15.08.2007. Instrukcija po ispytanim metallorezhushih stankov. Chast' 3. Opredelenie teplovyh vozdejstvij.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.51.177

Ершова И.Г.<sup>1</sup>, Белова М.В.<sup>2</sup>, Поручиков Д.В.<sup>3</sup>, Ершов М.А.<sup>4</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0003-1126-3837, Кандидат технических наук,

Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева,

<sup>2</sup>кандидат технических наук, Казанский государственный аграрный университет,<sup>3</sup>Чувашская государственная сельскохозяйственная академия,<sup>4</sup>ORCID: 0000-0001-6439-3112, Кандидат химических наук,

Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева

**ТЕРМООБРАБОТКА ЖИРОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ****Аннотация**

В статье рассмотрено - совершенствование методики согласования конструкционно-технологических параметров установки с режимами ее работы с учетом конструктивных особенностей резонатора и изменения диэлектрических параметров сырья в процессе термообработки, рассмотрены способы и сверхвысокочастотные установки для термообработки жиросодержащего сырья, обладающие технической новизной.

**Ключевые слова:** электромагнитное поле сверхвысокой частоты, энергия электромагнитных излучений, термообработка, жиросодержащее сырье.

Ershova I.G.<sup>1</sup>, Belova M.V.<sup>2</sup>, Poruchikov D.V.<sup>3</sup>, Ershov M.A.<sup>4</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0003-1126-3837, PhD in Engineering, Chuvash I. Yakovlev State Pedagogical University,<sup>2</sup>PhD in Engineering, Kazan State Agricultural University, <sup>3</sup>Chuvash State Agricultural University,<sup>4</sup>PhD in Chemistry, Chuvash I. Yakovlev State Pedagogical University**HEAT TREATMENT OF FAT-CONTAINING RAW MATERIALS WITH ENERGY  
OF ELECTROMAGNETIC RADIATION****Abstract**

The article considers improving matching techniques constructional and technological parameters of the installation with the modes of its work, taking into account the structural features of the resonator and the changes in the dielectric parameters of raw material during the heat treatment, presents methods and microwave units for heat treating fat-containing raw materials that have a technical novelty

**Keywords:** electromagnetic field of ultrahigh frequency, energy of electromagnetic radiation, heat treatment, fat-containing raw materials.

It is known that the fat-containing feedstock processes are associated with the consumption of large amounts of electricity, steam and water. Heat treatment of raw materials is used for fat-melting. To remove the fat from the fat-containing tissue, it is necessary to destroy transfer the protein structure, comprising fat, transfer it from the intracellular to the extracellular phase, the free phase, and then remove the external environment. Currently, for this purpose the heat treatment received is widely used. To do this, it is used the convective or conductive heat supply method in direct contact with raw material steam or heat is applied to the raw materials through the wall of the coolant. Food fats and edible raw bone is treated to melting out of fat at a temperature of 90°C (gentle feedstock) and do100°C (bone). Duration of the heat treatment of raw materials is determined by the duration of exposure for melting and destruction of pathogenic microorganisms [1].

The aim of this work is to intensify the process of melting out the fat under the influence of the electromagnetic field of ultrahigh frequency on fat-containing raw materials while maintaining product quality.

To substantiate the structural and technological parameters and regimes of the plant for the heat treatment of raw material fat its physical, mechanical and dielectric properties were analyzed. Energy for denaturation of the protein by changing its temperature by 1 ° C for meat proteins during cooking is 0,84...1,26 kJ / (kg · K). Specific heat to melt fat is  $(1,3...3) \cdot 10^3$  J / (kg · K), after melting  $2,6 \cdot 10^3$  J / (kg · K).

Latent heat of melting fat  $(121...151)10^3$  J / kg, the heat of evaporation of water  $(2480 - 2,27 \cdot T)10^3$  J / kg, where T - temperature of water evaporation °C.

Heat transfer coefficients during condensation of live steam is 840 ... 2780 W / (m<sup>2</sup> · K), and by heating the water – 840//33300 W / (m<sup>2</sup>·K), the lowest ratios in the heating raw material air (85 W / (m<sup>2</sup>·K).

Table 1 – Humidity Body Fat tissues of animals

The species of animal	Humidity,%	Density, kg/m <sup>3</sup>
pork	0,25	915...961
chickens	9,1	900
cattle	0,2	915

Acid number of fat - not more than 1,2...3,5. The melting point of tallow 42...52 ° C, mutton 46...55 ° C, pork 28...46 ° C. Refractive index of animal fats at 40 ° C is equal to 1,456 ... 1,460.

It is known that the specific heat ( J / kg ) required to process the fat-containing feedstock is the initial heating, melting fat, protein denaturation , and the final moisture evaporation heat , but it does not depend on the method of supplying energy [1]. A length to achieve the required temperature is determined by the type of raw weight of the energy supply , the intensity of heat and mass transfer , the ratio of volume, surface area and size of the raw material and its physical parameters. To intensify the heat we can raise the temperature of the medium , changing the conditions of heat , increasing the heat transfer surface at a constant weight of raw materials. *Increased ambient temperature* above 120...130 ° C in the processing of raw material leads to

a fat deterioration of melted fat. When grinding increased the heat transfer surface, is which intensifies the heat, accelerating the internal heat transfer of heat conductivity. In formulating the bone meal particles have a size of 25...35 mm.

Existing apparatus for melting out of fat running in periodic mode with a large volume, so the duration of the heat treatment process is 4...5 hours, which impairs the quality of fat and feed products. In view of these shortcomings and recommendations we propose to intensify the process of heat extraction of fat of good quality exposure to electromagnetic energy field of ultrahigh frequency shredded fat-containing raw materials.

We analyzed the dielectric characteristics raw material in a wide frequency range of the electromagnetic field, depending on temperature, moisture, fat (Fig. 1). High dielectric constant at low frequencies and a sharp drop in its frequency increases due to the relaxation process of charging and discharging at the cell membrane. In the microwave range (433, 915 and 2400 MHz) dielectric properties of foods were studied by Rogov A.M. The main factors influencing the dielectric properties of raw material are humidity, temperature, which should be considered when choosing of heat treatment mode. With decreasing humidity permittivity is reduced continuously. In the temperature range from 20 to 45 °C absorption coefficient increases due to the redistribution of moisture. Intracellular fluid as a result of diffusion processes can penetrate freely through the cell walls and change the fluid levels in the capillaries formed by muscle cells and intercellular spaces. All these features should be taken into account when justifying the penetration depth of the electromagnetic field of ultrahigh frequency in the feed to obtain a uniform distribution of the temperature of heating the entire volume.

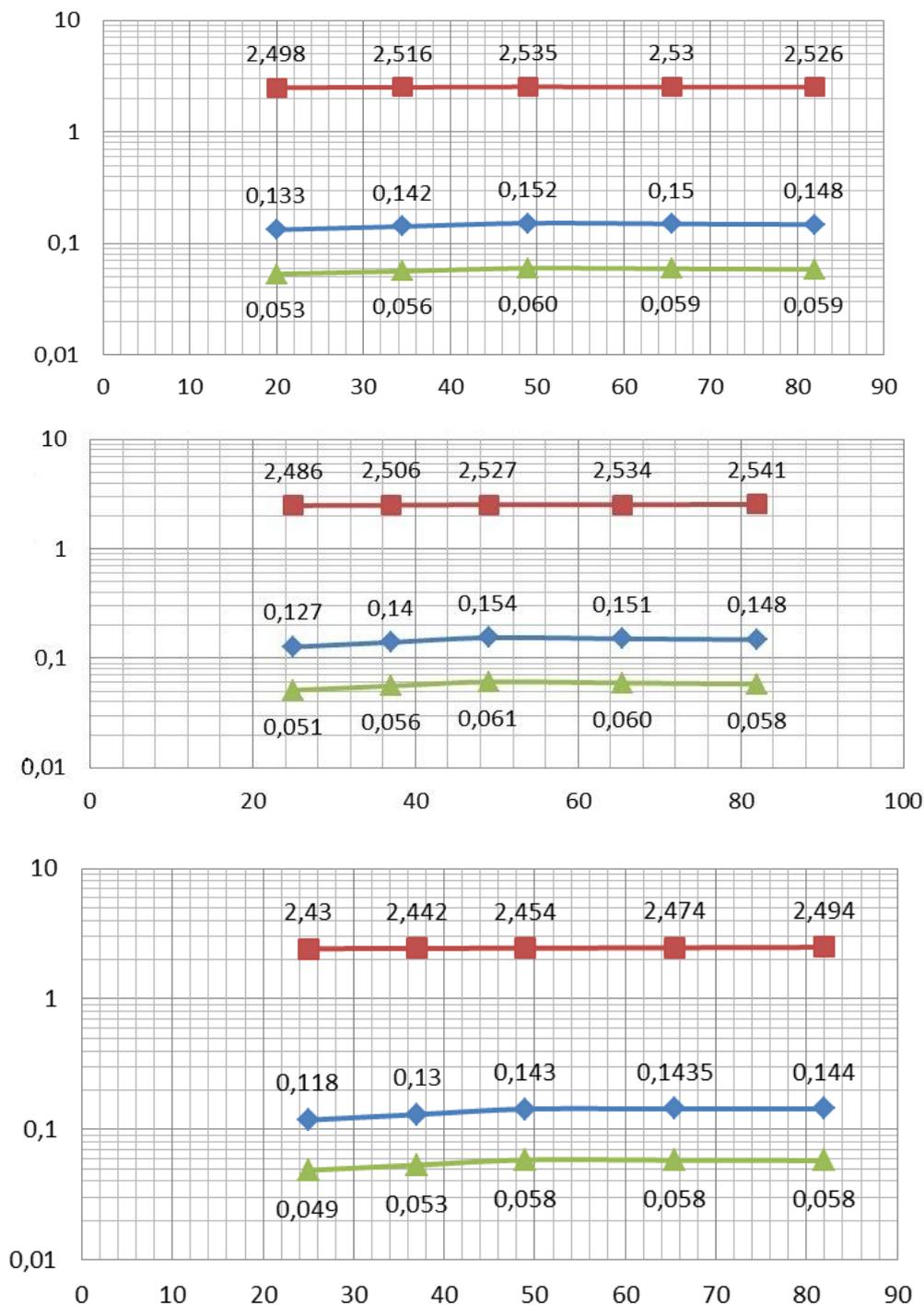


Fig. 1 – Dielectric parameters of raw material fat: a) bacon, b) internal pork fat, c) pork lard

Installation designed for heat treating a fat raw material consists of four main modules. The first module provides a fat-containing raw material grinding by roller crusher. The second module is used for the heat treatment raw material in the resonator chamber due to the energy of the electromagnetic field of the microwave. The third module allows you to filter melted fat and forming bone waste through the discharge auger and matrix. The fourth module combines electric motors and Gear Units.

By ingestion raw material occurs between the rollers grinding raw materials and moving into a resonator chamber, where the endogenous heating of the crushed material. Take place in addition, for uniform heating throughout the volume of raw material beforehand include agitating auger and discharge mechanism. Heated to the melting temperature of the fat the raw material is adjudged in discharge auger. Next, extruded through a die bone waste, and melted fat is dripping through the filter into the receptacle. The resonator chamber is located in the screening housing. The plant operates in a continuous mode, providing parallel size reduction fat-containing raw material, its heat, the sweat fat injection molding and bone waste. Screws and screw discharge matrix allow further grind waste in the form of bone and bone meal with adjustable size grains. Structural features of the developed installation permit processes grinding of fat-raw materials and the melting out fat due to dielectric heating, split into two fractions, such as bone meal and melted fat. The quality of finished product depends on the combined action of two factors: the temperature of the endogenous heat and exposure dose of electromagnetic field of ultra-high frequency [4].

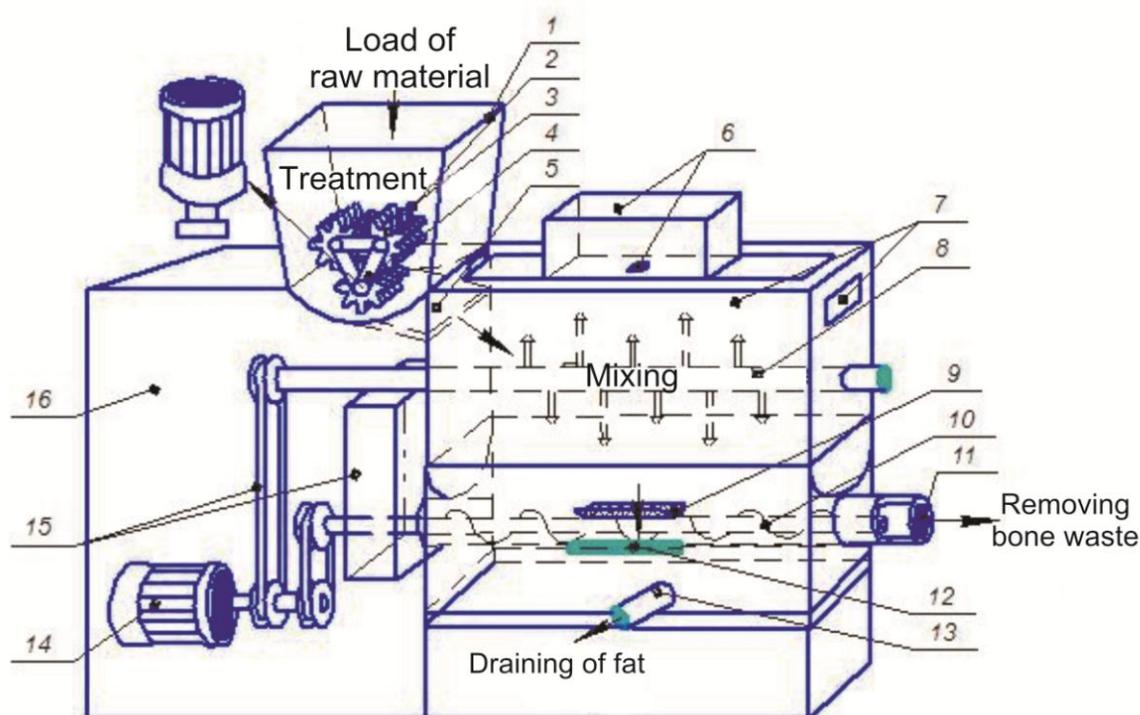


Fig. 2 – Installation of heat-treating the fat-containing raw materials: 1 – loading capacity; 2 – roller grinding mechanism; 3 – Stars set with motor; 4 – electric motor with a gear; 5 – Tray; 6 – microwave generator; 7 – the resonator chamber; 8 – Stir drive mechanism; 9 – box housing the discharge auger; 10 – discharge auger, 11 – matrix; 12 – filter; 13 – feeding capacity; 14 – motor; 15 – belt drive and gear unit; 16 – shield casing

#### References

1. Ivashov, V.I. Technological equipment of the meat industry. Part 1. Equipment for slaughter and processing. - Moscow: Kolos, 2001. – P. 552.
2. Ershova, I. G. Technology of fat-containing raw materials / I. G. Ershova, M. G. Sorokina, O. V. Mihailova // Chuvash State Pedagogical University I.J. Yakovlev. – Cheboksary : CSPU, 2013. - № 4 (80). - P.34...37.
3. Ershova, I. G. Installation for recycling fat-raw material with microwave energy / I. G. Ershova, M. G. Sorokina, M. V. Belova, G. V. Novikova // Izvestia Orenburg GAU, 2014. - № 1 (45). - P.54 ... 56.
4. Ershova, I. G. Installation for heat treating fat-raw material in the ultrahigh frequency electromagnetic field / I. G. Ershova, G. V. Novikova, M. V. Belova, O. V. Michailova, M. G. Sorokina Natural and Technical Sciences, 2015. - № 1 (79). - P.129 ... 130.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.51.113

Зейлигер А.М.<sup>1</sup>, Ермолаева О.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ORCID: 0000-0002-9556-9966, Доктор биологических наук,

<sup>1,2</sup>Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева,

**ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ  
ПРОСТРАНСТВЕННО-ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ДОЖДЕВАНИЯ ПОСЕВОВ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР**

*Аннотация*

В статье рассмотрены информационно-технологические основы создания технологии пространственно-дифференцированного дождевания посевов сельскохозяйственных культур, которая позволяет, во-первых, поднять эффективность использования земельных и водных ресурсов за счет повышения урожайности в результате оптимизации распределения поливной воды по пространству корнеобитаемого слоя в пределах орошаемого поля, а во-вторых, снизить негативную нагрузку на окружающую среду за счет сокращения непроизводительных потерь воды в результате формирования поверхностного и грунтового потока поливной воды в поверхностные объекты и грунтовые воды.

**Ключевые слова:** информационные технологии, водные ресурсы, дождевание, орошение посевов, нагрузка на окружающую среду.

Zeyliger A.M.<sup>1</sup> Ermolaeva O.S.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ORCID: 0000-0002-9556-9966, PhD in Biology,

<sup>1,2</sup>Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy

**INFORMATION AND TECHNOLOGICAL BASES OF THE SPATIALLY DIFFERENTIATED SPRINKLER  
IRRIGATION OF AGRICULTURAL CROPS**

*Abstract*

The article considers information & technological basics of the spatially differentiated technology for sprinkling irrigation of agricultural crops which allows to increase, first, efficiency of land and water resources use due to yield augment as a result of optimization of irrigation water distribution in space of root zone within the irrigated field, and secondly, to lower negative impact to environment due to reduction of unproductive losses of irrigation water provided by run-off and seepage fluxes formation into surface water object and groundwater.

**Keywords:** information technology, water resources, sprinkler irrigation, agricultural crop, environmental impact.

Пестрота почвенного покрова, а также пространственное варьирование многочисленных факторов и процессов (рис. 1) оказывают влияние на формирование пространственно неоднородного водного режима поступления и расходования воды корнеобитаемого слоя на сельскохозяйственных полях.

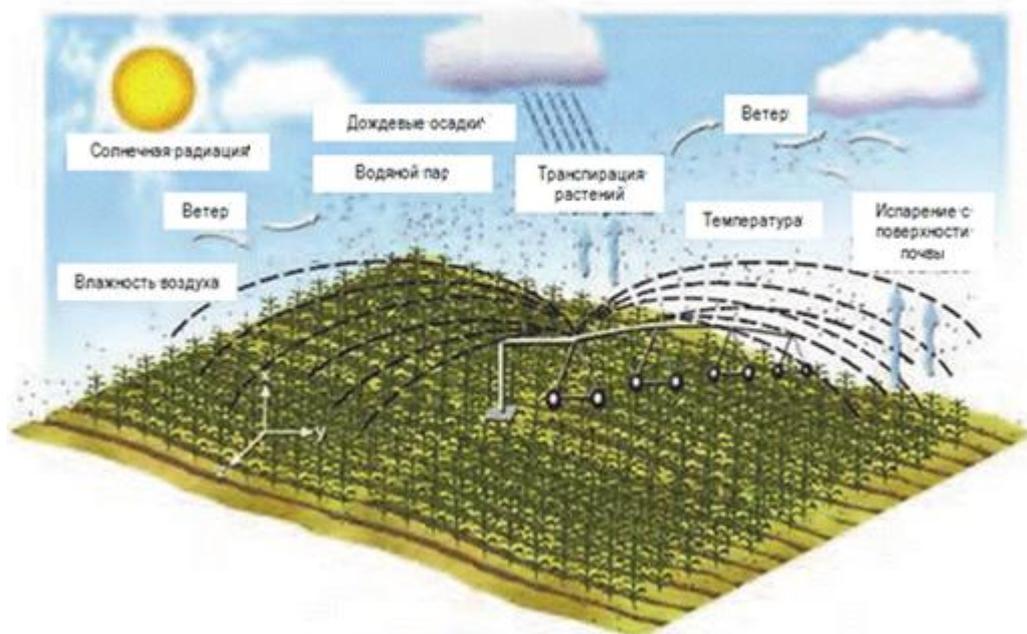


Рис. 1 – Процессы влияющие на формирование режимов влагозапаса корнеобитаемого слоя почв на сельскохозяйственных угодьях

Пространственная неоднородность формирования водного режима приводит к формированию контуров с различными запасами доступной для сельскохозяйственных растений воды [1,5]. В пределах такого рода проблемных контуров с влагозапасами, отличными от оптимальных, сельскохозяйственные растения испытывают различного рода стрессы, оказывающими негативное влияние на их рост и развитие. В итоге это приводит к снижению эвапотранспирации с поверхности почвенно-растительного покрова [6], а как результат - к снижению урожайности

сельскохозяйственных культур. Классическая технология орошения с постоянной по площади орошаемого поля (униформной) нормой орошения не позволяет варьировать этой нормой для выравнивания отклонений водного режима отдельных контуров от оптимальных. На уровне орошаемого поля это приводит к снижению к недобору урожая орошаемых сельскохозяйственных культур, что выражается в снижении эффективности использования поливной воды и расходуемой для ее транспортирования энергии.

Анализ данных полевых экспериментов, проведенных на оросительных системах Саратовского Заволжья, свидетельствует о наличии потенциальных возможностей получения в практике орошаемого земледелия экономического и экологического эффекта от применения современных методов орошения на основе совместного использования технологий геоинформационных систем (ГИС) и дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Это служит предпосылками для развития устойчивого высокоэффективного орошаемого земледелия за счет: а) повышения эффективности использования поливной воды посевами сельскохозяйственных культур; б) увеличения урожайности посевов сельскохозяйственных культур; в) снижения эксплуатационных затрат, связанных с орошением; г) уменьшения негативного влияния орошения на экосистемы земельных и водных объектов; д) предотвращения деградации орошаемых земель.

Для повышения эффективности использования поливной воды и увеличения урожайности посевов сельскохозяйственных культур предлагается использовать технологию пространственно-дифференцированного дождевания [4, 7]. В отличие от классической технологии равномерного (униформного) распределения слоя поливной воды по пространству орошаемого поля технология пространственно-дифференцированного дождевания позволяет варьировать поливной нормой и интенсивностью водоподачи по т.н. зонам управления. Это реализуется за счет оснащения разбрызгивателей самодвижущихся дождевальных машин устройствами, регулирующими подачу воду на поверхность поля. Режим работы каждого из таких исполнительных устройств управляется бортовым микропроцессором, контролирующим расположение разбрызгивателей по отношению к зонам управления технологической карты полива и формирующим команды, необходимые для выполнения заданных технологической картой норм полива (рис. 2), в соответствии с расположением этих контуров на орошаемом поле [4].

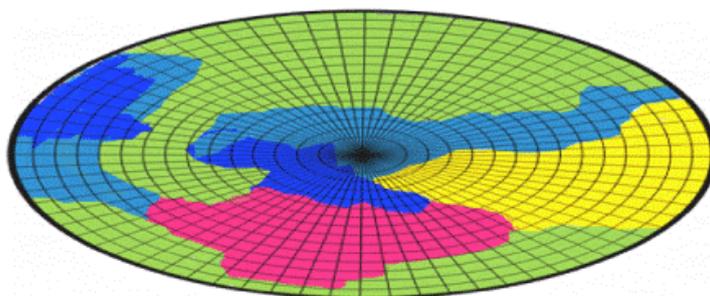


Рис. 2 – Графическое представление технологической карты полива (цветовая палитра отображает градацию норм полива) дождевальной машины кругового действия, включающей зоны управления

Дифференцированное по пространству орошаемого поля дождевание направлено на формирование в пространстве корнеобитаемого слоя почвы проблемных зон требуемых влагозапасов. Это позволяет гибко настраивать реализацию поливов для нивелирования этих зон и таким образом увеличить урожайность на всем пространстве орошаемого поля. В результате настройки интенсивности водоподачи сводятся к минимуму формирование поверхностного и грунтового стока, что ведет также к снижению риска деградации почв, что делает устойчивым орошаемое земледелие.

Формирование технологической карты полива, основано на пространственном анализе картографических данных и их обработки с использованием методов алгебры карт в границах зон управления [2]. Для этого используются данные наземного прокси-зондирования влагозапасов корнеобитаемого слоя, аэрокосмического зондирования транспирации посевов сельскохозяйственных культур (рис. 3).

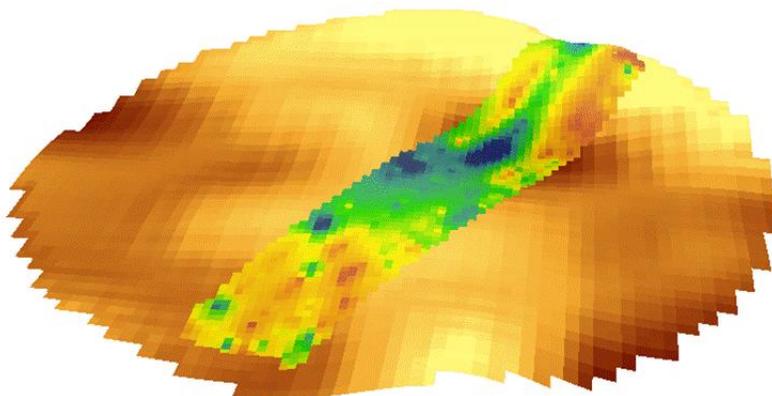


Рис. 3 – Пространственное варьирование влагозапасов корнеобитаемого слоя полосы проксимального зондирования (цветовая палитра отображает градацию влагозапасов) в пределах орошаемого контура сельскохозяйственного поля (цветовая палитра отображает высоты отметок рельефа)

Для реализации пространственно-дифференцированной технологии дождевания разработана и протестирована методика [3], основанная на сценарном прогнозе формирования водопотребления посевов сельскохозяйственных культур на каждом отдельном поле. С этой целью используются данные прогноза метеорологических условий, прогнозного водопотребления отдельных посевов (рис. 3). Указанные показатели рассчитываются по данным дистанционного зондирования растительного и почвенного покрова. Это позволяет планировать и реализовывать эффективное использование поливной воды сельскохозяйственными посевами с учетом вегетационных характеристик роста и развития орошаемых посевов, показателей водного стресса, текущего и прогнозного водопотребления, влагозапасов корнеобитаемого слоя, а также характеристик рельефа, почвенного покрова и положения грунтовых вод.

Мониторинг показателей водного стресса реализован на основе прогноза метеорологических данных погодных условий, данных аэрокосмического зондирования эвапотранспирации с поверхности сельскохозяйственного посева, а также расчетных данных по водопотреблению сельскохозяйственных культур в соответствии с методикой ФАО-56. В результате мониторинга для каждого орошаемого поле с посевом сельскохозяйственной культуры формируется профиль режима водного стресса, необходимый для оценки потребностей этого посева в воде в краткосрочной перспективе.

Краткосрочный прогноз водопотребления посевов орошаемых сельскохозяйственных культур для каждого отдельного поля реализуется с использованием агрогидрологической модели SWAP [8] на основе данных мониторинга показателей водного стресса и цифрового метеорологического прогноза погодных условий. Это позволяет настраивать режим орошения посева сельскохозяйственных культур на каждом отдельном поле в соответствии с его текущими и будущими потребностями в воде.

Планирование поливов посевов орошаемых сельскохозяйственных культур осуществляется для каждого поля отдельно на основе данных их текущего водопотребления и прогнозного. С этой целью используются данные сценарного моделирования в соответствии с рассматриваемыми вариантами входных данных по срокам и нормам поливов, вегетационных характеристик посевов орошаемых сельскохозяйственных культур, прогнозного водопотребления и погодных условий. Оценка и сопоставление вариантов сценарных расчетов реализуется по показателю прогнозируемой биопродуктивности посевов орошаемых сельскохозяйственных культур, выраженной или физическими или экономическими показателями. В результате для каждого орошаемого поля формируется график необходимой водоподдачи с заданной заблаговременностью, которая корректируется по мере уточнения прогноза погодных условий.

Мониторинг метеорологической обстановки на орошаемых землях осуществляется условий с использованием данных стационарной сети метеорологических станций системы Росгидромета, а также данных автоматических метеорологических станций и радаров погодных условий. Поступающие метеорологические данные формируются в слои массивов данных для анализа и получения пространственно-временных картографических данных погодных условий на каждом сельскохозяйственном поле. Полученные для каждого отдельного поля слои данных используются для оценки водопотребления, выращиваемых на каждом отдельном поле посевов орошаемых сельскохозяйственных культур.

Гидрогеологический мониторинг уровня грунтовых вод и его физико-химических характеристик на территориях, где ведется орошение посевов сельскохозяйственных культур, осуществляется на основе данных, получаемых по беспроводным сетям с датчиков, установленных в специально оборудованных скважинах наблюдений. Состояние и характеристики почвенного покрова на сельскохозяйственных полях, где ведется орошение, осуществляется на основе данных аэрокосмических наблюдений и данных наземных регулярных наблюдений на специально оборудованных тестовых участках. Поступающие данные аэрокосмического, проксимального и гидрогеологического зондирования используются для формирования соответствующих слоев картографических данных [8]. На основе пространственно-временного анализа этих данных рассчитываются картограммы контролируемых характеристик каждого отдельного сельскохозяйственного поля, используемые в агрогидрологической модели SWAP (рис. 4). Эта модель используется для расчета элементов водного баланса корнеобитаемого слоя для каждой зоны управления технологической карты. Для этой цели используются условия, формулирующие цели ведения орошения посевов сельскохозяйственных культур.

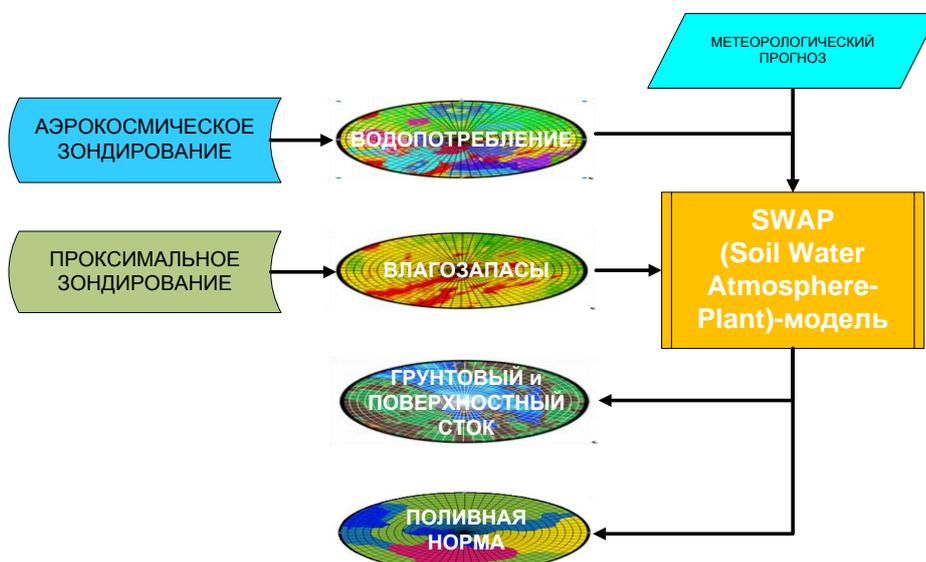


Рис. 4 – Схема алгоритма расчета технологической карты полива

**Заключение**

Для расчета технологической карты полива при использовании пространственно-дифференцированной технологии дождевания используются слои данных сельскохозяйственных полей, включающие картограммы: а) параметров метеорологического прогноза; б) водопотребления посевов, получаемые по данным аэрокосмического зондирования; в) влагозапасов корнеобитаемого слоя, получаемые по данным проксимального зондирования; г) грунтового и поверхностного стока, оцениваемые по модели SWAP.

**Литература**

1. Затинаяцкий С.В., Зейлигер А.М., Губер А.К., Хитров Н.Б., Никитина Н.С., Уткаева В.Ф. Исследование предпочтительных потоков влаги в лугово-черноземной почве Саратовского Заволжья // Почвоведение. 2007. № 5. С. 585-598.

2. Зейлигер А.М., Тулузаков М.Л. Электромагнитный индуктометр для вертикального профилирования влагозапасов почвенно-грунтовой толщи // Природообустройство. 2013. № 4. С. 36-40.

3. Зейлигер А.М., Фартуков В.А., Косицын А.В. Результаты полевых экспериментов по тестированию технологии дифференцированного дождевания посевов сельскохозяйственных культур // Сб. ст. ВИМ. 2010. ВИМ. 2012. Т. 2. С. 430-434.

4. Зейлигер А.М. Точное (дифференцированное) орошаемое земледелие - технология повышения эффективности орошения и снижения нагрузки на окружающую среду // Сб. ст. ВИМ. 2010. Т. 2. С. 633-638.

5. Зейлигер А.М., Ермолаева О.С. Полевые исследования преференциального водного потока в темно-каштановых почвах Саратовского Заволжья // сб. ст. Проблемы научного обеспечения развития Эколого-экономического потенциала России. Москва, 2004, с.99-103.

6. Зейлигер А.М., О.С. Ермолаева, А.Н. Кричевцова “Результаты пространственно-временного анализа наборов данных ДЗЗ по испарению с поверхности суши MOD16 ET за 2000-2009 годы для территории Палласовского района Волгоградской области РФ”. Сборник статей Экология, Экономика и Информатика, Геоинформационные технологии и космический мониторинг. Ростов на Дону. Издательство Южного федерального университета, том.1-3/ том 3, 2015 с.35-47.

7. Sadler, E.J., R.G. Evans, G.W. Buchleiter, B.A. King, and C.R. Camp. // Design Considerations for Site Specific Irrigation. // In: Proceedings of the 4th Decennial National Irrigation Symposium. American Society of Agricultural Engineers. St Joseph, MI, 2000, November 14-16. Pp. 304-315.

8. Zeyliger A.M., Ermolaeva O.S. SEBAL Model Using to Estimate Irrigation Water Efficiency & Water Requirement of Alfalfa Crop // sb. st. EGU General Assembly. Vienna, Austria. 07 – 12 April 2013. Vol. 15. 12671 // [Электронный ресурс] URL: <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2013/EGU2013-12671.pdf> (дата обращения 08.08.2016)

**References**

1. Zatinatskii S.V., Zeiliger A.M., Guber A.K., Khitrov N.B., Nikitina N.S., Utkava V.F. Preferential water flows in meadow-chernozemic soil of the saratov transvolga region // Eurasian Soil Science. 2007. Т. 40. № 5. С. 532-543.

2. Zeyliger A.M., Tuluzakov M.L. Jelektromagnitnyj induktometr dlja vertikal'nogo profilirovanija vlagozapasov pochvenno-gruntovoj tolshhi // Prirodoobustrojstvo. 2013. № 4. S. 36-40

3. Zeyliger A.M., Fartukov V.A., Kosicyn A.V. Rezul'taty polevyh jeksperimentov po testirovaniju tehnologii differencirovannogo dozhdevanija posevov sel'skohoz'jajstvennyh kul'tur // Sb. st. VIM. 2010. VIM. 2012. Т. 2. S. 430-434.

4. Zeyliger A.M. Tochnoe (differencirovannoe) oroshaemoe zemledelie - tehnologija povyshenija jeffektivnosti oroshenija i snizhenija nagruzki na okruzhajushhujuu sredu // Sb. st. VIM. 2010. Т. 2. S. 633-638.

5. Zeyliger A.M., Ermolaeva O.S. Polevye issledovanija preferencial'nogo vodnogo potoka v temno-kashtanovyh pochvah Saratovskogo Zavolz'h'ja // sb. st. Problemy nauchnogo obespechenija razvitija Jekologo-jekonomicheskogo potenciala Rossii. Moskva, 2004, s.99-103.

6. Zeiliger A.M., Ermolaeva O.S., Krichevtsova A.N., “The results of the spatial-temporal analysis of remote sensing data sets by evaporation from the earth's land surface MOD16 ET for 2000-2009 for the territory Pallasovsky district of the Volgograd region of the Russian Federation”. In: Ecology economy informatics geoinformation technologies and space monitoring Rostov on Don: Southern federal university Publishers, Vol.1-3/ Volume 3, p.35-47, (2015).

7. Sadler, E.J., R.G. Evans, G.W. Buchleiter, B.A. King, and C.R. Camp. // Design Considerations for Site Specific Irrigation. // In: Proceedings of the 4th Decennial National Irrigation Symposium. American Society of Agricultural Engineers. St Joseph, MI, 2000, November 14-16. Pp. 304-315.

8. Zeyliger A.M., Ermolaeva O.S. SEBAL Model Using to Estimate Irrigation Water Efficiency & Water Requirement of Alfalfa Crop // sb. st. EGU General Assembly. Vienna, Austria. 07 – 12 April 2013. Vol. 15. 12671 // [Электронный ресурс] URL: <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2013/EGU2013-12671.pdf> .

DOI: 10.18454/IRJ.2016.51.175

Инаркаев А.Р.

Аспирант,

Северо-Кавказский горно-металлургический институт (ГТУ)

**АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ В МЕБЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ***Аннотация*

В статье рассмотрена необходимость разработки автоматизированной системы мониторинга и управления технологическим процессом, которая позволит в режиме реального времени, как контролировать сам процесс, так и разработку дальнейшего планирования процесса производства. В качестве примера разработки и постановки данной системы было использовано мебельное производство. Выбор был обусловлен низким уровнем автоматизации производства в данной отрасли. Все это является причиной повышенных издержек производства предприятий.

**Ключевые слова:** автоматизация, управляющий автомат, операционный автомат.

Inarkaev A.R.

Postgraduate student,

North-Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (STU)

**AUTOMATION OF MONITORING AND MANAGEMENT SYSTEM OF TECHNOLOGICAL PROCESS IN THE FURNITURE INDUSTRY***Abstract*

The article considers a necessity of development of automated system of monitoring and management of technological process that will enable real-time, how to control the process, and the development of further planning of the production process. As an example of development and statement of this system furniture production was used. The choice was due to the low level of production automation in the industry. All this is the reason of the increased costs of production of the enterprises.

**Keywords:** automation, control automation, operating machine.

В условиях рыночной экономики полностью исчез дефицит товаров и услуг, возникла жесткая конкуренция. Из-за этого наиболее значимыми для деятельности предприятий стали снижение себестоимости выпускаемой продукции, повышение её качества, а также уменьшение времени производственного цикла.

Одна из основных задач мебельных фабрик - сократить срок выполнения заказа, т. е. в наиболее короткие сроки изготовить продукцию, необходимую покупателю.

В данное время становится характерным непрерывный рост количества и объемов работ по интенсификации, компьютеризации и комплексной автоматизации производства и интегрированного управления функционированием, как сетью технологических процессов, так и отдельными предприятиями. На предприятиях мебельного производства уровень автоматизации не велик, мониторинг технологического процесса проводится ручным способом, что в свою очередь не только слишком длительно по времени, но зачастую и не очень точное. Решить данные задачи возможно путём внедрения автоматизированной системы мониторинга и управления технологическим процессом, которая позволит в режиме реального времени, как контролировать сам процесс, так и разработку дальнейшего планирования процесса производства.

Автоматизированные системы, разрабатываемые в последнее время, в большинстве случаев индивидуальны для каждого производства, а также решают в основном задачи в рамках одного информационного поля накопления информации.

Структура и состав цехов мебельной фабрики для производства различных изделий (столы, стулья, библиотеки и т. д.) характеризуются присущими им последовательностью выполнения операций. Для начала рассмотрим процесс производства стульев, структурная схема на рис. 1:

- 1) Участок заготовки доски - распил круглого леса, пропарка доски и сушка доски.
- 2) Участок первичной машинной обработки (УПМО) - раскрой и торцовка заготовок.
- 3) Участок вторичной машинной обработки (УВМО) - профилирование, фрезерование пазов, шипов и отверстий.
- 4) Участок сборки - сборка каркасов стульев.
- 4) Участок отделки - отделка стульев.
- 5) Участок обивки - установка сидений и спинок стульев.
- 6) Участок упаковки - упаковка стульев.



Рис. 1 – Структурная схема участков.

Из всех участков наиболее технологически сложным и включающим в себя наибольшее количество операций является участок ВМО. На данном участке проводится профилирование заготовок, фрезерование пазов, шипов и отверстий. Качество производства на данном участке закладывает основу для последующих участков.

В последнее время большое распространение в компаниях, которые занимаются механической обработкой, получили станки с числовым программным управлением (ЧПУ).

Осевыми перемещениями станка с числовым программным управлением руководит компьютер, который считывает управляющую программу (УП) и выдает команды соответствующим двигателям [2]. Двигатели приводят в движение исполнительные органы станка - рабочий стол или колонну со шпинделем. Результатирующим итогом является механическая обработка детали. Датчики, расположенные на направляющих, посылают информацию о реальном положении исполнительного органа обратно в компьютер. После того как компьютер узнает о том, что исполнительный орган станка находится в требуемом положении, он выполняет другой процесс. Данный процесс продолжается до тех пор, пока чтение управляющей программы не завершится.

Необходимо указать, что сама методика работы по программе позволяет более точно рассчитывать время обработки некоторой партии партий деталей, и следовательно, более полно загружать оборудование.

В настоящий момент существуют информационные системы мониторинга и управления технологическим процессом при работе на ЧПУ станках [3] обеспечивающие:

- Оперативный контроль за работой оборудования и производственного персонала в режиме реального времени.
- Формирование и анализ ключевых показателей эффективности (КПЭ) работы предприятия.
- Мониторинг энергозатрат оборудования в различных режимах работы.
- Диспетчеризация заводских служб, организация, контроль выполнения ТО и ППР станков (ТОиР).
- Передача по сети управляющих программ на станки с ЧПУ, контроль соблюдения технологического процесса.

Данные системы в большинстве случаев разрабатываются индивидуально для каждого производства и в основном выполняют функцию мониторинга. Существующие методы мониторинга и управления технологическим процессом слишком универсальны в том смысле, что совершенно не учитывают специфику данной конкретной предметной области (особенности технологии и оборудования).

Среди известных ныне методов оперативного планирования и управления производственными процессами можно указать следующие [4]:

1. Методы, основанные на применении имитационного моделирования.
2. Методы теории расписаний.
3. Сети Петри и их модификации.
4. Методы математического моделирования и оптимизации.
5. Ситуационное управление.
6. Методы системного структурного анализа.
7. Методы, основанные на применении систем искусственного интеллекта.
8. Интегрированные методологии.

Функционирование мебельного производства можно представить, как управляющую систему в виде структуры двух автоматов управляющего (А) и операционного (В) (рис. 2).

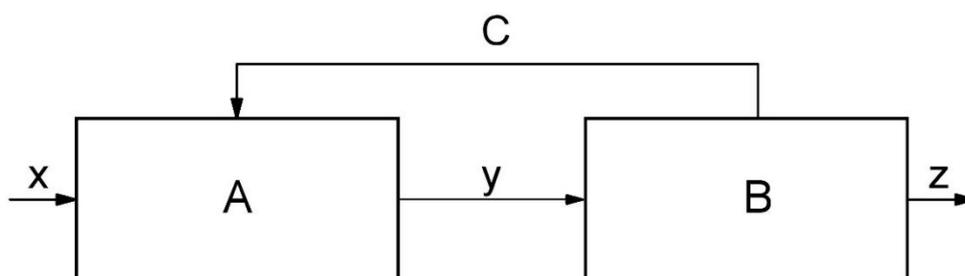


Рис. 2 – Структура операционного и управляющего автоматов

Задачей управляющего автомата (УА) является, таким образом, выработка распределенной во времени последовательности управляющих сигналов, под воздействием которых в операционном автомате осуществляются некоторые операции. В нашем случае операционный автомат представляет станки с ЧПУ.

Для выработки устройством управления управляющих сигналов необходимо, чтобы устройство управления могло оценивать, в какой последовательности необходимо запускать процесс обработки, т.к. изделия последовательно проходят обработку на станках, так чтобы избежать простоя оборудования, а также чтобы заготовки все подавались в комплекте на участок сборки.

На рис. 3. схематически показан случай обработки шести изделий двумя станками. [5].

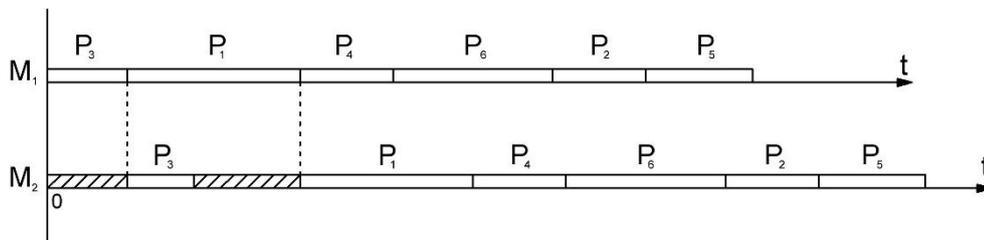


Рис. 3

Необходимо свести к минимуму время, в течение которого станок останется свободным; задача иногда формулируется как требование максимально снизить общее время обработки изделий, включающая время работы и время простоя станка  $M_2$ . Известен алгоритм для случая  $m = 2$  и, с одним ограничением, для  $m = 3$ . Это – алгоритм Джонса; можно также прибегнуть к методу ветвления и ограничения.

Но в нашем случае заготовки могут иметь как одинаковую, так и различную технологию обработки. Если рассматривать стул, то он состоит из различных деталей в зависимости от модели, например ножки передние, ножки задние, спинка верхняя, спинка нижняя, царг боковых, царги передней, царги задней и т. д. Заготовки могут проходить обработку через станки  $M_1 \rightarrow M_2$  или  $M_1 \rightarrow M_2 \rightarrow M_3$  или  $M_1 \rightarrow M_3 \rightarrow M_2$  и т. д.

Поэтому для каждой модели стула для необходимо разработать всевозможные алгоритмы обработки, чтобы по входным данным и данным поступающим по обратной связи УА мог бы выявить наиболее оптимальный алгоритм обработки.

Разработанная автоматизированная система мониторинга и управления технологическим процессом будет выявлять следующие показатели:

- комплектность загрузки оборудования, учёт наличия заготовок, материалов и инструментов для запуска процесса;
- размер партии для обработки, выбор оптимальной партии запуска заготовок в обработку;
- очередность запуска заготовок, в какой последовательности необходимо запускать заготовки для максимальной загрузки станков;
- длительность производственного цикла,
- планирование материальных потребностей;
- планирование производственных мощностей, определение потребностей в рабочей силе и оборудовании.

#### Литература

1. Баранов С.И. Синтез микропрограммных автоматов. Л.: Энергия. 1979
2. Ловыгин А.А., Вастльев А.В., Кривцов С.Ю. Современный станок с ЧПУ и CAD/CAM система. М.: «Эльф ИПР», 2006
3. Общество с ограниченной ответственностью «Иновационный центр «Станкосервис» (Официальный сайт) . – Режим доступа: <http://www.intechnology.ru/monitoring/>
4. Алешин Сергей Александрович Оптимальное оперативное управление производством деревянных каркасов мягкой мебели: дис. – М., 2001, с 16.
5. Кофман А. Введение в прикладную комбинаторику. М.: Наука. 1975

#### References

1. Baranov S.I. Sintez mikroprogrammyh avtomatov. L.: Jenergija. 1979
2. Lovygin A.A., Vastl'ev A.V., Krivcov S.Ju. Sovremennyj stanok s ChPU i CAD/CAM sistema. M.: «Jel'f IPR», 2006
3. Obshhestvo s ogranichennoj otvetstvennost'ju «Innovacionnyj centr «Stankoservis» (Oficial'nyj sajt) . – Rezhim dostupa: <http://www.intechnology.ru/monitoring/>
4. Aleshin Sergej Aleksandrovich Optimal'noe operativnoe upravlenie proizvodstvom derevjannyh karkasov mjagkoj mebeli: dis. – M., 2001, s 16.
5. Kofman A. Vvedenie v prikladnuju kombinatoriku. M.: Nauka. 1975

DOI: 10.18454/IRJ.2016.51.077

Кулешова О.Н.

ORCID: 0000-0003-3745-7066, Аспирант,

Севастопольский государственный университет

## ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ТАБЛИЦ СОБЫТИЙ В РАМКАХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ СОБЫТИЙ

*Аннотация*

*Рассматриваются способы оценки вероятности событий систем, специфицированных средствами языка таблиц событий. Описывается методика определения вероятностей событий. Производится расчет минимального числа прогонов модели для таблиц событий с различным числом условий. Проводится обзор методики расчета затрат времени для моделирования системы и рассчитываются временные затраты для моделирования в рамках эксперимента по определению вероятностей событий для систем, включающих таблицы событий различной сложности.*

**Ключевые слова:** таблицы событий, вероятность событий, оценка времени моделирования.

Kuleshova O.N.

ORCID: 0000-0003-3745-7066, Postgraduate student,

Sevastopol State University

## ASSESSMENT OF TIME FOR SYSTEM SIMULATION BASED ON EVENTS TABLES WITHIN THE EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE EVENTS PROBABILITY

*Abstract*

*In the article is devoted to the review of methods for assessing the event probability of the system, specified by means of events table language. It describes the method of events probabilities determining. In the paper the author calculates the minimum runs number of the model for events tables with different number of conditions. The review of methods for calculating the time cost for the simulation system and the time required for a simulation as part of an experiment to determine the events probabilities for systems incorporating varying complexity event table.*

**Keywords:** events tables, events probabilities, simulation time assessment.

Важным этапом реализации современных событийных систем является моделирование их поведения. Для автоматизации процесса моделирования систем управления, разработанных средствами языка таблиц событий (ТС) [1], необходимы методы и средства генерации входных наборов событий.

Целью генерации входных наборов событий являются пакеты входных данных обеспечивающих в процессе моделирования покрытие всех таблиц событий системы, поиск минимального пути в системе, создание наиболее или наименее вероятных ситуаций, достижения выполнения определённых действий.

Для организации процесса генерации входных наборов данных ориентированных на наиболее или наименее вероятные ситуации необходимы данные о вероятностях каждого события. Такие данные могут быть получены следующими способами: экспертная оценка вероятности каждого события, экспертная оценка вероятностей состояния условий, экспериментальная оценка вероятностей.

Экспертные оценки связаны с финансовыми (заработная плата проектировщиков и экспертов) и временными (время выполнения работы в человеко-часах) затратами.

Экспериментальная оценка требует затрат машинного времени. Финансовые затраты в этом случае можно оценить как затраченные на обеспечение электричеством, и потери от занятости оборудования на задачи моделирования.

Для определения наиболее доступного метода оценки вероятностей событий, актуальной задачей является начальная оценка времени эксперимента абстрактной системы с усреднёнными параметрами. В результате таких расчетов будут получены данные, на основе которых можно принимать решение о перспективности более точной оценки затрат машинного времени для конкретной системы.

Экспериментальное определение вероятностей событий связано с необходимостью проведения прогонов модели (системы ТС) в количестве достаточном для получения достоверных значений. Эксперимент требует затрат времени, а следовательно и финансов, чем больше прогонов модели, тем эти затраты выше. Средством достижения компромисса между максимумом информации и минимумом затрат ресурсов является план эксперимента [2]. Весь комплекс действий по планированию эксперимента разделяют на две самостоятельные функциональные части: стратегическое планирование и тактическое планирование. Стратегическое планирование включает разработку условий проведения эксперимента, определение режимов, для обеспечения наибольшей информативности эксперимента. Тактическое планирование должно обеспечивать достижение заданных точности и достоверности результатов.

С целью определения доступности экспериментального моделирования необходимо произвести расчеты затрат времени при усреднённых параметрах, таких как вычислительная мощность компьютера, размеры и количество таблиц событий в системе.

Формирование стратегического плана выполняется в так называемом факторном пространстве. Факторное пространство – это множество внешних и внутренних параметров, значения которых исследователь может контролировать в ходе подготовки и проведения эксперимента. Математические методы планирования экспериментов основаны на так называемом кибернетическом представлении процесса проведения эксперимента.

Факторами (входными переменными) являются: количество простых и сложных условий; количество простых и сложных действий; время определения состояния простого условия и сложного условий; время выполнения простого и сложного действий; количество таблиц событий в системе; число прогонов для достоверного определения вероятностей событий.

Выходные переменные в данном случае – это общее время моделирования для получения вероятностей событий с заданной точностью и вероятности событий.

Целью проведения эксперимента является определение вероятности каждого события в системе.

В качестве оценки вероятности  $P$  события  $\bar{a}$  (в терминах спецификации таблиц событий  $R$ ) выступает частота его свершения:

$$\bar{P} = \frac{\mu}{N}, \text{ где } N - \text{ число реализаций модели; } \mu - \text{ число свершений данного события.}$$

Использование частоты  $\bar{P}$  в качестве оценки искомой вероятности  $P$  основано на теореме Я. Бернулли, которую для конкретной задачи можно записать в формализованном виде:

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{\mu}{N} = P$$

Точность и достоверность этой оценки связаны с определением достоверности:

$$P(|\bar{P} - P| < \varepsilon) = a$$

Задача сводится к нахождению такого количества реализаций  $N$ , чтобы оценка отличалась от искомого значения  $\bar{P}$  менее, чем на  $\varepsilon$  с заданной достоверностью. Здесь  $\varepsilon$  – абсолютное значение, которое характеризует точность оценки.

Для нахождения функциональной связи между точностью, достоверностью и числом реализаций модели вводится переменная  $x_i$  – результат исхода  $i$ -й реализации модели:

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{событие свершилось, вероятность } P \\ 0, & \text{событие не свершилось, вероятность } 1 - P. \end{cases}$$

Тогда частота свершения события (оценка искомой вероятности) будет определяться следующим выражением:

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$$

Величина  $\sum_{i=1}^N x_i$  – случайная и дискретная, имеющая при таком задании  $x_i$  биномиальное распределение с характеристиками:

$$\text{матожидание } M = \left[ \sum_{i=1}^N x_i \right] = NP,$$

$$\text{дисперсия } D = \left[ \sum_{i=1}^N x_i \right] = NP(1-P),$$

Из чего следует:

$$M \left[ \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \right] = \frac{1}{N} NP, D = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \right] = \frac{1}{N^2} NP(1-P) = \frac{P(1-P)}{N}, \sigma_P = \sqrt{D \left[ \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \right]} = \frac{P(1-P)}{N}$$

На основании теоремы Лапласа (частный случай центральной предельной теоремы), при больших значениях числа реализаций  $N$  биномиальное распределение достаточно хорошо согласуется с нормальным распределением [3].

Следовательно, можно записать:

$$P(|\bar{P} - P| < t_\alpha \sigma_{\bar{P}}) = 2\Phi(t_\alpha), P\left(|\bar{P} - P| < t_\alpha \sqrt{\frac{P(1-P)}{N}}\right) = 2\Phi(t_\alpha)$$

Таким образом, искомые формулы имеют следующий вид:

$$\varepsilon = t_\alpha \sqrt{\frac{P(1-P)}{N}}, N = t_\alpha^2 \frac{P(1-P)}{\varepsilon^2}, t_\alpha = \Phi^{-1}\left(\frac{\alpha}{2}\right), \alpha - \text{достоверность, } t_\alpha - \text{аргумент функции Лапласа}$$

$$P = \frac{1}{2^m}, \text{ где } m - \text{ количество условий в таблице событий.}$$

$\varepsilon$  – абсолютное значение,  $\varepsilon = 10^{-\sigma}$ , где  $\sigma$  количество десятичных знаков вероятности  $P$  равных «0» до знаков отличных от «0» плюс 2.

Результаты расчетов необходимого числа прогонов при количестве условий от 2 до 10 приведены на рисунке 1.

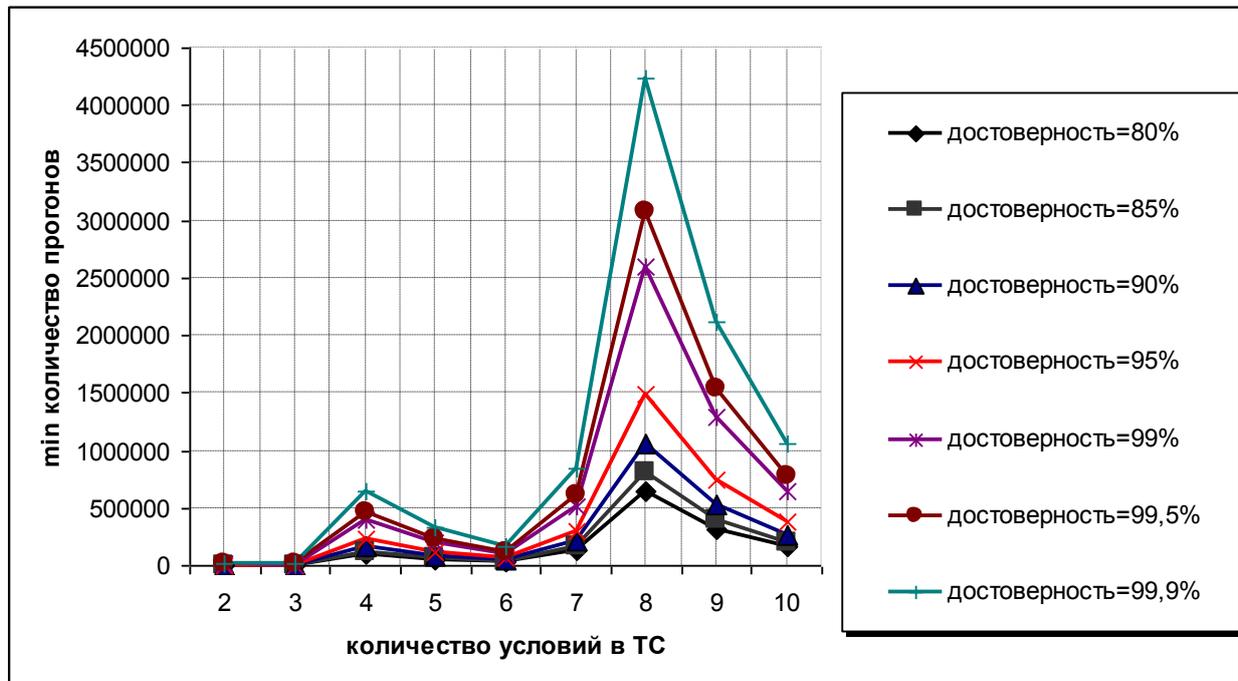


Рис. 1 – Зависимость число прогнозов для достоверного определения вероятностей событий от количества условий ТС

В дальнейших исследованиях используется достоверность равная 80%.  
Оценка времени эксперимента проводится по формуле:

$$t_{сум} = t_{TE1} + t_{TE2} + \dots + t_{TEquan}$$

Время моделирования системе равно сумме затрат времени на моделирование каждой ТС.  
Для оценки времени моделирования таблицы событий используется формула:

$$t_{TE} = m_{EE} \cdot t_{EE} + m_{CE} \cdot t_{CE} + k_{EA} \cdot t_{EA} + k_{CA} \cdot t_{CA},$$

где  $m_{EE}$  – количество простых условий в ТС,  $t_{EE}$  – время выполнения простого условия,  $m_{CE}$  – количество сложных условий в ТС,  $t_{CE}$  – время выполнения сложного условия, где  $k_{EA}$  – количество простых действий в ТС (переходов),  $t_{EA}$  – время выполнения простого действия,  $k_{CA}$  – количество сложных действий в ТС (функций),  $t_{CA}$  – время выполнения сложного действия.

Время выполнения условий и действий зависит от настроек СУБД PostgreSQL [4], с помощью которой реализована система и параметров ЭВМ, которая будет производить моделирование.

Оценочные вычисления проводятся, используя данные теста производительности PostgreSQL pgbench [5].

Формулу оценки времени моделирования ТС модифицируется, основываясь на транзакциях типа «read-only» и «read-write».

$$t_{EE} = 3t_{ro}$$

$$t_{CE} = 5t_{ro} + t_{rw}$$

$$t_{EA} = 2t_{ro} + t_{rw}$$

$$t_{CA} = 2t_{ro} + t_{rw}$$

В результате будет получена формула следующего вида:

$$t_{TE} = 3t_{ro} \cdot (m_{EE} + m_{CE}) + (2t_{ro} + t_{rw}) \cdot (m_{CE} + k),$$

где  $m_{EE} + m_{CE} = m$  – общее число условий в ТС,  $k_{EA} + k_{CA} = k$  – общее число действий в ТС.

$$t_{TE} = 3t_{ro} \cdot m + (2t_{ro} + t_{rw}) \cdot (m_{CE} + k)$$

Для оценочных расчетов рассматриваются обобщающие варианты структур ТС.

По условиям:

- простая ТС (Easy) – все условия простые;
- средняя ТС (Medium) – 50% условий простые, 50% – сложные;
- сложная ТС (Large) – все условия сложные.

По действиям:

- простая ТС (Easy) – 1 выполняемое действие;
- средняя ТС (Medium) – 5 выполняемых действий;
- сложная ТС (Large) – 10 выполняемых действий.

Для заданных вариантов структур вводится параметр  $\chi$  – процентное содержание сложных действий в таблице событий. Учитывая, что не все действия в ТС выполняются при каждом событии, заменим  $k$  – общее число действий, на  $k_{av}$  – среднее число выполняемых при моделировании действий.

Преобразованная формула имеет вид:

$$t_{TE} = 3t_{ro} \cdot m + (2t_{ro} + t_{rw}) \cdot (\chi \cdot m + k_{av})$$

На основании данных исследования [5], проводится оценка времени выполнения транзакции «read-only» и «read-write» для БД размером до 150 Мб при конфигурации оборудования HP DL380 G5 (2x Xeon E5450 3Ghz, 16GB DDR2 RAM), Intel S3700 100GB SSD, СУБД PostgreSQL 9.0 для 1 клиента:

read-only  $\approx$  10000 транзакций в секунду;

$t_{ro} \approx 0,0001$ (сек) ;

read-write  $\approx$  1000 транзакций в секунду;

$t_{rw} \approx 0,001$ (сек) ;

Результаты расчетов времени моделирования 1 клиентом БД таблицы событий представлены на рисунке 2.

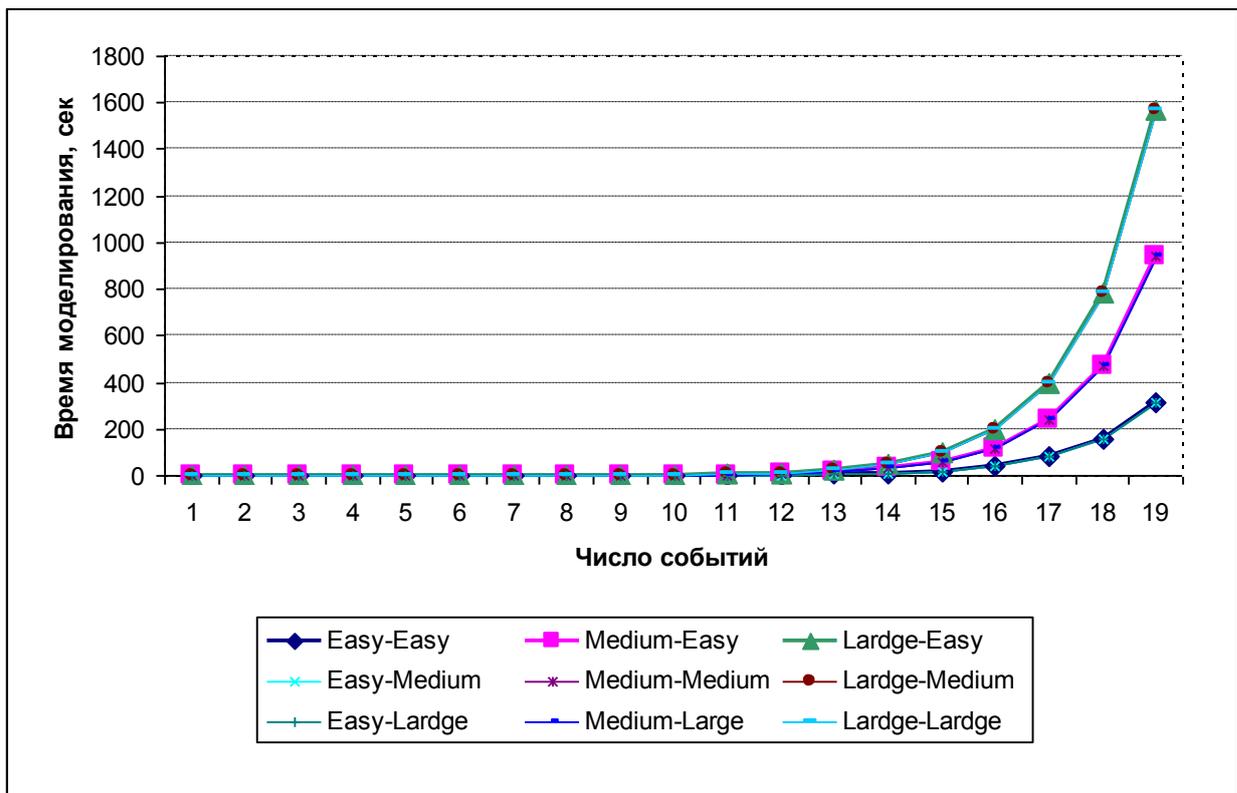


Рис. 2 – Зависимость времени моделирования ТС от числа условий

На основе полученных результатов, можно сделать вывод, что значительный рост времени моделирования происходит при числе условий больше 7.

Проводится расчет времени моделирования системы ТС, включающей таблицы событий с количеством условий от 2 до 10. Для обобщения вычислений, делается предположение, что количество таблиц с различным числом условий – равное. Так же, время моделирования ТС как принимается как среднее время. Результаты приведены на рисунке 3.

Проведя аналогичные расчеты для системы ТС, включающей таблицы событий с количеством условий от 2 до 6 были получены результаты, представленные на рисунке 4.

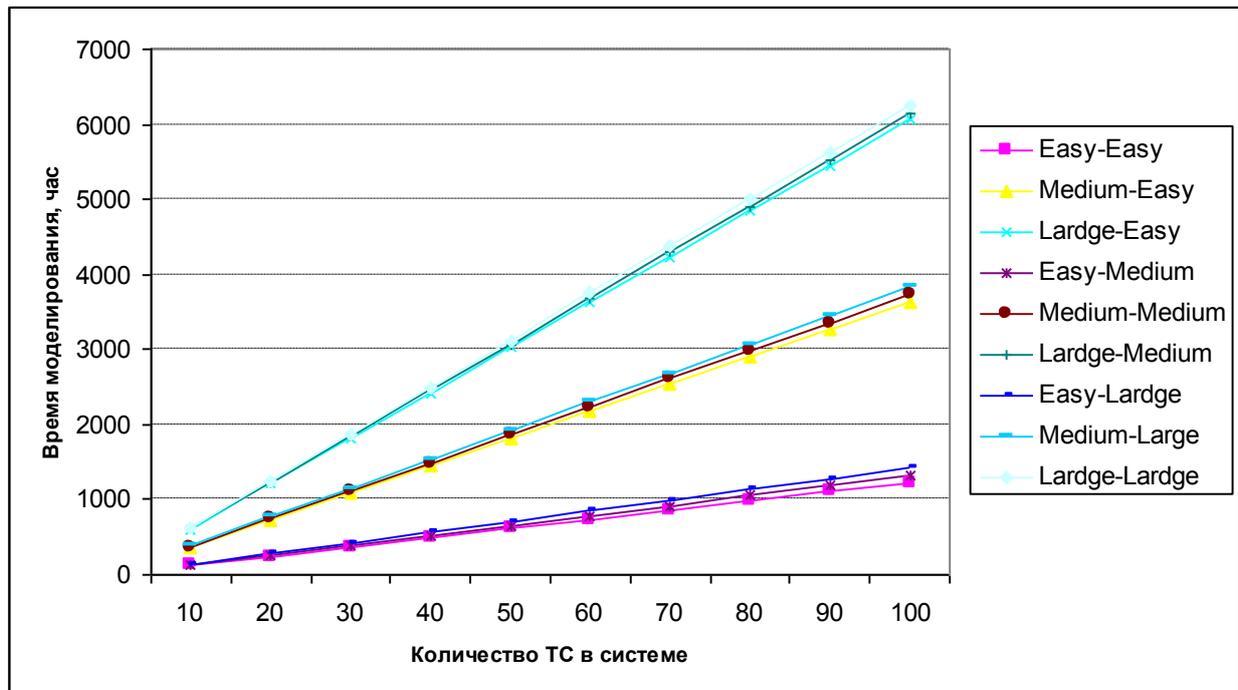


Рис. 3 – Зависимость времени моделирования системы ТС с таблицами, содержащими от 2 до 10 условий (моделирование 1 клиентом БД)

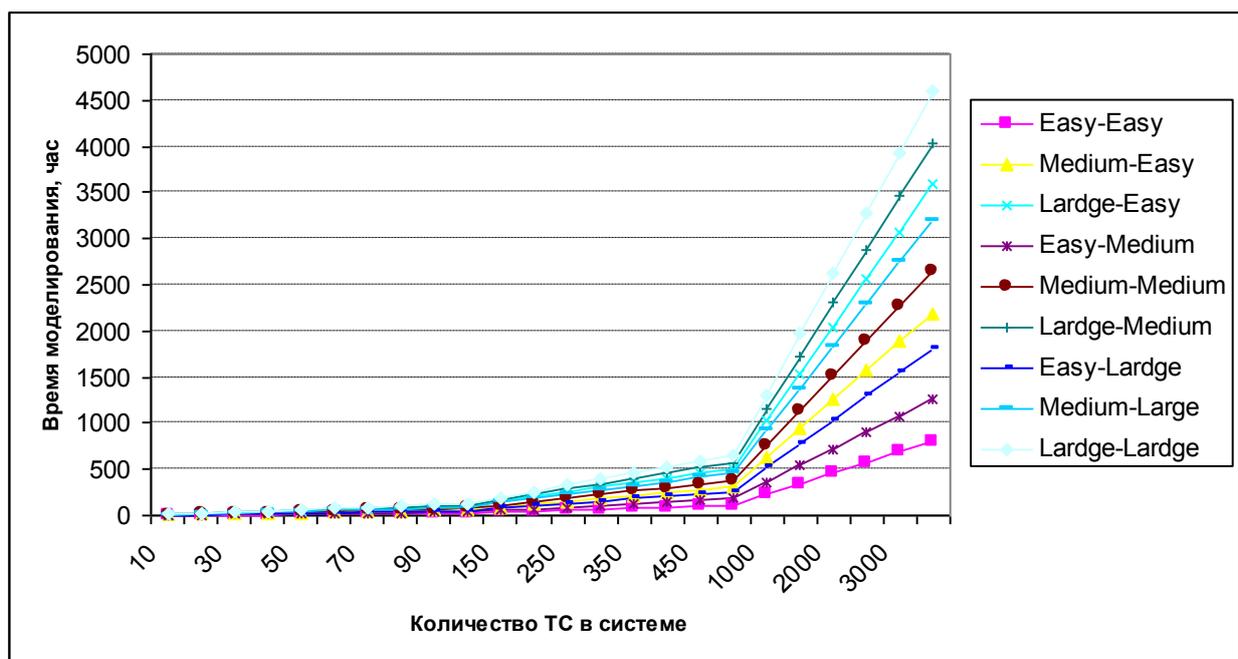


Рис. 4 – Зависимость времени моделирования системы ТС с таблицами, содержащими от 2 до 6 условий (моделирование 1 клиентом БД)

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что моделирование системы ТС, включающей таблицы событий с количеством условий от 2 до 10, при количестве таблиц в системе более 10 не целесообразно, ввиду слишком высоких затрат времени на моделирование, за исключением систем, содержащих в ТС только простые условия. В таком случае становится доступным моделирование систем, содержащих до 30 ТС. Для системы ТС с таблицами, содержащими от 2 до 6 условий возможно при количестве ТС в системе до 100 (что составит от 20 до 130 часов машинного времени).

Для оптимизации процесса моделирования, путём снижения времени моделирования, имеет смысл распараллеливать процесс между несколькими клиентами. Так как каждый прогон модели независим, во избежании конфликта при записи информации в банк данных, необходимо и достаточно создать копии БД для каждого параллельного процесса (в терминах обращения БД - клиента). Это увеличит объём базы данных. Проведём расчеты для исследования целесообразности такого моделирования. Пусть параллельно работают 30 клиентов, справедливо предположение, что размер БД при этом значительно увеличится и составит ~ 200% оперативной памяти.

Получим время выполнения транзакции «read-only» и «read-write» для БД размером до 32Гб при конфигурации оборудования HP DL380 G5 (2x Xeon E5450 3Ghz, 16GB DDR2 RAM), Intel S3700 100GB SSD, СУБД PostgreSQL 9.4 для 30 клиентов:

read-only  $\approx 9000$  транзакций в секунду;

$t_{ro} \approx 0,00011$  (сек);

read-write  $\approx 2200$  транзакций в секунду

$t_{rw} \approx 0,00045$  (сек);

Результаты представлены на рисунках 5 и 6.

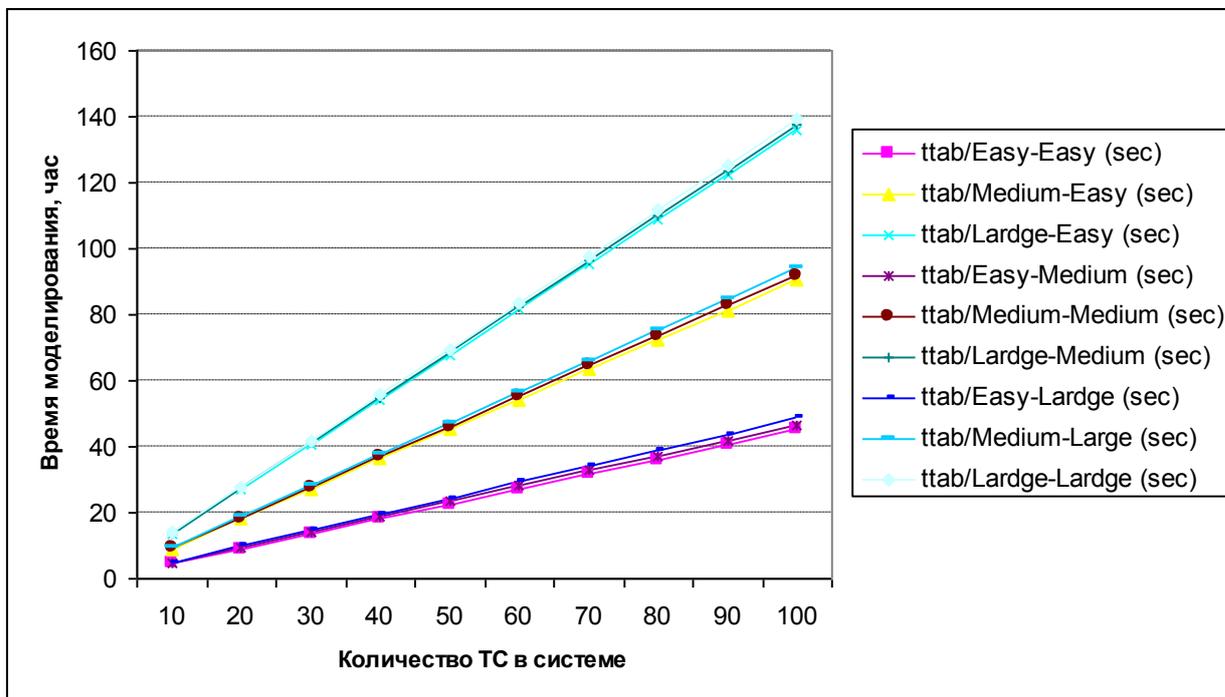


Рис.5 – Зависимость времени моделирования системы ТС с таблицами, содержащими от 2 до 10 условий (моделирование 30 клиентами БД)

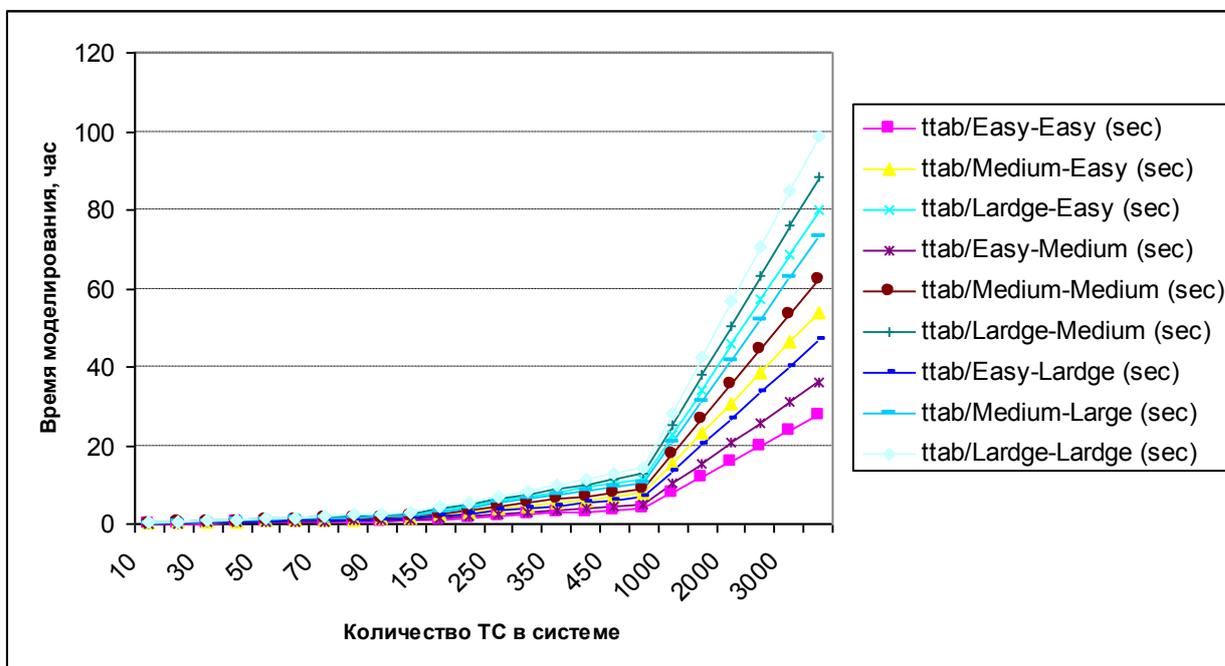


Рис.6 – Зависимость времени моделирования системы ТС с таблицами, содержащими от 2 до 6 условий (моделирование 30 клиентами БД)

На основании полученных результатов (30 клиентов) можно сделать вывод, что моделирование системы ТС, включающей таблицы событий с количеством условий от 2 до 10, при количестве таблиц в системе до 100 становится достижимым. Для системы ТС с таблицами, содержащими от 2 до 6 условий, при количестве событий в системе до 100 составит до 3 часов машинного времени. При количестве событий в системе до 3000 составит до 100 часов машинного времени.

При моделировании реальной системы нужно учитывать, что при прогоне модели, не все ТС будут задействованы в моделировании. Следовательно, для получения необходимой достоверности моделирование нужно продолжать пока каждая ТС не будет задействована необходимое количество раз.

Полученные в результате исследования данных могут быть использованы при анализе возможности моделирования реальных систем. В том числе и оценки целесообразности подготовки и проведения автоматизированного машинного моделирования.

#### Литература

1. Кулешова О.Н. Разработка методов спецификации информационных моделей средствами языка таблиц событий // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. № 4/2(58). С. 28–31.
2. Боев В. Д., Сыпченко Р. П. Компьютерное моделирование. Лекция 5. Планирование экспериментов. [Электронный ресурс] // НОУ «ИНТУИТ». – URL: <http://www.intuit.ru/studies/courses/643/499/lecture/11357> (дата обращения 18.03.2016).
3. Володин И.Н. Лекции по теории вероятностей и математической статистике. – Казань: Издательство Казанского государственного университета, 2006. – 271с.
4. The PostgreSQL Global Development Group: сайт. – URL: <https://www.postgresql.org/> (дата обращения 08.04.2016).
5. Tomas Vondra. Performance since PostgreSQL 7.4 / pgbench. [Электронный ресурс] // PostgreSQL Addict: сайт – <http://blog.pgaddict.com/posts/performance-since-postgresql-7-4-to-9-4-pgbench> (дата обращения 09.04.2016).

#### References

1. Kuleshova O.N. Razrabotka metodov specifikacii informacionnyh modelej sredstvami jazyka tablic sobytij // Vostochno-Evropskij zhurnal peredovyh tehnologij. [Development of methods of information models specification by means of the event tables language // Eastern-European journal of enterprise technologies] – 2012. № 4/2(58). P. 28–31.
2. Boev V. D., Sypchenko R. P. Komp'yuternoe modelirovanie. Lekcija 5. Planirovanie jeksperimentov. [Elektronnyj resurs] // NOU «INTUIT». [Boev V. D., Sypchenko R. P. Computer Modelling. Lecture 5. Experimental Design. [Electronic resource] // NOU «INTUIT».] – URL: <http://www.intuit.ru/studies/courses/643/499/lecture/11357> (date of the application 18.03.2016).
3. Volodin I.N. Lekcii po teorii verojatnostej i matematicheskoj statistike. – Kazan': Izdatel'stvo Kazanskogo gosudarstvennogo universiteta [Volodin I.N. Lectures on the theory of probability and mathematical statistics. - Kazan: Publishing House of Kazan State University], 2006. – 271p.
4. The PostgreSQL Global Development Group: site. – URL: <https://www.postgresql.org/> (date of the application 08.04.2016).
5. Tomas Vondra. Performance since PostgreSQL 7.4 / pgbench. [Electronic resource] // PostgreSQL Addict: site – <http://blog.pgaddict.com/posts/performance-since-postgresql-7-4-to-9-4-pgbench> (date of the application 09.04.2016).

«Международный научно-исследовательский журнал» включен в систему **OpenAIRE**.

**OpenAIRE** — европейская поисковая система по академическим материалам открытого доступа. Один из главнейших репозиториев научной информации в Европейском Союзе. Данная база позволяет увеличить цитируемость Ваших материалов в Европе.



DOI: 10.18454/IRJ.2016.51.112

Лаврентьев А.Ю.<sup>1</sup>, Сурсимов Е.А.<sup>2</sup><sup>1</sup>Кандидат технических наук, доцент,<sup>2</sup>студент, Тверской государственной технической университет**ПРИМЕНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ДЛЯ ЧИСТОВОЙ ОБРАБОТКИ ШТАМПОВОГО ИНСТРУМЕНТА***Аннотация*

*В работе рассмотрен комплекс требований к свойствам поверхностного слоя рабочей части штампа для листовой штамповки. Для штамповых сталей наиболее важны высокая износостойкость, ударная вязкость и прочность. Подготовлен обзор методов упрочнения поверхностным пластическим деформированием матриц и пуансонов. Наиболее эффективным методом следует считать алмазное выглаживание. Сформулированы задачи, решение которых позволит повысить эксплуатационные свойства штампового инструмента. В процессе упрочнения необходимо исключить повреждение кромки инструмента.*

**Ключевые слова:** алмазное выглаживание, штамп, матрица, пуансон, чистовая обработка, упрочнение поверхностным пластическим деформированием, наплавленный металл, быстрорежущая сталь.

Lavrentev A.Y.<sup>1</sup>, Sursimov E.A.<sup>2</sup><sup>1</sup>PhD in Engineering, associate Professor,<sup>2</sup>student, Tver state technical University**THE APPLICATION OF SURFACE PLASTIC DEFORMATION FOR FINISHING PUNCHING TOOLS***Abstract*

*The paper discusses a set of requirements to the properties of the surface layer of the working part of the die for sheet metal forming. Die steel the most important high wear resistance, toughness and strength. Prepared a review of the methods of surface plastic deformation of matrices and punches. The most effective should be considered diamond smoothing. Formulated tasks solution of which will improve the performance properties of the die tool. In the process of hardening it is necessary to exclude damage to the edge of the tool.*

**Keywords:** diamond smoothing, stamp, matrix, punch, finishing, hardening by surface plastic deformation, weld metal, high speed steel.

**Ш**тамповый инструмент широко распространен в заготовительном производстве на машиностроительных предприятиях. При изготовлении деталей из листовых заготовок выполняют разделительные и формообразующие операции. В современном производстве существенную часть разделительной штамповки заменили комплексы лазерной и плазменной резки. Новые технологии обеспечивают высокое качество заготовок, быструю переналаживаемость производства, высокую универсальность. Однако, в массовом и крупносерийном производстве разделительная штамповка целесообразна по причине высокой производительности и хорошего качества кромки детали. Технология разделительной штамповки может получить дальнейшее развитие только в случае изготовления штампового инструмента обеспечивающего высокую производительность и надежность работы. В работе Караваевой Д.Н. и Пучкова В.П. [1] установлены основные причины выхода из строя штампов, а именно: выкрашивание режущей кромки, смятие режущей кромки, износ по задней поверхности, объемное разрушение пуансонов.

Для обеспечения высокой работоспособности материал матриц и пуансонов должен обладать определенным комплексом механических свойств. Высокая износостойкость может быть обеспечена за счет высокой твердости поверхности инструмента. Сопротивление ударным воздействиям может быть получено за счет применения материала с высокой ударной вязкостью. Важны также выносливость, прочность, жесткость инструмента, а также стабильность его размеров. Для обеспечения необходимых свойств штамповые стали подвергают комплексному термомеханическому воздействию, выполняют отжиг, ковку, закалку, отпуск. Однако, получить инструмент с высоким комплексом свойств во всем объеме материала затруднительно. Наиболее целесообразно изготавливать инструмент составной конструкции или повышать твердость и износостойкость поверхностного слоя за счет различных способов поверхностного упрочнения.

Упрочнение поверхностным пластическим деформированием (ППД) позволяет существенно улучшить свойства поверхностного слоя, обеспечить не только высокую твердость, но и получить низкую шероховатость, а также оптимизировать структурно-фазовое состояние материала. В последнее время опубликовано несколько работ по результатам исследований в области упрочнения штампового инструмента методами ППД.

*Цель представленной работы:* определить направление исследований по повышению эксплуатационных характеристик штампового инструмента на основе обзора опубликованных материалов по технологии упрочнения штамповых сталей ППД.

Опыт эксплуатации инструментов для холодной обработки давлением показывает, что одной из основных причин выхода инструмента из строя является изнашивание матрицы и пуансона [2, 3].

Повышение твердости и износостойкости поверхностного слоя возможно за счет упрочнения ППД при учете ряда требований к методу обработки:

1. Требуется упрочнять стали, обладающие высокой твердостью, которые содержат твердые включения.
2. Необходимо обеспечить шероховатость не более 0,63 мкм.
3. Исключить поломки режущих кромок в процессе упрочнения.
4. Радиус скругления режущих кромок  $r$  должен соответствовать 30...40 мкм [4].

В литературе описано большое количество методов упрочнения ППД. Наиболее полно и системно методы упрочнения ППД рассмотрены в справочнике под редакцией Одинцова Л.Г. [5]. С учетом приведенных выше требований наиболее эффективно применять алмазное выглаживание и гидродробеструйную обработку закаленными шариками.

В монографии Петросова В.В. [6] представлены результаты исследований применения гидроабразивной обработки для упрочнения режущего инструмента. Показана возможность упрочнения зуборезного модульного инструмента и сверл из быстрорежущей стали, обеспечивающая повышение стойкости. Микротвердость поверхности повышается на 30...35%, глубина упрочненного слоя 230 мкм. В поверхностном слое создаются остаточные напряжения сжатия, что оказывает благоприятный эффект на стойкость режущего инструмента. Обработку выполняли шариками из шарикоподшипниковой стали с трансформаторным маслом.

В работе Караваевой Д.Н. и Пучкова В.П. [1] приводятся данные о снижении износа пуансонов после выглаживания в 2...3 раза по сравнению со шлифованными пуансонами. В работе Разумова М.С. [7] приводятся результаты исследований влияния алмазного выглаживания на структуру и свойства наплавленной быстрорежущей стали Р2М8 после газолазерной резки. Установлена возможность снижения шероховатости поверхности стали в 3...4 раза, что по мнению авторов позволяет получать рабочую поверхность инструмента газолазерной резкой без шлифования. Микротвердость поверхности увеличивается с 800 до 960 HV.

В работе Двойнева А.П. [8] показаны результаты исследований влияния алмазного выглаживания на стойкость круглых резцов из быстрорежущей стали. Микротвердость поверхности удалось увеличить на 40...60%. Этот эффект авторы объясняют получением текстуры с высокой плотностью дислокаций, а также за счет распада остаточного аустенита с образованием мартенсита деформации. Остаточные напряжения обеспечивают повышение износостойкости. Шероховатость поверхности снижается с 0,32 мкм до 0,1 мкм.

В диссертационной работе [9] выполнены исследования по упрочнению выглаживанием наплавленной быстрорежущей стали. Показана возможность получения наплавленного металла в закаленном состоянии без образования трещин за счет высокого содержания остаточного аустенита в структуре. Однако, такая структура не обеспечивает достаточной твердости инструмента. Для снижения остаточного аустенита применили выглаживание. В результате удалось снизить шероховатость поверхности, а также существенно увеличить твердость поверхностного слоя. В конечном итоге разработанная технология позволила сократить процесс производства за счет замены трех кратного отпуска двух кратным. Удалось повысить микротвердость поверхности до 1200 HV<sub>0,2</sub>.

В монографии Шнейдера Ю.Г. [10] рассмотрены различные способы получения регулярного рельефа поверхности и их влияние на эксплуатационные свойства деталей различного назначения. Показана возможность улучшения различных характеристик изделий за счет оптимизации микрорельефа. К сожалению в работе отсутствуют рекомендации для штампового инструмента.

#### **ВЫВОДЫ**

На основании анализа печатных работ можно рекомендовать упрочнение ППД для повышения стойкости штампового инструмента.

1. Алмазное выглаживание позволяет увеличить твердость поверхности матриц и пуансонов более 960 HV.
2. Шероховатость поверхности инструмента снижается до Ra 0,1 мкм.
3. Глубина упрочненного слоя составляет 200...250 мкм.

4. Упрочнение быстрорежущих сталей достигается за счет перевода остаточного аустенита в мартенсит деформации.

5. Создаются остаточные сжимающие напряжения в поверхностном слое.

Дальнейшее совершенствование упрочнения ППД штампового инструмента целесообразно вести в следующих направлениях:

1. Для исключения поломок целесообразно заменить материал выглаживателя, а именно вместо алмаза использовать другие сверхтвердые материалы, обладающие большей прочностью. Возможность разрушения хрупкого алмазного выглаживателя, особенно при прерывистом выглаживании. Сколы инструмента возникают также в случае наличия пор в наплавленном металле.

2. При разработке производственного процесса изготовления штампового инструмента особое внимание следует уделить технологическим приемам по исключению повреждения кромок. При обработке задней поверхности инструмента вблизи режущей кромки возможно ее скалывание. Жесткие требования по величине радиуса скругления режущей кромки, также усложняют применение гидродробеструйной обработки.

3. Оптимизация микрорельефа поверхности позволит дополнительно повысить стойкость штампов. Это возможно, в частности, за счет лучшего удержания технологической среды на поверхности инструмента.

#### **Литература**

1. Караваева Д.Н. Повышение стойкости рабочих элементов разделительных штампов / Д.Н. Караваева, В.П. Пучков / Технические науки - от теории к практике. 2012. № 10. С. 53-65.
2. Скворцов Г.Д. Основы конструирования штампов для холодной листовой штамповки / Г.Д. Скворцов М.: Машиностроение, 1974. 321 с.
3. Попов Е.А. Технология и автоматизация листовой штамповки: Учебник для вузов / Е.А. Попов, В.Г. Ковалев, И.Н. Шубин. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. 480 с.
4. Бурькин В.В. Технологические методы повышения долговечности штамповой оснастки / В.В. Бурькин / Процессы механической обработки в машиностроении. 2009. № 7. С. 26—36.
5. Одинцов, Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием. Справочник / Л.Г. Одинцов. М.: Машиностроение, 1987. 328 с.
6. Петросов В. В. Гидродробеструйное упрочнение деталей и инструмента / В.В. Петросов. М.: Машиностроение, 1977. 166 с.
7. Разумов М.С. Влияние алмазного выглаживания на структуру и свойства наплавленного металла в зоне лазерного воздействия / М.С. Разумов, Н.С. Зубков, Л.Е. Афанасьева / Металловедение и термическая обработка металлов 2009. № 12. С 40-43.

8. Двойнев А.Г. Совершенствование отделочно-упрочняющей обработки рабочих поверхностей алмазным выглаживанием / А.Г. Двойнев, Ф.Я. Барац, С.Г. Александров / Автоматизация и современные технологии. 2007. №4. С. 36-39.

9. Лаврентьев А.Ю. Разработка технологии наплавки металлорежущего инструмента повышенной производительности с применением упрочнения наплавленного металла поверхностным пластическим деформированием / Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Тверской государственный технический университет. Санкт-Петербург, 2000.

10. Шнейдер Ю.Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом / Ю.Г. Шнейдер. 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. 1982. 247 с.

#### References

1. Karavaeva D. N. Povyshenie stojkosti rabochih jelementov razdelitel'nyh shtampov [Increasing resistance of working elements of separating stamps] / D. N. Karavayeva, V. P. Puchkov / Tehnicheskie nauki - ot teorii k praktike [Technical science - from theory to practice]. 2012. #10. P. 53-65. [in Russian].

2. Skvortsov G. D. Osnovy konstruirovaniya shtampov dlja holodnoj listovoj shtampovki [Basics design of dies for cold sheet metal forming] / G. D. Skvortsov, Moscow: Mashinostroenie, 1974. [in Russian].

3. Popov E. A. Tehnologija i avtomatizacija listovoj shtampovki: Uchebnik dlja vuzov [Technology and automation of sheet metal forming: Textbook for universities] / E. A. Popov, V. G. Kovalev, I. N. Shubin. M.: Izd-vo MGTU im. N. Uh. After Bauman, 2000. 480 p. [in Russian].

4. Burykin V. V. Tehnologicheskie metody povyshenija dolgovechnosti shtampovoj osnastki [Technological methods of increase of durability of die tooling] / Vladimir Burykin / Processy mehanicheskoy obrabotki v mashinostroenii [Machining Processes in mechanical engineering]. 2009. №7. P. 26-36. [in Russian].

5. Odintsov L. G. Uprochnenie i otdelka detalej poverhnostnym plasticheskim deformirovaniem. Spravochnik [Hardening and finishing details by surface plastic deformation. Handbook] / L. G. Odintsov. M.: Mashinostroenie, 1987. 328 p. [in Russian].

6. Petrosov V. V. Hydrotubation the hardening of parts and tools / V. V. Petrosov. M.: Mashinostroenie, 1977. 166 p. [In Russian].

7. Razumov M. S. Vlijanie almaznogo vyglazhivaniya na strukturu i svojstva naplavlennogo metalla v zone lazernogo vozdejstvija [Effect of diamond burnishing on structure and properties of the deposited metal in the zone of laser impact] / M. S. Razumov, N. With. Zubkov, L. E. Afanas'eva / Metallovedenie i termicheskaja obrabotka metallov [Metallography and heat treatment of metals] 2009. #12. P. 40-43. [in Russian].

8. Daynew A. G. Sovershenstvovanie otdelочно-uprochnjajushhej obrabotki rabochih poverhnostej almaznym vyglazhivaniem [Improvement of finishing-strengthening machining of the working surfaces of the diamond smoothing]. / A. G. Dounev, F. J. Baratz, C. G. Aleksandrov / Avtomatizacija i sovremennye tehnologii [Automation and modern technology]. 2007. #4. P. 36-39. [In Russian].

9. Lavrent'ev, A. Yu. Razrabotka tehnologii naplavki metallovezhushhego instrumenta povyshennoj proizvoditel'nosti s primeneniem uprochnenija naplavlennogo metalla poverhnostnym plasticheskim deformirovaniem [Development of technology of welding of cutting tools increased productivity with the use of hardening of the deposited metal surface plastic deformation] / Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehniceskikh nauk [Dissertation on competition of a scientific degree of candidate of technical Sciences] Tver state technical University. Saint-Petersburg, 2000. [in Russian].

10. Schneider Y.G. Jekspluatacionnye svojstva detalej s reguljarnym mikrorel'efom [Operational details properties with regular microrelief] / Y. G. Schneider. 2, Rev. and extra – L.: Mashinostroenie. 1982. 247 p. [in Russian].



«Международный научно-исследовательский журнал» включен в базу данных *WorldCat*.

*WorldCat* — крупнейшая в мире библиографическая база данных, насчитывающая свыше 240 млн записей о всех видах произведений на 470 языках мира. База создается совместными усилиями более чем 72 тыс. библиотек из 170 стран мира в рамках организации OCLC.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.51.102

Максимов П.В.<sup>1</sup>, Фетисов К.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Кандидат технических наук, доцент, <sup>2</sup>магистрант,

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (договор №02. G25.31.0168 от 01.12.2015 г. в составе мероприятия по реализации постановления Правительства РФ № 218)

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ ДОРАБОТКИ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ МОДЕЛИ ПОСЛЕ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

**Аннотация**

Оптимальное проектирование – одно из развивающихся направлений в современной промышленности. Благодаря топологической оптимизации стало возможным получение изделий, легче и при этом прочнее, ранее спроектированных. При всех достоинствах данной методики, она имеет недостаток – негладкость и пилообразность поверхностей, аппроксимированных конечно-элементной сеткой. Данная статья направлена на изучение различных способов доработки геометрии после проведения процедуры топологической оптимизации. Были рассмотрены следующие способы: построение в системах автоматизированного проектирования, использование PolyNURBS сплайнов, а также обработка и сглаживание начальной поверхности. Каждый способ сопровождается примером и описанием его достоинств и недостатков.

**Ключевые слова:** метод конечных элементов, топологическая оптимизация, системы автоматизированного проектирования, оптимальное проектирование.

Maksimov P.V.<sup>1</sup>, Fetisov K.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PhD in Engineering, associate professor, <sup>2</sup>Undergraduate,

Perm National Research Polytechnic University

## THE ANALYSIS OF METHODS OF REFINEMENT OF THE FINITE ELEMENT MODEL AFTER TOPOLOGY OPTIMIZATION

**Abstract**

The Optimal design – one of the emerging trends in the modern industry. Due the topology optimization was possible to obtain products with lighter and stronger than previously designed. With all the advantages of this method, it has the disadvantage of data processing in the form of a set of faces of the finite element mesh. This article is aimed at exploring the different ways to improve surfaces after a topological optimization based on geometry. The following methods were considered: construction in computer-aided design systems, the use of PolyNURBS splines, as well as processing and smoothing of the initial surface. Each method is accompanied by an example and description of its advantages and disadvantages.

**Keywords:** finite element method, topology optimization, computer-aided design, optimal design.

К изделиям современной промышленности предъявляется множество требований, основными из которых являются обеспечение прочности при различных режимах нагрузки, а также минимально возможная масса. При проектировании таких изделий следует использовать структурную оптимизацию (поиск оптимальной геометрии при заданных условиях запаса прочности, ограничениях по массе и т.д.), которая в свою очередь подразделяется на следующие категории: оптимизация параметров (изменяются геометрические размеры, свойства материалов и пр.), оптимизация формы (изменение формы с сохранением первоначальной топологии) и топологическая оптимизация (ТО), которая является самой универсальной из представленных. Топологическая оптимизация позволяет определить оптимальное распределение материала в расчетной области с учетом заданных краевых условий.

Математическая постановка задачи топологической оптимизации, а также методы ее решения и программные алгоритмы описаны в работах [1-3]. Для определения напряженно-деформированного состояния в конструкции при решении задачи топологической оптимизации часто применяют метод конечных элементов, что приводит к определенным трудностям при использовании результатов проведенной оптимизации. В результате ТО получается область с оптимальным распределением плотности материала, исследователь самостоятельно задает параметр, на основании которого генерируется итоговая форма изделия, при этом происходит отбрасывание тех областей, в которых заданный параметр принимает меньшие значения. При такой процедуре поверхность вновь полученной формы изделия становится пилообразной, так как построение новой формы происходит на той же самой конечно-элементной сетке, с применением которой осуществлялась оптимизация; появляются дефекты вроде острых стыков, соединения двух граней в одном узле и т.д.

Цель данной работы состоит в анализе методов доработки конечно-элементной модели после проведения процедуры топологической оптимизации и изучении способов получения качественной геометрии на основе этих методов. Для реализации топологической оптимизации использовался известный расчетный конечно-элементный пакет SolidThinking Inspire, основанный на SIMP-методе ТО [3]. Данное программное обеспечение имеет простой и понятный интерфейс: для выполнения процедуры топологической оптимизации необходимо разделить геометрию на неизменяемую часть, к которой будут прикладываться граничные условия и нагрузки, и изменяемую часть, которая и будет оптимизироваться в процессе расчета. Для создания геометрии предусмотрен встроенный инструментарий, также возможен импорт нейтральных 3D-форматов, таких как \*.iges, \*.step и других.

Рассмотрим следующие способы получения оптимальной геометрии: построение геометрии в системах автоматизированного проектирования (САПР) на основе \*.stl поверхности конечно-элементной сетки, построение при помощи PolyNURBS сплайнов в SolidThinking Inspire, обработка и сглаживание \*.stl файла.

Первый способ – построение геометрии в САПР, является простым в понимании, но трудным в исполнении. Для его реализации необходимо сперва импортировать в САПР \*.stl геометрию, после чего на основе примитивов и

инструментов построения создать новую трехмерную CAD-модель. Трудоемкость построения зависит от вида начальной \*.stl поверхности, например, если она неизменна вдоль какой-то оси (т.е. оптимизация проходила в двумерной постановке), то построение не должно вызывать трудностей, необходимо создать один эскиз, который будет повторять вид оптимальной геометрии, для этого можно использовать как стандартные инструменты вроде линий и окружностей, так и сплайны для описания сложных контуров. В случае если у \*.stl поверхности нет каких-либо характерных особенностей, упрощающих построение CAD-модели, то трудности неизбежны в связи с повторением сложной поверхности при помощи инструментов САПР. Здесь возможны два варианта: игнорировать некоторые особенности поверхности и повторить её при помощи простых инструментов вытягивания с дальнейшим нанесением скруглений на острых кромках и гранях, или же учесть сложный профиль поверхности при помощи использования кинематических операций (протягивание сечения вдоль пути). Первый вариант простой, но не учитывает некоторые особенности, которые могут быть важными, второй вариант требует высокой квалификации конструктора и приводит к значительным временным затратам на перестроение CAD-модели конструкции. Выбор варианта зависит от времени, выделенного на проектирование изделия, и способа производства. На рис.1 представлено поэтапное построение геометрии на основе \*.stl поверхности.

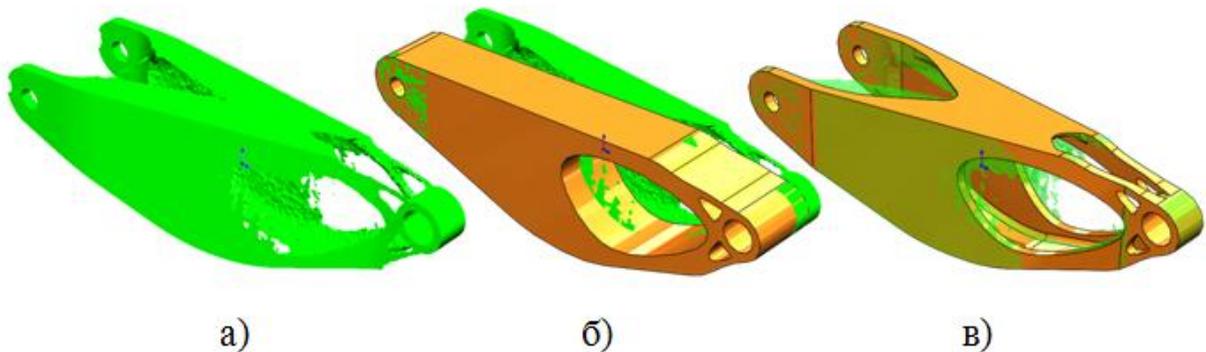


Рис.1 – Этапы построения геометрии: импорт \*.stl в САПР (а), создание формообразующей бобышки (б), завершение построения (в)

Второй способ – использование PolyNURBS сплайнов, доступных в SolidThinking Inspire. Геометрия строится на основе сечений конечно-элементной сетки, которые затем образуют блоки, после чего, их можно соединить между собой. Преимущество заключается в том, что построение сечения происходит автоматически, а соединение блоков получается плавным (условие одинаковой кривизны).

Недостаток подхода заключается в том, что в этом случае отсутствует возможность выставить какие-либо размеры и параметризовать модель, как это делается в САПР. На рис.2 представлено поэтапное построение при помощи PolyNURBS сплайнов.

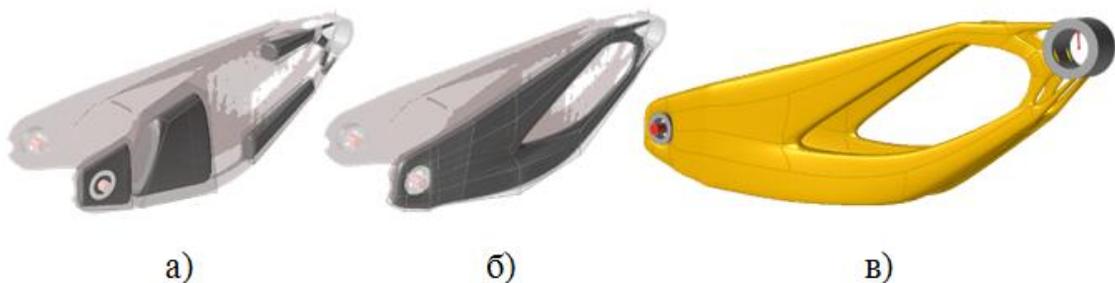


Рис. 2 – Этапы построения геометрии на основе PolyNURBS сплайнов: создание формообразующих блоков (а), построение симметричной части (б), симметрия и соединение блоков и завершение построения (в)

Для представленной на рис.2 модели применение PolyNURBS сплайнов дало хорошие результаты, однако для конструкции более сложной формы использование NURBS-сплайнов оказалось трудоемким процессом из-за неявного направления вытяжки сплайнов и необходимости создания сложных стыков. Геометрия изделия, для которой использование NURBS-сплайнов не дало качественных результатов показана на рис.3. В последствии, NURBS-геометрия была импортирована в ПО SolidWorks, где была выполнена доработка CAD-модели.

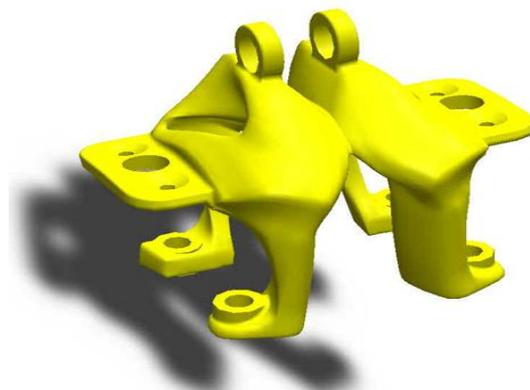


Рис. 3 – Обработка PolyNURBS геометрии в SolidWorks

Третий способ заключается в обработке и сглаживании \*.stl геометрии. В работе для этого использовалось специализированное программное обеспечение для работы с сеточными файлами MeshLab. Геометрия получается на основе \*.stl модели с предварительной обработкой (удаление граней, не принадлежащих основной поверхности, перемещение вершин и т.д.) и сглаживанием (избавление от острых стыков и неровностей). Это достаточно сложный процесс в связи с тем, что существует большое количество алгоритмов сглаживания, которые можно комбинировать, поэтому выбор подходящих алгоритмов не очевиден, в результате чего приходится их перебирать без заранее гарантированного положительного результата. Различные варианты сглаживания представлены на рис.4. Помимо этого, следующая трудность состоит в получении на основе поверхностного \*.stl файла твердотельной геометрии. Таким образом, данный способ является самым трудоемким из-за подбора алгоритмов сглаживания и использования дополнительного программного обеспечения.

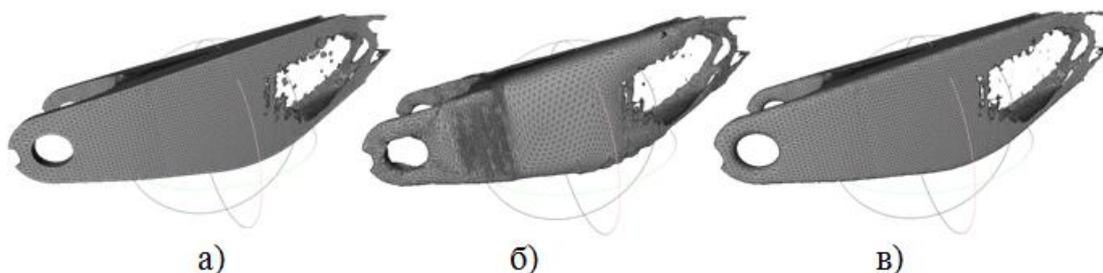


Рис. 4 – Поверхность без сглаживания (а), результат алгоритма Taubin Smooth (б), результат алгоритма Subdivision Surface Loop (в)

В представленной работе были проанализированы различные способы создания геометрии изделия после выполнения процедуры топологической оптимизации, рассмотрены примеры их использования, а также выделены их преимущества и недостатки. Если оптимизированная конструкция неизменна вдоль какой-то оси, то доработка геометрической модели может осуществляться вручную с использованием стандартных встроенных инструментов CAD-систем. Для рассматриваемого в работе изделия хорошо подошел способ сглаживания поверхностей при помощи NURBS-сплайнов. В любом случае, после процедуры топологической оптимизации и выполнения операций по сглаживанию поверхностей CAD-модели необходимо выполнять проверочные прочностные и иные расчеты, так как в процессе доработки сама CAD-модель изменяется, а итоговая форма изделия (конструкции) перестает соответствовать в деталях форме, полученной в процессе топологической оптимизации.

#### Литература / References

1. Bendsøe M. P. Optimization of Structural Topology, Shape, and Material. – Springer. 1995. p. 267.
2. Huang X., Xie Y.M. Evolutionary Topology Optimization of Continuum Structures: Methods and Applications. – Wiley. 2010. p. 237.
3. Bendsøe M. P., Sigmund O. Topology Optimization: Theory, Methods and Applications. – Springer. 2003. p. 393.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.51.081

Мартынова Т.Г.<sup>1</sup>, Подгорный Ю.И.<sup>2</sup>, Скиба В.Ю.<sup>3</sup>, Захарченко И.С.<sup>4</sup>, Скиба П.Ю.<sup>5</sup><sup>1</sup>Кандидат технических наук, <sup>2</sup>доктор технических наук, профессор,<sup>3</sup>ORCID: 0000-0002-8242-2295, кандидат технических наук, доцент, <sup>4</sup>студент, <sup>5</sup>студент

Новосибирский государственный технический университет

**ИССЛЕДОВАНИЕ НЕУСТАНОВИВШЕГОСЯ ДВИЖЕНИЯ ДВУХВАЛЬНОГО СМЕСИТЕЛЯ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ****Аннотация**

В работе представлено исследование неустановившегося движения двухвального смесителя для замеса макаронного теста. Было получено общее уравнение движения, определены приведенный момент инерции масс и приведенный момент статических сопротивлений к валу электродвигателя, построена механическая характеристика электродвигателя смесителя. В результате проведенных исследований рассчитано время неустановившегося движения двухвального смесителя в зависимости от времени простоя агрегата. Доказано, что в случае простоя двухвального смесителя более двенадцати часов мощности электродвигателя будет недостаточно для возобновления замеса макаронного теста.

**Ключевые слова:** неустановившееся движение, смеситель, уравнение движения, механическая характеристика электродвигателя.

Martynova T.G.<sup>1</sup>, Podgornyj Yu.I.<sup>2</sup>, Skeebe V.Yu.<sup>3</sup>, Zakharchenko I. S.<sup>4</sup>, Skeebe P.Yu.<sup>5</sup><sup>1</sup>PhD in Engineering, <sup>2</sup> PhD in Engineering, Professor,<sup>3</sup>ORCID: 0000-0002-8242-2295, PhD in Engineering, Associate Professor, <sup>4</sup>student, <sup>5</sup>student,

Novosibirsk State Technical University

**THE TRANSIENT MOTION ANALYSIS OF THE DOUBLE-SHAFT CONTINUOUS MIXER****Abstract**

The paper presents the study of transient motion of the double-shaft mixer for kneading pasta. We have obtained the general equation of motion, determined the equivalent moment of inertia and the equivalent moment of the static resistance to the motor shaft and formed the mechanical characteristics of the mixer motor. In the course of the research we calculated the time of the transient motion of the double-shaft mixer depending on the machine downtime. It has been proved that in the case of the double-shaft mixer idle time for more than twelve hours the motor power is not enough for the resumption of the kneading pasta.

**Keywords:** transient motion, mixer, the equation of motion, the mechanical characteristics of the motor.

**Введение**

В работе каждой машины, в том числе и смесителя, различают три периода: период разбега машины до установившегося движения, период установившегося движения, когда совершается полезная работа и период выбега.

Время разбега смесителя будет зависеть от времени простоя, так как смесь в рабочей камере при отсутствии перемешивания уплотняется. В связи с этим и нагрузка на электродвигатель будет увеличиваться. Для снижения пусковых моментов применяется ручной труд, что приводит к потере некоторого количества сырья и затратам рабочего времени [1 - 5].

Цель данной работы – исследование времени разбега машины при различных режимах нагружения на примере двухвального смесителя непрерывного действия для замеса макаронного теста.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Вывод общего уравнения движения двухвального смесителя в период разбега;
2. Определение приведенного момента инерции масс к валу электродвигателя;
3. Определение приведенного момента статических сопротивлений к валу электродвигателя;
4. Построение механической характеристики электродвигателя двухвального смесителя;
5. Расчет времени неустановившегося движения двухвального смесителя;

**Постановка задачи**

Для динамического расчета привода в процессе разбега смесителя воспользуемся уравнением Лагранжа второго рода:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} = Q_i, \quad (1)$$

где  $T$  – кинетическая энергия движущейся системы при разбеге двойной мешалки, зависящая от масс звеньев и их скоростей;  $\Pi$  – потенциальная энергия системы;  $q_i$  – обобщенная координата;  $\dot{q}_i$  – обобщенная скорость;  $Q_i$  – соответствующая обобщенной координате обобщенная сила.

Учитывая, что  $\frac{\partial \Pi}{\partial q_i} = 0$ , уравнение Лагранжа (1) примет вид:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} = Q_i, \quad (2)$$

В качестве обобщенной координаты был принят независимый параметр, определяющий положение механизма – угол поворота рабочего вала. В этом случае:

$$q_i = \alpha; \quad \dot{q}_i = \omega; \quad T = \theta' \frac{\omega^2}{2}; \quad Q_i = M.$$

Уравнение Лагранжа примет следующий вид:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial}{\partial \omega} \theta' \frac{\omega^2}{2} \right) - \frac{\partial}{\partial \alpha} \theta' \frac{\omega^2}{2} = M, \quad (3)$$

Заменяя производные в уравнении (3) их значениями, получаем

$$\theta' \frac{d\omega}{dt} + \frac{1}{2} \cdot \frac{d\theta'}{d\alpha} \omega^2 = M \quad (4)$$

С другой стороны, избыточный момент

$$M_{изб} = M_d - (M'_c), \quad (5)$$

где  $M_d$  - момент, развиваемый электродвигателем;  $M'_c$  - приведенный момент статических сопротивлений рабочих валов и элементов, с ним связанных;  $M_{изб}$  - ускоряющий момент, уравновешиваемый приведенными силами инерции, выраженный в уравнении (4) через  $M$ .

Тогда общее дифференциальное уравнение движения двухвального смесителя будет иметь следующий вид:

$$M_{изб} = M_d - M'_c = \theta' \frac{d\omega}{dt} + \frac{1}{2} \cdot \frac{d\theta'}{d\alpha} \omega^2 \quad (6)$$

Так как момент инерции приведенных масс смесителя ( $\theta'$ ) не изменяется вследствие постоянства передаточного отношения, следовательно, второй член уравнения (6) становится равным нулю, и само уравнение примет вид

$$M_{изб} = M_d - M'_c = \theta' \frac{d\omega}{dt} \quad (7)$$

Значения моментов инерции составляющих элементов двухвального смесителя были получены в системе трехмерного твердотельного моделирования КОМПАС-3D.

Приведенный момент инерции определен в соответствии с [6] по формуле:

$$\theta' = \sum_{i=1}^n \left[ m_i \left( \frac{v_{si}}{\omega} \right)^2 + I_{si} \left( \frac{\omega_i}{\omega} \right)^2 \right], \quad (8)$$

где  $m_i$  - масса  $i$ -того звена;  $v_{si}$  - модуль скорости центра масс  $i$ -того звена;  $\omega$  - модуль угловой скорости звена приведения, совпадающей с угловой скоростью начального звена;  $I_{si}$  - момент инерции  $i$ -того звена относительно оси, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости движения;  $\omega_i$  - модуль угловой скорости  $i$ -того звена.

В связи с тем, что все тела исследуемого агрегата выполняют вращательное движение, то формула 8 упрощается

$$\theta' = \sum_{i=1}^n I_i \left( \frac{\omega_i}{\omega} \right)^2, \quad (9)$$

Приведенный момент инерции к валу электродвигателя составил 0,129 кг·м<sup>2</sup>.

Расчетные параметры, необходимые для определения приведенного момента статических сопротивлений к валу электродвигателя были определены в соответствии с известным выражением мощности, необходимой для вращения рабочего органа при замесе теста [7]:

$$N = \left[ \frac{(P_o \cdot v_o + P_p \cdot v_p)}{1000 \cdot \eta} \right] \cdot m, \quad (10)$$

где  $m$  - количество лопаток на валах смесителя;  $\eta$  - КПД привода.

$$P_o = F \cdot \left[ g \cdot R \cdot \rho \cdot tg^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\gamma}{2} \right) + 2 \cdot c \cdot tg \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\gamma}{2} \right) \right] \cdot (\cos \alpha + \mu \cdot \sin \alpha);$$

$$P_p = F \cdot \left[ g \cdot R \cdot \rho \cdot tg^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\gamma}{2} \right) + 2 \cdot c \cdot tg \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\gamma}{2} \right) \right] \cdot (\sin \alpha - \mu \cdot \cos \alpha),$$

где  $F$  - площадь рабочей поверхности лопатки, погруженной в тесто;  $g$  - ускорение свободного падения;  $R$  - радиус вращения центра плоскости лопатки;  $\rho$  - насыпная плотность теста в рабочей камере;  $\gamma$  - угол внутреннего трения теста;  $c$  - удельное сопротивление перемешиванию теста;  $\alpha$  - угол наклона лопатки относительно радиуса;  $\mu$  - коэффициент трения теста о лопатки;

$$v_o = \omega \cdot R, \quad v_p = \omega \cdot R \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha,$$

где  $\omega$  - угловая скорость лопатки;

Результаты расчетов сведены в таблицу.

Таблица 1 – Расчетные параметры для определения приведенных моментов статических сопротивлений к валу электродвигателя двойной мешалки

№ п/п	Время простоя агрегата $t_s$ , час	Удельное сопротивление перемещиванию $S$ , Па	Насыпная масса $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Угловая скорость $\omega$ , с <sup>-1</sup>	Момент, приведенный к валу двигателя $M'_c$ , Н*м	Потребная мощность $N$ , кВт
1	0	1656	719	146,6	21,8	3,2
2	6	4018	825	136,1	45,4	6,4
3	12	5004	834	136,1	54,1	7,4
4	18	5585	834	130,9	61,6	8,1
5	24	5889	834	130,9	64,4	8,7

Для построения механической характеристики электродвигателя типа МА132МА4В3 двухвального смесителя воспользуемся уравнением [8]

$$\frac{M}{M_K} = \frac{2(1-\varepsilon)}{\frac{S}{S_K} + \frac{S_K}{S} + 2\varepsilon}, \quad (11)$$

где  $M_K$  – критический момент, соответствующий двигательному режиму;  $S_K$  – критическое скольжение, соответствующее двигательному режиму;  $S$  – номинальное скольжение;  $\varepsilon = r/x$ , где  $r$  – активное сопротивление фазы статора;  $x$  – полное реактивное сопротивление статора и ротора электродвигателя.

Следует иметь в виду, что

$$M'_c = f(\alpha) = const \text{ и } \theta' = f(\alpha) = const,$$

Разбив график механической характеристики электродвигателя (рис. 1) на участки и заменив кривую внутри рассматриваемого участка прямой, получаем уравнение прямой между точками  $\omega_1$  и  $\omega_2$  для одного участка может быть написано в виде:

$$\frac{\omega - \omega_i}{\omega_{i+1} - \omega_i} = \frac{M_d - M_{di}}{M_{di+1} - M_{di}} \quad (12)$$

$$M_d = \frac{M_{di+1} - M_{di}}{\omega_{i+1} - \omega_i} \omega - \frac{M_{di+1} - M_{di}}{\omega_{i+1} - \omega_i} \omega_i + M_{di}$$

Подставив значение  $M_d$  в общее уравнение движения (7), определили время, необходимое для разгона электропривода от  $\omega_i$  до  $\omega_{i+1}$ ,

$$-M'_c + \frac{M_{di+1} - M_{di}}{\omega_{i+1} - \omega_i} \omega - \frac{M_{di+1} - M_{di}}{\omega_{i+1} - \omega_i} \omega_i + M_{di} = \theta' \frac{d\omega}{dt}$$

Для упрощения введены следующие замены

$$-M'_c + \frac{M_{di+1} - M_{di}}{\omega_{i+1} - \omega_i} \omega_i + M_{di} = b_{i,(i+1)}; \quad \frac{M_{di+1} - M_{di}}{\omega_{i+1} - \omega_i} = -a_{i,(i+1)}$$

Тогда

$$M_{изб} = \theta' \frac{d\omega}{dt} = b_{i,(i+1)} - a_{i,(i+1)} \omega \quad (13)$$

Уравнение (13) решим относительно переменной  $t$  на участке от  $i$  до  $(i+1)$ :

$$dt = \theta' \frac{d\omega}{b_{i,(i+1)} - a_{i,(i+1)} \omega}$$

Интегрируя полученное уравнение от  $\omega_i$  до  $\omega_{i+1}$ , получим

$$t_{i,(i+1)} = \theta' \int_{\omega_i}^{\omega_{i+1}} \frac{d\omega}{b_{i,(i+1)} - a_{i,(i+1)} \omega} = \theta' \frac{1}{a_{i,(i+1)}} \ln \frac{b_{i,(i+1)} - a_{i,(i+1)} \omega_i}{b_{i,(i+1)} - a_{i,(i+1)} \omega_{i+1}}$$

Учитывая значения величин  $a_{i,(i+1)}$  и  $b_{i,(i+1)}$ , постоянных для каждого из участков, время, потребное для его прохождения, определяется по уравнению

$$t_{i,(i+1)} = \theta' \frac{\omega_i - \omega_{i+1}}{M_{di+1} - M_{di}} \ln \frac{M'_c - M_{di}}{M'_c - M_{di+1}}$$

Полное время разбега при нормальных условиях работы (удельное сопротивление перемешиванию для макаронного теста  $c=1656$  Па) составило 0,258 с, угловая скорость при этом -  $146,608 \text{ с}^{-1}$ , момент статических сопротивлений, приведенный к валу электродвигателя двухвального смесителя – 21.783 Н·м.

Полное время разбега после шестичасового простоя двойной мешалки (при  $c=4018$  Па) имеет значение 0,341 с, в этом случае угловая скорость достигает величины  $136,136 \text{ с}^{-1}$  за 0,256 с, при приведенный момент статических сопротивлений к валу электродвигателя – 45,419 Н·м. За этот период времени тестовая масса разрыхляется и значение приведенного момента статических сопротивлений уменьшается до значения, соответствующего нормальным режимам нагружения, за 0,085 с, а угловая скорость вращения вала электродвигателя достигает значения  $146,608 \text{ с}^{-1}$ .

Полное время разбега после двенадцатичасового простоя агрегата составит 0,529 с, причем, до достижения угловой скорости вращения вала электродвигателя, равной  $136,136 \text{ с}^{-1}$  при приведенном моменте статических сопротивлений 54,145 Н·м необходимо время разбега 0,444 с, а затем для достижения нормальных режимов работы агрегата двойной мешалки необходимо 0,085 с.

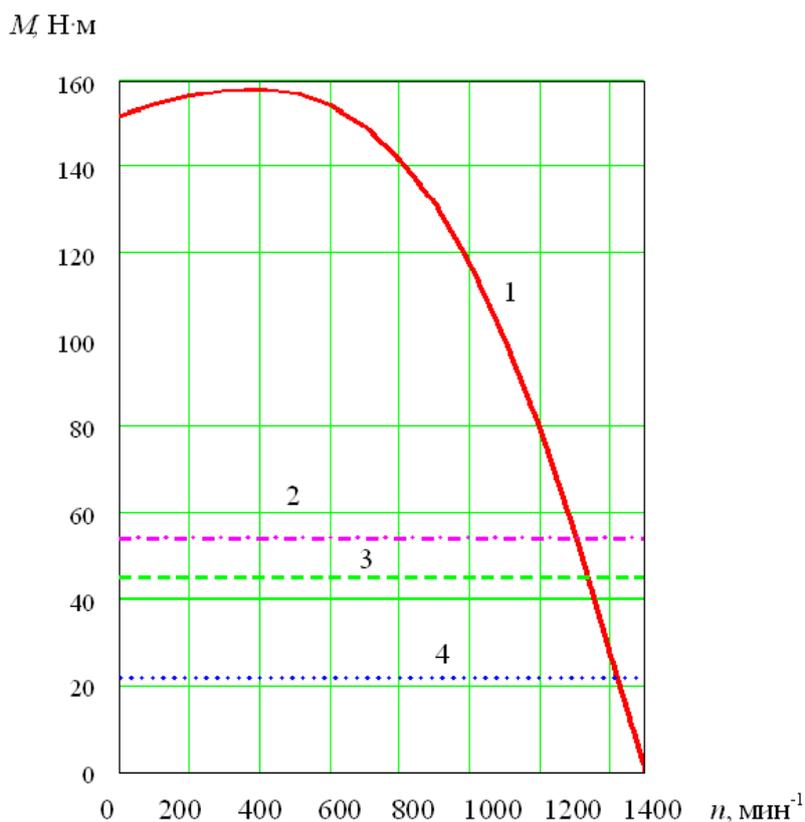


Рис. 1 – Механическая характеристика двигателя: 1 – механическая характеристика электродвигателя двойной мешалки; 2 – приведенный момент статических сопротивлений при  $c=1656$  Па; 3 – приведенный момент статических сопротивлений при  $c=4018$  Па; 4 - приведенный момент статических сопротивлений при  $c=5004$  Па.

### Заключение

Общее уравнение движения, механическая характеристика электродвигателя и значения приведенных моментов инерции масс и статических сопротивлений к валу электродвигателя, полученные в результате исследований, позволили определить время разбега двухвального смесителя при различных режимах нагружения. Оно возрастает с увеличением технологической нагрузки в зависимости от времени простоя от 0,207 с (без технологической нагрузки) до 0,529 с (при запуске после двенадцатичасового простоя).

Если время простоя двухвального смесителя превысит двенадцать часов, то мощности электродвигателя будет недостаточно для возобновления замеса макаронного теста.

### Литература

1. Подгорный Ю.И., Мартынова Т. Г., Войнова Е. В. Уравновешивание рабочего вала смесителя непрерывного действия // Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе: материалы 8 Всерос. науч.-практ. конф., 24 марта 2010 г. -Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010. -С. 127-129.
2. Мартынова Т. Г., Подгорный Ю.И. Исследование уравновешенности рабочего вала мешалки непрерывного действия // Сборник научных трудов НГТУ. -2008. -№ 2 (52). -С. 41-46.
3. Мартынова Т.Г., Подгорный Ю.И., Птицын С.В. Экспериментальные исследования нагрузочных характеристик смесителя // Научный вестник НГТУ. -2011. -№ 2 (43). -С. 183-188.
4. Уравновешивание роторов технологических машин / Ю.И. Подгорный, Т.Г. Мартынова, А.Н. Бредихина, А.С. Косилов, Н.С. Печоркина // Актуальные проблемы в машиностроении. -2015. -№ 2. -С. 256-262.
5. Методика уравновешивания роторов технологических машин / Ю.И. Подгорный, Т.Г. Мартынова, В.Ю. Скиба, Д.В. Лобанов, А.А. Жирова, А.Н. Бредихина, А.С. Косилов, Н.С. Печоркина // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2016. № 2 (71). С. 41-50.

6. Подгорный Ю.И., Мартынова Т.Г. Влияние точности изготовления месильных лопаток на уравновешенность рабочего вала смесителя непрерывного действия // Научный вестник НГТУ. -2010. -№ 3 (40). -С. 119-126.

7. Определение основных параметров технологического оборудования / Ю.И. Подгорный, В.Ю. Скиба, Т.Г. Мартынова, В.Н. Пушнин, Н.В. Вахрушев, Д.Ю. Корнев, Е.К. Зайцев // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). -2013. -№ 3 (60). -С. 68-73.

8. Афанасьев, Ю.А. Кинематическая схема автоматической линии BRAIBANTI / Ю. А. Афанасьев, Ю. И. Подгорный, Т. Г. Мартынова // Сборник научных трудов НГТУ. -2006. -№ 2 (44). -С. 3-8.

#### References

1. Podgornyi Yu.I., Martynova T. G., Voinova E. V. Uravnoveshivanie rabocheho vala smesitelya nepreryvnogo deistviya [Balancing working shaft continuous mixer]. // Problemy povysheniya effektivnosti metalloobrabotki v promyshlennosti na sovremennom etape: materialy 8 Vseros. nauch.-prakt. konf., 24 marta 2010 g [Problems of increasing efficiency in the metalworking industry at the present stage: Materials 8 Proc. scientific-practical. Conf., March 24, 2010]. -Novosibirsk: NGTU, 2010. -P. 127-129.

2. Martynova T. G., Podgornyi Yu.I. Issledovanie uravnoveshennosti rabocheho vala meshalki nepreryvnogo deistviya [Research balance working agitator shaft continuous]. // Sbornik nauchnykh trudov NGTU [Transaction of scientific papers of Novosibirsk state technical university]. -2008. -№ 2 (52). -P. 41-46.

3. Martynova T.G., Podgornyi Yu.I., Ptitsyn S.V. Eksperimental'nye issledovaniya nagruzochnykh kharakteristik smesitelya [Experimental researches of loading characteristics of a mixer]. // Nauchnyi vestnik NGTU [Science Bulletin of the Novosibirsk state technical university]. -2011. -№ 2 (43). -P. 183-188.

4. Podgornyi Yu.I., Martynova T.G., Bredikhina A.N., Kosilov A.S., Pechorkina N.S. Uravnoveshivanie rotorov tekhnologicheskikh mashin [Balancing of technological machine rotors]. // Aktual'nye problemy v mashinostroenii [Actual problems in machine building]. -2015. -№ 2. -P. 256-262.

5. Podgornyi Yu.I., Martynova T.G., Skeebe V.Yu., Lobanov D.V., Zhirova A.A., Bredikhina A.N., Kosilov A.S., Pechorkina N.S. Metodika uravnoveshivaniya rotorov tekhnologicheskikh mashin [The methods of technological machines' rotors balance] // Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) [Metal working and material science]. -2016. - № 2 (71). - P. 41-50.

6. Podgornyi Yu.I., Martynova T.G. Vliyanie tochnosti izgotovleniya mesil'nykh lopatok na uravnoveshennost' rabocheho vala smesitelya nepreryvnogo deistviya [Influence of accuracy of manufacturing kneading shovels on steadiness of a working shaft of the amalgamator of continuous action]. // Nauchnyi vestnik NGTU [Science Bulletin of the Novosibirsk state technical university]. -2010. -№ 3 (40). -P. 119-126.

7. Podgornyi Yu.I., Skeebe V.Yu., Martynova T.G., Pushnin V.N., Vakhrushev N.V., Kornev D.Yu., Zaitsev E.K. Opredelenie osnovnykh parametrov tekhnologicheskogo oborudovaniya [Determination of the main parameters of the processing equipment]. // Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) [Metal working and material science]. -2013. -№ 3 (60). -P. 68-73.

8. Afanas'ev Yu. A., Podgornyi Yu. I., Martynova T. G. Kinematicheskaya skhema avtomaticheskoi linii BRAIBANTI [Kinematic of automatic line BRAYBANTI]. // Sbornik nauchnykh trudov NGTU [Transaction of scientific papers of Novosibirsk state technical university]. -2006. -№ 2 (44). -P. 3-8.



# AGRIS

*Международный научно-исследовательский журнал теперь индексируется в Agris.*

*Статьи, размещаемые в Agris, имеют статус публикаций ВАК.*

**AGRIS (International System for Agricultural Science and Technology)** – это международная библиографическая база данных с более чем 7.5 млн структурированных библиографических данных по сельскому хозяйству и смежным дисциплинам.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.51.160

Минько Н.И.<sup>1</sup>, Скоферца О.Н.<sup>2</sup><sup>1</sup>Профессор кафедры Технология стекла и керамики, <sup>2</sup>ORCID 0000-0001-6542-9770, Аспирант, Белгородский государственный технологический университет имени В. Г. Шухова;**СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТЕКЛА, ПОЛУЧЕННЫЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТЕКЛОБОЯ ДЕМЕРКУРИЗАЦИИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ЛАМП****Аннотация**

В статье рассмотрено – стеклобой от демеркуризации энергосберегающих люминесцентных ламп, примеси, содержащиеся в нем, сплавление стеклобоя с различными включениями, спектральные характеристики полученных образцов. А так же, приведено устройство люминесцентной энергосберегающей лампы, определение демеркуризации и представлен рисунок светопропускания полученных сплавленных образцов. Помимо этого, приведены некоторые способы очищения стеклобоя от примесей и показана их эффективность, изучаются спектры образцов с содержанием примесей.

**Ключевые слова:** стеклобой, демеркуризация, люминесцентные лампы, примеси, спектральные характеристики, окислительно-восстановительный потенциал.

Minjko N.I.<sup>1</sup>, Skofertza O.N.<sup>2</sup><sup>1</sup>Professor, Department of Technology of glass and ceramics, <sup>2</sup>ORCID 0000-0001-6542-9770, Postgraduate student, Belgorod state technological University named after V. G. Shukhov**THE SPECTRAL CHARACTERISTICS OF THE GLASS OBTAINED BY USING CULLET OF DEMERCURIZATION OF ENERGY-SAVING LAMPS****Abstract**

The article deals with – the cullet from demercurization of the energy-efficient fluorescent bulbs, impurities, contain in it, alloying of the cullet with various inclusions, the spectral characteristics of the obtained samples. Moreover, it is reported about structure of the energy-efficient fluorescent bulb, definition of the demercurization and is given the image of the obtained alloyed samples' light transmission. Besides it, are given some methods of cullet's purification from impurities and it is shown their efficiency, it is examined spectrum of the samples with impurity content.

**Keywords:** glass, decontamination, fluorescent lamp, impurities, spectral characteristics, redox potential.

Стекольный бой – это не только отход производства, но и ценное сырье. Он находит применение во многих отраслях промышленности с целью утилизации. Его использование – это эффективный путь экономии материальных ресурсов: кварцевого песка, кальцинированной соды, мела, доломита, фтористого сырья и т. д.

Примеси в стекольном бое – это посторонние частицы, например, бой от стеклотары содержит такие примеси как: пробки, бумагу от этикеток и другие включения [1].

В настоящей работе исследуется стеклобой от демеркуризации люминесцентных линейных и спиралеобразных ламп, они состоят из трех частей:

- стеклянной люминесцентной лампы, которая наполнена инертным газом (аргоном) и парами ртути;
- цоколя, который служит для подключения к электрической сети через патрон светильника;
- электронного блока (электронного пускорегулирующего аппарата - ЭПРА), который обеспечивает зажигание и дальнейшее горение лампы[2].

Стеклобой от демеркуризации люминесцентных ламп содержит различные примеси, отличающиеся по окраске от боя, которые очень трудно удалить. Примеси в бое остаются после произведения его очистки при помощи метода демеркуризации.

Демеркуризация – это удаление ртути и её соединений с целью исключения отравления людей и животных. Она заключается в удалении ртути различными физико-химическими или механическими способами.

Стекольный бой люминесцентных ламп представляет собой частицы стекла размером 1-2 см, толщиной около 1 мм. Все включения, содержащиеся в нем – это составные части устройства лампы, ЭПРА, цоколя, внутренних спиралей и электродов. Данные примеси отличаются по своему внешнему виду, цвету, свойствам, влиянию, которое оказывают на цвет и светопропускание сваренного стекла. Примеси визуальны разделены на 6 типов, некоторые из них выделены в табл. 1.

Таблица 1 – Компонентный состав люминесцентных ламп [3]

Наименование материала и комплектующих	ЛБ-20-2 ЛД 20-2	ЛБ 40 ЛД 40	ЛБ 40-2 ЛД 40-2	ЛБ 80-7 ЛД 80-7
Латунь, г.	0,92	0,92	0,92	0,92
Вольфрам, г.	0,0229	0,0326	0,0326	0,0511
Медь, г.	0,4224	0,4224	0,4224	0,4224

Окончание табл. 1 – Компонентный состав люминесцентных ламп [3]

Наименование материала и комплектующих	ЛБ-20-2 ЛД 20-2	ЛБ 40 ЛД 40	ЛБ 40-2 ЛД 40-2	ЛБ 80-7 ЛД 80-7
Мастика, г/%	4,2/3%	5,5/1,7%	4,2/1,5%	5,5/1,4%
Алюминий, г/%	4,0/2,9%	5,0/1,6%	4,0/1,43%	5,0/1,3%
Припой оловянно-свинцовый, г.	0,41	0,41	0,41	0,41
Платинит, г.	0,012	0,012	0,012	0,012
Гетинакс, г.	0,432	0,432	0,432	0,432

С целью установления влияния примесей на варку стекла, было произведено сплавление стеклобоя с добавлением их различных частиц. Сплавление проводили в электрической печи сопротивления с силитовыми нагревателями, в корундовых тиглях вместимостью 100 мл, заполненные на  $\frac{3}{4}$  объема, при температуре 1300<sup>0</sup>С, в течение 1 ч. 30 мин.; тигли со стекломассой отжигались методом естественного охлаждения[4]. В результате сплавления образцов стеклобоя с примесями и без, получены стекла визуально чистые (рис. 1).

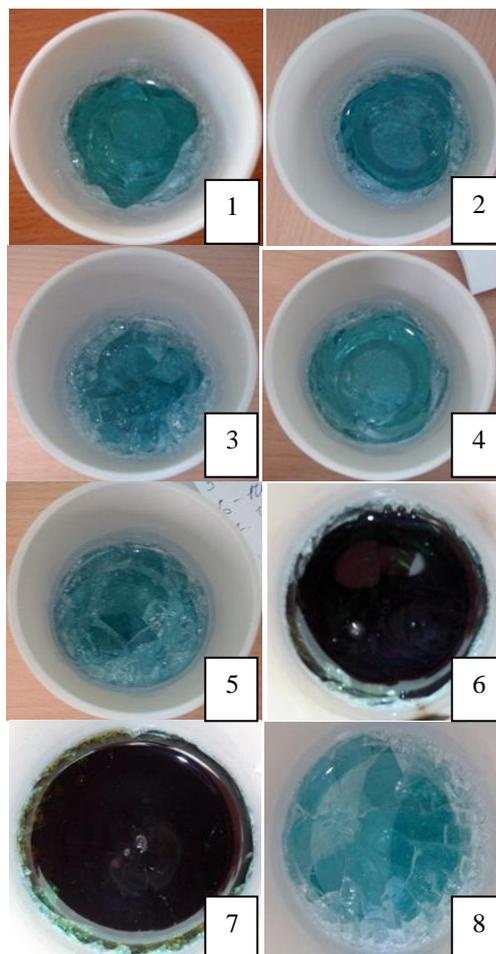


Рис. 1 – Образцы сплавленного стеклобоя: 1 – без примесей; 2 – смешанный; 3 – с коричневыми включениями; 4 – с примесями; 5 – с темными покрытиями на стекле; 6 – с частицами, проявляющие магнитные свойства (1 группа); 7 – с частицами, проявляющие магнитные свойства (2 группа); 8 – с темными пластиночками.

Исходный стеклобой был бесцветным, но после сплавления все образцы приобрели голубоватый цвет, что свидетельствовало о смещении равновесия  $\text{Fe}^{2+} \rightleftharpoons \text{Fe}^{3+}$  влево и, вероятно, наличием  $\text{Cu}^{2+}$ . Частицы, обладающие магнитной восприимчивостью, наиболее интенсивно окрашивали стекла. Это наблюдается в случае с 6-м и 7-м образцами. На дне тиглей обнаружили корольки сплавленных металлических частиц в форме шариков. При использовании стеклобоя в больших количествах, такие корольки могут оказать отрицательное влияние на

устойчивости донного огнеупора. При сгорании органические примеси влияют на окислительно-восстановительный потенциал стекломассы; поэтому необходим контроль ХПК стеклобоя и шихты с использованием стеклобоя демеркуризации ламп.

В стекольной промышленности основной эксплуатационной характеристикой изделия, независимо от области применения, являются оптические свойства, характеризующие взаимодействие стекла и излучения с фиксированной длиной волны или спектральной областью.

Спектры светопропускания сплавленного стеклобоя с примесями показали их влияние на общее пропускание (рис. 2). Спектральные кривые окрашенных образцов характеризуются появлением избирательной или сплошной полосы поглощения в видимой области спектра. В УФ и ИК - областях наиболее сильно проявляются  $Fe^{2+}$  и  $Fe^{3+}$ . Для двухвалентного железа на рисунке 2 характерна интенсивная полоса поглощения в ближней ИК - области спектра (1100 нм). Трехвалентное железо же, характеризуется наиболее интенсивным поглощением в УФ – области (рис. 2). Остальные примеси, в первую очередь органические, при термообработке создают окислительно-восстановительные условия, что сказывается на соотношении  $FeO$  к  $Fe_2O_3$ , которое различно в сплавленном стеклобое. Данное соотношение железа будет проявляться в зависимости от температуры сплавления стеклобоя. При повышенной температуре содержание  $FeO$  будет преобладать в соотношении, а при пониженной температуре – преобладающим элементом является  $Fe_2O_3$ .

Спектры пропускания образцов стекол измерены при помощи двулучевого спектрофотометра ПЭ-6100УФ (Промэколаб) в диапазоне длин волн от 190 до 1100 нм с шагом 1 нм.

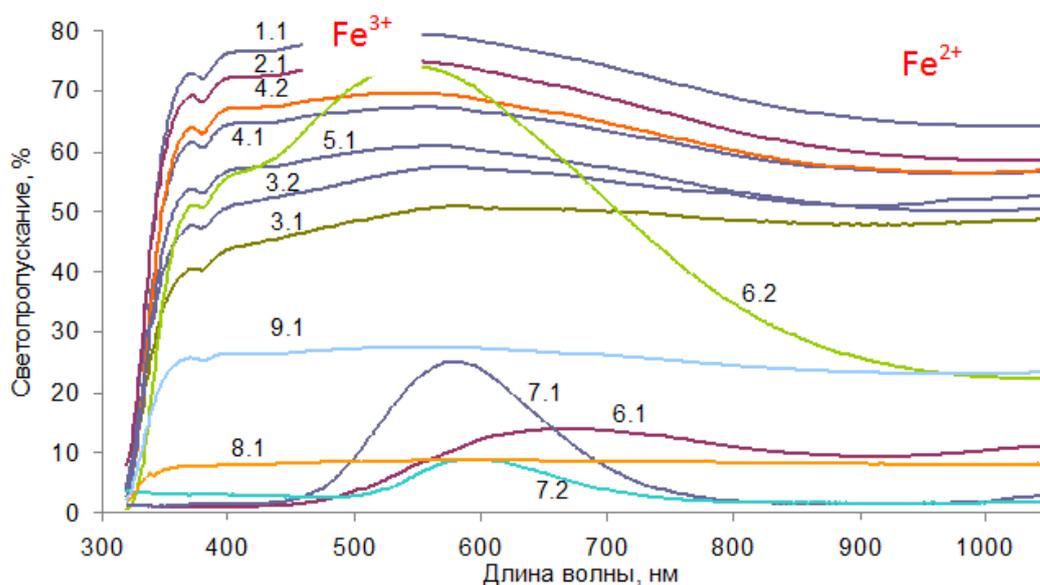


Рис. 2 – Спектры пропускания сплавленных стекол с примесями.  
Цифры у кривых соответствуют номерам на рис. 1.

Полученные данные были пересчитаны на толщину 10 мм. Оценка доли  $FeO$  ( $w(FeO)$ , мас.%) выполнялась по формуле Бамфорда с последующим пересчетом:

$$f = \frac{Fe^{2+}}{Fe^{3+}} = 0.133 \frac{A_{1050} - 0.036}{A_{380} - 0.036}, \quad A = -\ln\left(\frac{T}{100}\right),$$

$$w(FeO) = \frac{FeO}{FeO + Fe_2O_3} \cdot 100\% = \frac{f}{f + 1.111} \cdot 100\%,$$

где  $f$  – это отношение массовых концентраций ионов железа, находящихся в двух- и трехвалентном состоянии;

0.133 – отношение массовых коэффициентов поглощения различных ионов железа;

$A_{1050}$  – максимум оптической плотности в районе 1050 нм (поглощение ионами  $Fe^{2+}$ );

$A_{380}$  – максимум оптической плотности в районе 380 нм (поглощение ионами  $Fe^{3+}$ );

0.036 – поправка на отражение от границ раздела "стекло-воздух",  $T$  – светопропускание, %;

1.111 – коэффициент для пересчета из ионных форм железа в оксидные.

Спектральный коэффициент стекол определяется по ГОСТ Р 54164-2010[5].

Таблица 2 – Значения  $w(\text{FeO})$  для исследованных образцов

Обозначение образца	$w(\text{FeO})$ , мас. %	Примеси, которые коррелируют с $w(\text{FeO})$
1.1	14	Смешанный бой
2.1	11	Чистый, без примесей
3.1	9	Бой с коричневыми включениями
3.2	9	
4.1	11	С примесями после флотации
4.2	11	
5.1	10	С темными покрытиями на стекле
6.1	5	С магнитной фракцией первой группы
6.2	10	
7.1	6	С магнитной фракцией первой группы
7.2	9	
8.1	10	С темными пластиночками
9.1	11	

Установлено, что примеси в стеклобое от демеркуризации люминесцентных ламп органического и металлического характера. При этом примеси металлического характера в своем составе содержат такие красящие элементы, как железо и медь, которые наиболее интенсивно окрашивают стекла. Органические примеси сгорают и превращаются в пепел, но изменяют ОВП, что способствует более интенсивной окраске стекла.

Анализируя все полученные спектры пропускания можно сделать вывод о том, что кривая 6.2 (рис. 2) имеет восстановительный потенциал. Об этом говорит величина светопропускания стекла при 1100 нм. Этот образец окрашен в зеленовато-коричневый цвет.

В данной работе представлены спектры с содержанием оксида железа, которое обладает высокой красящей способностью.

Таким образом, примеси существенно изменяют спектральные характеристики сплавленных стекол на основе исследуемого стеклобоя.

Изучению примесей, содержащиеся в стеклобое от энергосберегающих ламп уделяется много внимания из-за того, чтобы выявить в каком виде они могут остаться в стекле и растворяются ли в нем. А также установить при какой температуре происходят перечисленные процессы.

В ходе исследования примесей, пришли к выводу, что некоторые из них можно удалить из стеклобоя с помощью магнитной сепарации. Также незначительное количество удаляется при помощи флотации.

Но далеко не все примеси удаляются всеми известными методами, которые применимы к очищению стеклобоя. Поэтому стеклобой от демеркуризации энергосберегающих ламп и содержащиеся в нем примеси требуют дальнейшего изучения.

#### Литература

1. Степаникова И. Г. Стекольный бой – отход производства// БЖД. - 2010. - №10. – с. 4-6
2. Минько Н. И., Бессмертный В. С., Городов А. О., Тикунова И. В. и др. Способ демеркуризации люминесцентных ламп// Патент БГТУ им. В. Г. Шухова РФ №2534319 от 29.09.14г.
3. «О компонентном составе люминесцентных ламп» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://ecologicals.ru> (дата обращения 7.05.2016).
4. Левченко П. В. Расчет печей и сушил силикатной промышленности – М.: Высшая школа, 1968.-368 с.
5. ГОСТ Р 54164-2010 Методы определения оптических характеристик

#### References

1. Stepanikova I. G. Stekolnii boi – othod proizvodstva// BJD. – 2010. - №10. – s. 4-6
2. Minjko N. I., Bessmertnji V. S., Gorodow A. O., Tikunowa I. W. i dr. Sposob lemerkurizatii liuminescentnih lamp// Patent BGTU im. W. G. Suhowa RF №2534319 от 29.09.14 g.
3. «O komponetnom sostave liumineszentnih lamp»/ [Jelektronnyj resurs] URL: [http:// http://ecologicals.ru](http://ecologicals.ru) (data obrashhenija 7.05.2016)
4. Levchenko P. V. Rascjot pecej b susil silikatnoi promijlenosti – M.: Visjaia skola, 1968. – 368 s.
5. GOST R 54164-2010 Metodj opredelenja optičeskih harakteristik.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.51.044

Надточий Л.А.<sup>1</sup>, Арсеньева Т.П.<sup>2</sup>, Абдуллаева М.С.<sup>3</sup>, Лепешкин А.И.<sup>4</sup><sup>1</sup>ORCID:0000-0002-4678-8177, кандидат технических наук, доцент; <sup>2</sup> доктор технических наук, профессор; <sup>3</sup>ORCID:0000-0002-3377-1798, магистрант; <sup>4</sup>ORCID: 0000-0001-9118-1449, магистрант, Университет ИТМО**РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОБЕЛКОВЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МОРОЖЕНОГО****Аннотация**

*В статье представлены результаты реологических исследований смесей для производства мороженого с повышенным содержанием белка. Коррекция состава мороженого предполагает увеличение содержания белка от 11 до 14% на фоне снижения липидной и углеводной составляющей. В работе был использован метод ротационной реометрии. Определены значения эффективной вязкости смесей мороженого при скоростях сдвига 0,1-10 с<sup>-1</sup>, которые показывают увеличение исследуемого показателя с увеличением доли вносимого казеина. Изучены реологические характеристики: модуль эластичности (упругости) и модуль вязкости образцов, в результате чего установлено, что добавление мицеллярного казеина существенно влияет на вязкостно-эластичные свойства смесей мороженого. Установлено, что смесь с массовой долей казеина 12% имеет явно выраженные вязкостные свойства, в то время как образцы с добавлением 13-14% казеина продемонстрировали преимущественно эластично-упругие свойства. По результатам комплексного реологического исследования отобрана смесь с 12% казеина для изготовления мороженого с повышенным содержанием белка.*

**Ключевые слова:** мороженое, казеин, высокобелковая смесь, структурно-механические показатели, реологические свойства.

Nadtochii L.A.<sup>1</sup>, Arseneva T.P.<sup>2</sup>, Abdullaeva M.S.<sup>3</sup>, Lepeshkin A.I.<sup>4</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0002-4678-8177, PhD in Technical Sciences, associate professor; <sup>2</sup> PhD in Technical Sciences, professor;<sup>3</sup>ORCID: 0000-0002-3377-1798, Master's degree student; <sup>4</sup>ORCID: 0000-0001-9118-1449, Master's degree student, ITMO University**RHEOLOGICAL PROPERTIES OF HIGH-PROTEIN MIXES FOR ICE-CREAM****Abstract**

*The article presents the results of rheological studies of mixtures for ice cream production with high protein content. Correction ice cream composition involves increased protein content from 11 to 14% against decrease in lipid and carbohydrate component. The method of rotational rheometry was used. The values of the effective viscosity of ice cream mixes was determined at shear rates of 0.1 to 10 c<sup>-1</sup>, showing the growth of the test index with increasing of the casein mass fraction. The rheological characteristics: elasticity modulus (resilience) and the viscosity module of the sample, causing found that the addition of micellar casein greatly affects the viscosity and elastic properties of the ice cream mixture. It was established that the mixture with the mass fraction of casein 12% had obviously expressed viscosity properties, whereas the samples with the addition of the casein 13-14% demonstrated predominantly elastical-resilient properties. As a result, the complex rheological studies selected the mixture with 12% of casein for the manufacture of ice cream with high protein content.*

**Keywords:** ice cream, casein, high-protein mixture, structural-mechanical properties, rheological properties.

В последние годы многие люди стали пересматривать свое питание и образ жизни. Современный человек имеет возможность обеспечить потребность во всех макронутриентах. Однако, в большей степени предпочтение в рационах питания отдается легкоусвояемым углеводам и жирам. В связи с этим среднестатистический взрослый человек получает недостаточное количество белка с поступающей в организм пищей, что требует коррекции на этапе планирования рациона питания различных групп, которые классифицируются по возрасту, полу, группе активности и пр. [1].

Для решения данной проблемы существуют способы повышения уровня белка в некоторых продуктах питания. В настоящей работе объектами исследования служили высокобелковые смеси с целью разработки рецептуры диетического мороженого с высокими потребительскими свойствами. Традиционные виды мороженого включают в себя несколько наименований, которые различаются по содержанию молочного жира: молочное (0,5-7,5%), сливочное (8,0-11,5%), пломбир 12,0-20,0%). Современные требования, предъявляемые к разрабатываемым продуктам питания, в частности, к мороженому, связаны с понижением его калорийности и себестоимости с учетом оптимизации пищевой ценности продукта [2].

Содержание белка в мороженом, в отличие от жира, не нормируется Межгосударственным стандартом (ГОСТ) и в традиционных рецептурах составляет в среднем от 3,0 до 4,5% [3]. Главным белком молока является казеин, находящийся в виде мицелл, представляющих собой сложные комплексы фракций казеина с коллоидным фосфатом кальция. Казеин транспортирует в составе своих частиц (мицелл) такие микронутриенты, как кальций, фосфор и магний, роль которых для организма человека доказана. Полярные группы, находящиеся внутри и на поверхности казеиновых мицелл, хорошо связывают воду – около 3,7 г на 1 г белка. При этом, от гидрофильных свойств казеина зависит устойчивость казеиновых мицелл в молоке [4].

Применение казеина в растворимой форме – в виде мицеллярного казеина – в составе смеси мороженого позволяет снизить калорийность продукта за счет сокращения жировой фазы в виде сливок, сухого молока и сливочного масла. Помимо этого, в настоящем исследовании рецептура смеси мороженого корректировалась по углеводной составляющей путем подбора комплекса подсластителей и сахарозаменителей и исключением из рецептуры сахарозы.

Однако, смеси традиционных видов мороженого отработаны с точки зрения структурно-вязкостных свойств. Оптимизация пищевой ценности смеси мороженого требует изучение влияния ингредиента – казеина – на

реологические характеристики разрабатываемых смесей в сравнении с изучаемыми показателями смесей традиционного вида мороженого. За контрольный образец было выбрано мороженое молочное. Все образцы смесей мороженого были нормализованы по содержанию сухих веществ не более 28-31%. С целью определения оптимального содержания белка в смеси мороженого использовались образцы с массовой долей белка от 10 до 14%.

Объектами настоящего исследования служили смеси для изготовления мороженого, в состав которых входили:

- молоко цельное 2,5% жирности;
- мицеллярный казеин (Promilk Карра Optimum 85, Ingredia, Франция);
- подсластители и сахарозаменители (ксилит, сукралоза)
- стабилизатор PJX-1.

Для изучения вязкоупругих свойств смесей мороженого применялись методы ротационной реометрии с использованием ротационного вискозиметра марки RHEOTEST Medingen GmbH RN 4.1, New Castle, DE (цилиндр HS с внутренним диаметром 3,5 см). Были определены значения вязкости при периодическом изменении во времени скорости сдвига от 0,1 до 10 с<sup>-1</sup>. Также были изучены вязкоупругие показатели смесей (модули G' и G'') при различной частоте колебаний от 0,1 до 1 рад/с. Реологические исследования проводились в 3-х кратном измерении с учетом допустимой погрешности 0,05.

G' – модуль эластичности – характеризует упругие свойства исследуемого продукта; G'' – модуль вязкости – описывает вязкое течение материала [5].

В результате исследования установлено, что казеин в составе рецептуры смеси для мороженого влияет на изменение вязкости при малых скоростях сдвига (0,1-2,5 с<sup>-1</sup>), о чем свидетельствуют данные рисунка 1. Очевидно, что внесение дополнительного ингредиента (мицеллярного казеина) увеличит вязкость исследуемой смеси.

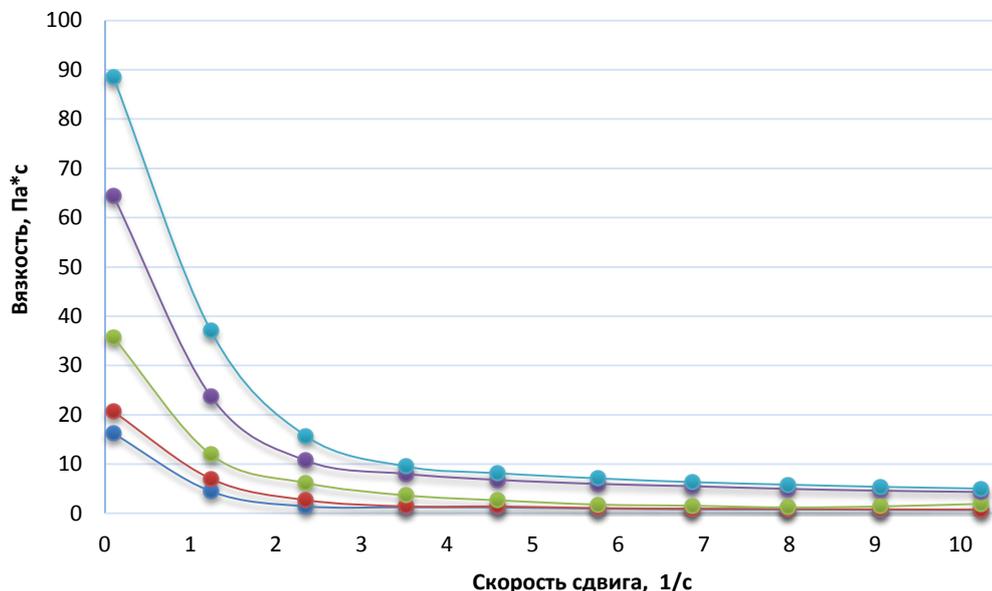


Рис. 1 – Изменение вязкости смесей мороженого при скоростях сдвига от 0,1 до 10 с<sup>-1</sup>

—●— 10% —●— 11% —●— 12% —●— 13% —●— 14%

Полученные зависимости вязкости от скорости сдвига исследуемых образцов свидетельствуют о том, что они легко разрушаются при небольших нагрузках, что подтверждает сведения других ученых [6, 7]. Однако, образцы с наличием 10% и 11% белка показали самые низкие значения вязкости при малых нагрузках. Наиболее высокие значения исследуемого параметра при одинаковых условиях продемонстрировал образец, содержащий 14% белка; несколько уступали ему образцы с 12 и 13% белка. В связи с этим дальнейшему исследованию подлежали образцы с более высокими значениями вязкости при малых нагрузках, в частности смеси мороженого с содержанием белка 12-14%.

На рисунке 2 отображены зависимости модулей эластичности (упругости) и вязкости от частоты колебаний в пределах от 0,1 до 1,0 рад/с. На основании полученных данных можно констатировать, что оба модуля для всех образцов увеличиваются с возрастанием частоты колебаний в разной степени в зависимости от содержания белка в смеси мороженого.

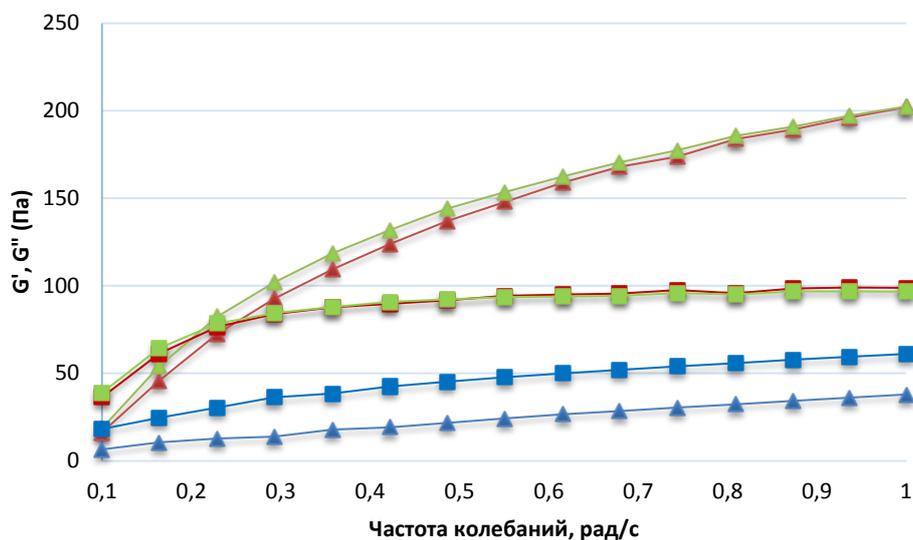


Рис. 2 – Зависимость модулей ( $G'$ ,  $G''$ ) смесей мороженого от частоты колебаний (0,1-1рад/с)

▲- $G'$  12%, ■- $G''$  12%, ▲- $G'$  13%, ■- $G''$  13%, ▲- $G'$  14% ■- $G''$  14%

Следует отметить, что модуль вязкости при низкой частоте колебаний (до 0,2 рад/с) несколько выше модуля эластичности (упругости). Причем, эта тенденция сохраняется для образца с содержанием белка 12% на всем протяжении эксперимента (при частоте колебаний от 0,1 до 1,0 рад/с). Однако, для других образцов (с содержанием белка 13 и 14%) изменение модуля эластичности (упругости) происходит более интенсивно с увеличением частоты колебаний (от 0,2 до 1,0 рад/с) в то время как модуль вязкости практически не меняется при частоте колебаний от 0,2 рад/с. Причем данные образцов с содержанием белка 13 и 14% практически не отличались между собой для всех модулей. Таким образом можно констатировать в большей степени вязкостные свойства смеси мороженого с содержанием 12% белка в диапазоне частот колебаний до 1,0 рад/с. Однако, модуль вязкости образцов с содержанием белка 13 и 14% показывает более высокие значения, что говорит об увеличении вязкостных свойств образцов с повышением содержания белка в смеси. Также следует отметить увеличение эластичных свойств смесей с содержанием белка (13, 14%) при повышении частоты колебаний (от 0,2 до 1,0 рад/с), в то время как вязкостные свойства таких смесей практически не меняются, что говорит о преимущественно эластичных (упругих) и менее выраженных вязкостных свойствах смесей с содержанием белка 13 и 14%.

На основании проведенных исследований реологических свойств высокобелковых смесей мороженого получены прямые зависимости повышения значений исследуемых реологических характеристик смесей с увеличением массовой доли казеина (от 11 до 14%) в составе рецептуры. Смесь мороженого с массовой долей белка 11% наиболее приближена по вязкости к контрольному образцу. Все образцы подтвердили вязкостно-упругие свойства, характерные для большинства пищевых продуктов. Однако, смесь с содержанием белка 12% показала в большей степени вязкостные свойства, в то время как смеси с содержанием белка 13 и 14% продемонстрировали ярко выраженные эластичные (упругие) свойства. Таким образом, смесь с массовой долей белка 12% рекомендуется использовать для производства мороженого, так как она позволяет обеспечить продукт повышенным содержанием белка и сохраняет преимущество вязкостных свойств, что является важным функционально-технологическим показателем смеси до фризирования.

#### Литература

1. Абдуллаева М.С. Разработка состава мороженого на молочно-растительной основе/ Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. – СПб: Университет ИТМО, 2016.
2. Арсеньева Т.П. Справочник технолога молочного производства. Технология и рецептуры. Т. 4. Мороженое. - СПб.: ГИОРД, 2002. - 180 с.
3. ГОСТ 31457-2012 Межгосударственный стандарт Мороженое молочное, сливочное и пломбир. Технические условия.
4. Шейфель О.А. Биохимия молока и молочных продуктов: конспект лекций /Кемеровский технологический институт пищевой промышленности – Кемерово, 2010. – 126 с.
5. George, E., Inglett, Diejun, C., Sean, X. L., Suyong, L. Pasting and rheological properties of oat products dry-blended with ground chia seeds/ LWT - Food Science and Technology, 55, 2014. – 148-156.
6. Gabriele D., De Cindio B., D'Antona P. Rheol. Acta, 40, 2001. – 120.
7. Малкин А.Я., Исаев А.И. Реология: концепция, методы, приложения / Пер. с англ. – СПб.: Профессия, 2007. – 560 с.

#### References

1. Abdullaeva M.S. Razrabotka sostava morozhenogo na molochno-rastitel'noj osnove/ Sbornik tezisov dokladov kongressa molodyh uchenyh. Elektronnoe izdanie. – SPb: Universitet ITMO, 2016. [in Russian]
2. Arsen'eva T.P. Spravochnik tekhnologa molochnogo proizvodstva. Tekhnologiya i receptury. T. 4. Morozhenoe. - SPb.: GIORD, 2002. - 180 s. [in Russian]

3. GOST 31457-2012 Mezghosudarstvennyj standart Morozhenoe molochnoe, slivochnoe i plombir. Tekhnicheskie usloviya. [in Russian]
4. Shejfel' O.A. Biohimiya moloka i molochnyh produktov: konspekt lekcij /Kemerovskij tekhnologicheskij institut pishchevoj promyshlennosti – Kemerovo, 2010. – 126 s. [in Russian]
5. George, E., Inglett, Diejun, C., Sean, X. L., Suyong, L. Pasting and rheological properties of oat products dry-blended with ground chia seeds/ LWT - Food Science and Technology, 55, 2014. – 148-156.
6. Gabriele D., De Cindio B., D'Antona P. Rheol. Acta, 40, 2001. – 120.
7. Malkin A.YA., Isaev A.I. Reologiya: koncepciya, metody, prilozheniya / Per. s angl. – SPb.: Professiya, 2007. – 560 s. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.51.148

Некрасов А.И.<sup>1</sup>, Сырых Н.Н.<sup>2</sup>, Некрасов А.А.<sup>3</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0001-6141-984X, заведующий отделом, доктор технических наук,<sup>2</sup>главный научный сотрудник доктор технических наук, профессор;<sup>3</sup>ORCID:0000-0001-5816-8939, научный сотрудник, кандидат технических наук,

Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ  
СЕЛЬХОЗПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ**

*Аннотация*

*Рассмотрены вопросы совершенствования системы технического обслуживания и ремонта электрооборудования сельскохозяйственных предприятий в современных условиях развития сельского хозяйства. Представлены научно-методические разработки по уточнению периодичностей обслуживания электроустановок, обеспечению электротехнических служб материалами и запасными частями, повышению надежности электрооборудования.*

**Ключевые слова:** эксплуатация электрооборудования, техническое обслуживание и ремонт, сельские электроустановки, показатели надежности.

Nekrasov A.I.<sup>1</sup>, Syrysh N.N.<sup>2</sup>, Nekrasov A.A.<sup>3</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0001-6141-984X, head of Department, PhD in Engineering;<sup>2</sup>chief scientific officer, PhD in Engineering, professor;<sup>3</sup>ORCID:0000-0001-5816-8939, researcher, PhD in Engineering.

The All-Russian Scientific-Research Institute for Electrification of Agriculture

**IMPROVING THE SYSTEM OF TECHNICAL SERVICE OF ELECTRICAL EQUIPMENT  
OF AGRICULTURAL PRODUCERS**

*Abstract*

*Issues of improving the system of technical maintenance and repair of electrical equipment of agricultural enterprises in modern conditions of development of agriculture. Presents the methodological designs to clarify the periodicity of maintenance of electrical installations, the provision of electrical engineering services, materials and spare parts, the reliability of electrical equipment.*

**Keywords:** operation of an electric equipment, maintenance service and repairing, rural electro-installations, parameters of reliability, energy and resources saving.

**Р**азвитие системы технического сервиса электрооборудования в сельском хозяйстве предусматривает значительное повышение эффективности использования электрифицированной техники, а также определяется наметившимся ростом потребления электроэнергии на производственные нужды, составившим около 16 млрд. кВт·ч в год на производственные нужды при 3 млн. работающих электродвигателей.

За прошедшее время лабораторией эксплуатации электрооборудования ВИЭСХ были разработаны научные основы эксплуатации электрооборудования в сельском хозяйстве, имеющие большое значение для сельскохозяйственного производства. Впервые была создана полная нормативная база Системы планово-предупредительного ремонта электрооборудования в сельском хозяйстве (Системы ППРЭСХ) – основного документа, регламентирующего организацию эксплуатации электрооборудования в сельском хозяйстве [1]. По результатам научных исследований лабораторией эксплуатации электрооборудования разработано, утверждено вышестоящими инстанциями и рекомендовано к практическому применению в сельском хозяйстве более 50 наименований нормативно-технической документации, методических указаний и рекомендаций, монографий и учебных пособий, практическое применение которых позволило значительно снизить аварийность электрооборудования, материальные и трудовые затраты на эксплуатацию электрооборудования сельскохозяйственных предприятий [2-3].

В начале восьмидесятых годов были разработаны исходные требования и организовано серийное производство электродиагностической автопередвижной лаборатории ЭДЛ-1, которая предназначена для технического обслуживания, диагностики и испытаний электродвигателей, электронагревательных, электрооблучательных и других установок, пусковых и защитных приборов. Разработаны исходные требования и организовано серийное производство асинхронных электродвигателей единой серии 4А сельскохозяйственного исполнения, которые предназначены для привода электрифицированных машин и оборудования во всех сельскохозяйственных помещениях с высокой влажностью и химически агрессивной средой. Также кратко представлены научно-методические разработки по эксплуатации электрооборудования, выполненные в лаборатории за прошедшие годы и предназначенные для инженерно-технических работников энергетических служб сельскохозяйственных предприятий

и служб Агросервиса. Они необходимы для обоснования требований к эксплуатационным способам обеспечения надежности при разработке новых видов электрооборудования, уточнении нормативов Системы ППРЭСх при ее привязке к конкретным условиям эксплуатации, а также могут быть использованы студентами факультетов электрификации сельскохозяйственных вузов при курсовом и дипломном проектировании. Для удобства практического применения в каждой методике приведен порядок расчета и формулы с разъяснениями по их использованию, справочный материал для выполнения расчетов и примеры расчета.

«Методические рекомендации по определению потребности в электродвигателях для скользящего резервирования электроприводов» содержат методику обоснования потребности сельскохозяйственных предприятий в электродвигателях, для замены отказавших с использованием методов теории массового обслуживания и информации об эксплуатационной надежности электродвигателей, организации их капитального ремонта и требований технологических процессов к надежности функционирования. Важным является создание технически необходимого и экономически целесообразного резерва электродвигателей, предназначенных для оперативной замены введших из строя основных электродвигателей, используемых на технологическом процессе. В соответствии со своим назначением такой резерв электродвигателей является страховым и должен храниться на складах сельскохозяйственных предприятий или служб Агротехсервиса. С точки зрения теории надежности такой резерв относится к категории скользящего и его обоснование решается на основе компромисса между требованиями к надежности технологических процессов и затратами на содержание резерва. Случайный характер возникновения потребности в резервных электродвигателях и пополнения парка резервных электродвигателей потребовал привлечения к решению поставленной задачи вероятностно-статистических методов и, в частности, методов теории массового обслуживания которые представлены в этой методике [4].

«Методические рекомендации по определению периодичности профилактических замен электрооборудования» основаны на разработанной методике технико-экономического обоснования одного из основных параметров системы планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания электрооборудования сельскохозяйственных предприятий – периодичности профилактических замен с целью повышения его эксплуатационной надежности. Методика базируется на моделировании поведения электрооборудования при эксплуатации полумарковскими (регенерирующими) управляемыми случайными процессами, использовании априорной информации о надежности электрооборудования в виде функции распределения времени безотказной работы и соотношении затрат на устранение отказов и проведение профилактических замен электрооборудования. В методике подробно рассмотрено моделирование процесса функционирования электротехнических устройств для различных стратегиях обслуживания, приведены расчетные формулы при моделировании поведения электрооборудования, представлено графическое определение оптимальной периодичности профилактических замен электрооборудования и показана эффективность применения различных стратегий обслуживания [5].

«Методические рекомендации по расчету потребности в запасных элементах для технического обслуживания и ремонта сельских электроустановок» содержат разработанную методику расчета потребности сервисных служб по эксплуатации электрооборудования в запасных изделиях. Основной методики является впервые разработанная обобщенная вероятностная методика расчета потребности в запасных изделиях для обеспечения заданного уровня надежности (безотказности) эксплуатируемого электрооборудования в течение расчетного периода (обычно года), построенная с использованием положений теории случайных процессов восстановления, адекватно отражающей случайные явления, имеющие место при эксплуатации электрооборудования. Методика позволяет определить количество запасных изделий, необходимых для обеспечения непрерывной работы электрооборудования с заданной вероятностью в течение планируемого периода времени. Разработанная методика является более общей и пригодной для применения, как при внезапных отказах, так и при постепенных отказах, для стареющих распределений времени работы электроустановок до отказа [6].

Издано учебное пособие для студентов высших сельскохозяйственных учебных заведений «Теоретические основы эксплуатации электрооборудования», в котором изложены основные задачи эксплуатации, пути и методы их решения, условия и особенности эксплуатации электрооборудования в сельском хозяйстве, рассмотрены вопросы выбора электрооборудования, аварийные режимы асинхронных электродвигателей, основы теории надежности и марковских случайных процессов применительно к решению задач эксплуатации. В пособии также рассмотрены системы технического обслуживания и ремонта электрооборудования, методы расчета потребности в запасных частях, вопросы информационного обеспечения задач эксплуатации [3].

«Методика обоснования основных параметров стратегии обслуживания электрооборудования сельскохозяйственных предприятий по состоянию». Определены требования к диагностирующим параметрам, используемым в качестве определяющих технического состояния электротехнических изделий в процессе их функционирования. Разработана математическая модель обоснования основных параметров стратегии обслуживания электрооборудования по его фактическому состоянию с выявлением предотказового состояния и упреждающего допуска на контролируемый диагностирующий параметр при различной периодичности диагностирования и заданном уровне безотказности. Обосновано применение математической модели обслуживания электродвигателей по состоянию с использованием в качестве диагностирующего параметра величины радиального зазора подшипников [7].

Практическое применение и внедрение в сельскохозяйственное производство, выполненных за прошедшие годы теоретических и научно-технических разработок по эксплуатации электрооборудования в сельском хозяйстве, создание эффективной энерго-ресурсосберегающей системы техсервиса электрооборудования и электроустановок сельхозпроизводителей позволит снизить потребность в трудовых ресурсах и материалах на эксплуатационные нужды на 15–20%, обеспечить повышение надежности сельских электроустановок, высокопроизводительное использование электрифицированной техники и увеличение выпуска сельскохозяйственной продукции.

### Литература

1. Система планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания электрооборудования сельскохозяйственных предприятий/Система ППРЭсх/. - М., ВО Агропромиздат, 1987. – 191с.
2. Некрасов А.И. Научное обеспечение системы эксплуатации электрооборудования в сельском хозяйстве // Техника в сельском хозяйстве, № 2. – 2010. - С. 12-15.
3. Сырых Н.Н., Кабдин Н.Е. Теоретические основы эксплуатации электрооборудования. - М.: Агробизнесцентр, - 2007. – 514 с.
4. Сырых Н.Н., Некрасов А.И., Медведев А.А. Методические рекомендации по определению потребности в электродвигателях для скользящего резервирования электроприводов. Одобрены Главгормехэлектро Минсельхоза РФ. – М. ВИЭСХ, - 1992. – 31 с.
5. Сырых Н.Н., Некрасов А.И. Методические рекомендации по определению периодичности профилактических замен электрооборудования. Утверждены Россельхозакадемией от 15.06.2001 г. – М. ГНУ ВИЭСХ - 2001. – 64 с.
6. Сырых Н.Н., Некрасов А.И. Методические рекомендации по расчету потребности в запасных элементах для технического обслуживания и ремонта сельских электроустановок. – М.: ГНУ ВИЭСХ. - 2006. – 104 с.
7. Сырых Н.Н., Некрасов А.А. Математическая модель обоснования стратегии обслуживания электрооборудования // Техника в сельском хозяйстве. №3. –2009.- С.17-19.

### References

1. Sistema planovo-predupreditel'nogo remonta i tehničeskogo obsluzhivaniya jelektrooborudovaniya sel'skohozjajstvennyh predpriyatij/Sistema PPRJesh/. - M., VO Agropromizdat, 1987. – 191s.
2. Nekrasov A.I. Nauchnoe obespechenie sistemy jekspluatacii jelektrooborudovaniya v sel'skom hozjajstve // Tehnika v sel'skom hozjajstve, № 2. – 2010. - С. 12-15.
3. Syryh N.N., Kabdin N.E. Teoreticheskie osnovy jekspluatacii jelektrooborudovaniya. - M.: Agrobiznescentr, - 2007. – 514 s.
4. Syryh N.N., Nekrasov A.I., Medvedev A.A. Metodicheskie rekomendacii po opredeleniju potrebnosti v jelektrodvigateljah dlja skol'zjashhego rezervirovaniya jelektroprivodov. Odobreny Glavagromehjelektro Minsel'hoza RF. – M. VIESH, - 1992. – 31 s.
5. Syryh N.N., Nekrasov A.I. Metodicheskie rekomendacii po opredeleniju periodičnosti profilaktičeskikh zamen jelektrooborudovaniya. Utverzhdeny Rossel'hozakademiej ot 15.06.2001 g. – M. GNU VIESH - 2001. – 64 s.
6. Syryh N.N., Nekrasov A.I. Metodicheskie rekomendacii po raschetu potrebnosti v zapasnyh jelementah dlja tehničeskogo obsluzhivaniya i remonta sel'skih jelektroustanovok. – M.: GNU VIESH. - 2006. – 104 s.
7. Syryh N.N., Nekrasov A.A. Matematičeskaja model' obosnovaniya strategii obsluzhivaniya jelektrooborudovaniya // Tehnika v sel'skom hozjajstve. №3. – 2009. - С.17-19.

РОССИЙСКИЙ ИНДЕКС  
НАУЧНОГО ЦИТИРОВАНИЯ

Science Index



*Мы настоятельно рекомендуем всем нашим авторам зарегистрироваться в системе **Science Index РИНЦ**.*

*Таким образом, авторы могут более детально контролировать список своих публикаций, не только в нашем журнале, но и во всех научных изданиях, входящих в РИНЦ. Регистрация в системе также позволит узнать индекс научного цитирования автора и его публикаций.*

*Подробную инструкцию по регистрации в системе Science Index РИНЦ Вы можете найти на нашем сайте <http://research-journal.org/> в разделе «Полезно знать».*

DOI: 10.18454/IRJ.2016.51.092

Первадчук В.П.<sup>1</sup>, Владимирова Д.Б.<sup>2</sup>, Дектярев Д.Н.<sup>3</sup>, Пестерев А.А.<sup>4</sup><sup>1</sup>Доктор технических наук, профессор,

ФГБОУ ВПО Пермский национальный исследовательский политехнический университет,

<sup>2</sup>кандидат физико-математических наук, доцент,

ФГБОУ ВПО Пермский национальный исследовательский политехнический университет,

<sup>3</sup>аспирант, ФГБОУ ВПО Пермский национальный исследовательский политехнический университет,<sup>4</sup>аспирант, АО Пермская научно-производственная приборостроительная компания**МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРЕВА КВАРЦЕВЫХ ТРУБ ПОДВИЖНЫМ ИСТОЧНИКОМ ВОЗДЕЙСТВИЯ  
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ MCVD****Аннотация**

*В настоящей работе построена математическая модель нагрева кварцевой трубы подвижным тепловым источником, которая описывает температурное поле в кварцевой трубе, формируемое в ходе реального технологического процесса. Математическая модель включает в себя уравнение теплопроводности и модель подвижного источника, т.е. описание формы и мощности подводимого теплового потока, а также закон движения источника. Результаты математического описания сопоставлены с результатами натурных экспериментов, установлены зависимости между параметрами модели и параметрами эксперимента.*

**Ключевые слова:** оптимальное управление, подвижный тепловой источник, MCVD процесс.

Pervadchuk V.P.<sup>1</sup>, Vladimirova D.B.<sup>2</sup>, Dektyarev D.N.<sup>3</sup>, Pesterev A.A.<sup>4</sup><sup>1</sup>PhD in Engineering, Perm National Research Polytechnic University,<sup>2</sup>PhD Physico-Mathematical Sciences, Perm National Research Polytechnic University,<sup>3</sup>Postgraduate student, Perm National Research Polytechnic University,<sup>4</sup>Postgraduate student, Perm Scientific-Industrial Instrument Making Company**SIMULATION OF HEATING QUARTZ TUBES BY MOVING HEAT SOURCE FOR SOLVING PROBLEM  
OF PROCESS CONTROL MCVD****Abstract**

*In this work the mathematical model of heating of a quartz tube is constructed by a moving heat source which describes the temperature field in a quartz tube formed during real technological process. The mathematical model includes heat equation and the model of the moving heat source, i.e. description of the shape and power of heat flow and the law of motion of the source. The results have been compared with field experiments, model parameters have been correlated with the experiment parameters.*

**Keywords:** optimal control, moving heat source, MCVD process.

**Введение**

Технологические процессы, характеризующиеся наличием подвижных источников воздействия (тепловых, электромагнитных и т.д.) описан классом систем с подвижным управлением. В работах Бутковского А.Г. и Пустыльников Л.М. [1, 2] впервые рассмотрены вопросы подвижного управления тепловыми процессами, выполнены теоретические постановки различных практических задач, приведены примеры. В литературе можно найти работы зарубежных авторов [3, 4], посвящённых исследованию проблем управления в системах с подвижным источником воздействия.

В работе [5] авторы ставят и решают задачу моделирования и реализации системы управления подвижным источником энергии (электронным лучом, генерируемым электронной пушкой) при выплавке слитков в плоском кристаллизаторе. Задачей управления является обеспечение и поддержание заданного температурного поля на поверхности слитка путём выработки управляющих воздействий: мощности электронного луча и траектории (закона) его движения, при наличии внешних возмущений.

Одним из ключевых этапов производства специальных волоконных световодов является изготовления преформ методом модифицированного парофазного осаждения (далее процесс *MCVD*). Технологический процесс *MCVD* заключается в следующем (Рис. 1). В опорную кварцевую трубку подают пары легирующих компонентов ( $SiCl_4$ ,  $GeCl_4$ ,  $BCl_3$ ,  $POCl_3$  и т.д.) и очищенный кислород. В зоне нагрева трубки кислородно-водородной горелкой, перемещающейся вдоль трубки с заданной скоростью, происходит окисление легирующих компонентов с образованием оксидов, часть из которых под действием сил термофореза осаждается в виде тонкого слоя на внутренней поверхности кварцевой трубы [6]. Подбирая параметры этого технологического процесса можно получить требуемую концентрацию легирующих элементов, а значит и соответствующий коэффициент преломления света.

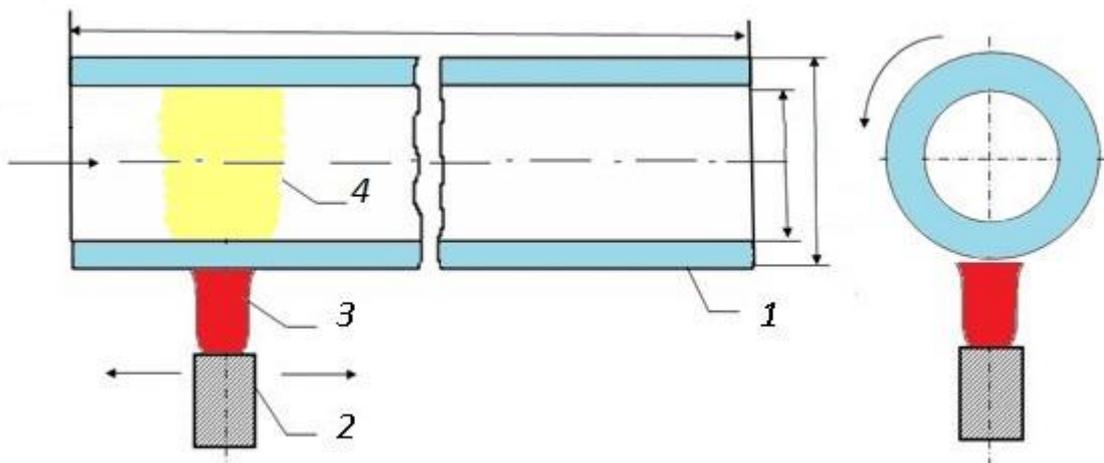


Рис. 1 – Схематическое изображение процесса MCVD: 1 – кварцевая труба; 2 – движущаяся горелка (стрелки показывают направление движения); 3 – пламя горелки; 4 – зона реакции

Одной из важнейших практических задач при реализации процесса MCVD является обеспечение однородности оптических и геометрических параметров изготавливаемой заготовки по длине. Для решения этой задачи требуется точная настройка системы управления параметрами процесса, в первую очередь, скоростью движения горелки и температурой в зоне протекания химических реакций, образования оксидов и осаждения оксидов на стенки опорной трубы.

Суть проблемы заключается в том, что контролировать температуру непосредственно в зоне реакции, где протекают физико-химические процессы, затруднительно. В то же время распределение температурного поля в зоне образования оксидов определяет не только размеры и концентрацию коагулированных частиц, но направление их движения под действием сил термофореза, так как термофоретическая сила, действующая на каждую частицу пропорциональна градиенту температурного поля в данной точке [7]. На практике ведения MCVD процесса контролируют температуру на поверхности кварцевой трубы с помощью бесконтактных инфракрасных пирометров.

#### Постановка задачи.

В процессе MCVD для обеспечения равномерности толщины осаждённого слоя скорость движения горелки вдоль кварцевой трубы изменяется. Как правило, постепенно увеличивается от начала к концу прохода. При увеличении скорости движения подвижного источника изменяется температурное поле как в кварцевой трубе, так и в движущейся газовой смеси.

Построим математическую модель нагрева кварцевой трубы подвижным тепловым источником, которая с достаточной точностью опишет температурное поле в кварцевой трубе, формируемое в ходе реального технологического процесса.

Математическая модель включает в себя уравнение энергии, в нашем случае уравнение теплопроводности, и модель подвижного источника, т. е. описание формы и мощности подводимого теплового потока, а также закон движения источника.

Подвижный источник нагрева - тепловой поток  $q(z,t)$  от газовой горелки опишем функцией Гаусса, имеющей вид

$$q(z,t) = q_{\max} \cdot e^{-\left(\frac{z - \int_0^t u(\xi) d\xi}{H}\right)^2} \quad (1)$$

где  $u(\xi)$  – скорость движения горелки,  $H$  – дисперсия (ширина пламени горелки),  $q_{\max}$  – мощность горелки,  $t$  – время,  $z$  – пространственная переменная.

Уравнение теплопроводности получено при следующих предположениях:

- температурное поле кварцевой трубки осесимметричное (это обеспечивается вращением трубы);
- теплообмен с внешней окружающей средой и газом, текущим в внутри трубы, описывается законом Ньютона;
- излучение с внешней поверхности трубы подчиняется закону Стефана-Больцмана.

Тогда в цилиндрической системе координат уравнение теплопроводности запишется в виде:

$$kC_p \frac{\partial T(t,r,z)}{\partial t} = \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left( r\lambda \frac{\partial T(t,r,z)}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda \frac{\partial T(t,r,z)}{\partial z} \right) \quad (2)$$

где  $T(t,r,z)$  – температура кварца;  $t$  – время;  $k, C_p, \lambda$  – плотность, удельная теплоемкость и теплопроводность кварца соответственно;  $r, z$  – пространственные переменные.

Уравнение (2) дополним начальными и граничными условиями вида:

$$T|_{t=0} = T_0(r, z) \quad (3)$$

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=r_1} = \alpha_2 \cdot (T - T_2) \quad (4)$$

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=r_2} = q_{\max} \cdot e^{-\left(\frac{z - \int_0^t u(\xi) d\xi}{H}\right)^2} - \varepsilon \sigma \cdot (T^4 - T_c^4) - \alpha_c \cdot (T - T_c) \quad (5)$$

$$T|_{z=z_1} = T_2(t, r) \quad (6)$$

$$T|_{z=0} = T_4(t, r) \quad (7)$$

### Расчетно-экспериментальное определение параметров модели подвижного источника воздействия.

Как отмечено выше, для идентификации подвижного теплового источника нужно определить функцию мощности  $Q_{\max}$  и параметр формы  $H$ , которые являются характеристиками конкретного источника и должны определяться из эксперимента (см. ниже). Закон движения источника, т.е. изменение скорости  $u(t)$  со временем может быть известно заранее.

Если горелка неподвижна  $u(t) = 0$ , то необходимо подобрать только две функции -  $q_{\max}$  и  $H$ . Для их определения нужно провести серию экспериментов по нагреву кварцевых труб пламенем горелки и замеру с помощью сканирующего пирометра через фиксированные промежутки времени распределение температуры на внешней поверхности трубы. По полученной информации можно подобрать искомые величины  $q_{\max}$  и  $H$  таким образом, что при их подстановке в уравнение (2), из решения последнего получали бы распределение температуры на внешней поверхности трубы, совпадающие с экспериментально полученными значениями.

На рис. 2 представлены экспериментальные и расчетные данные (с подобранными параметрами  $q_{\max}$  и  $H$ ) по распределению температуры на внешней поверхности трубы при неподвижной горелке.

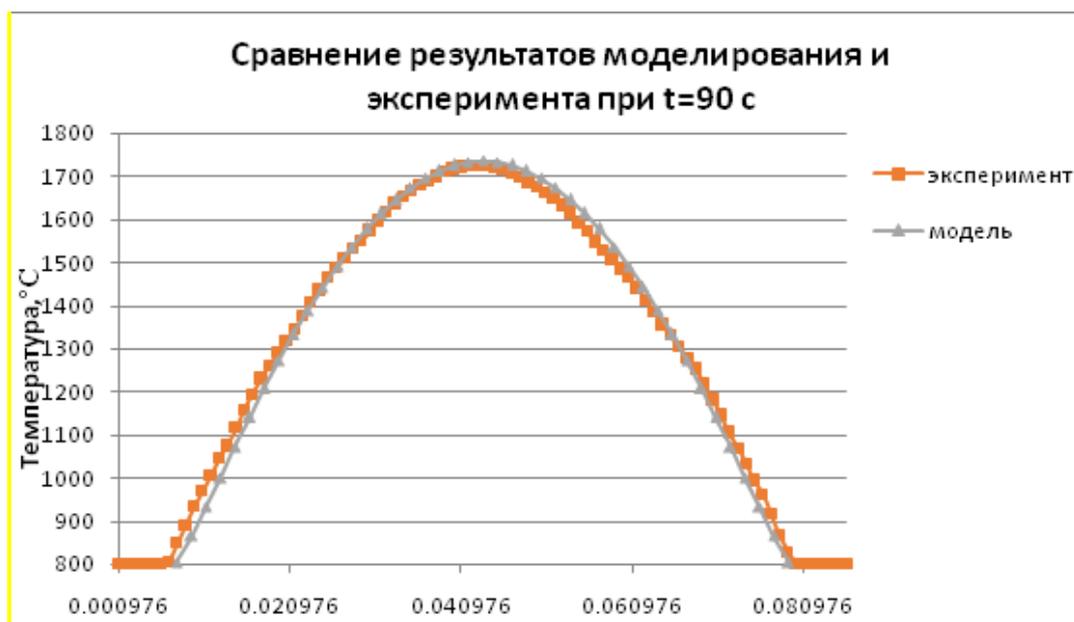
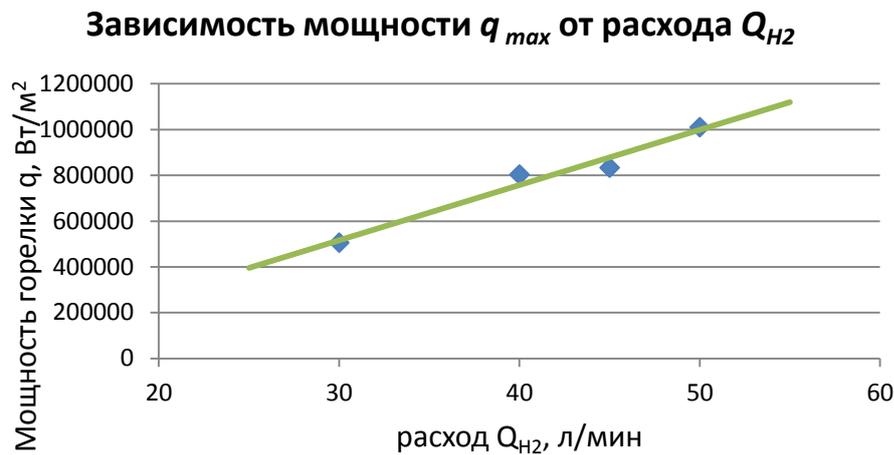
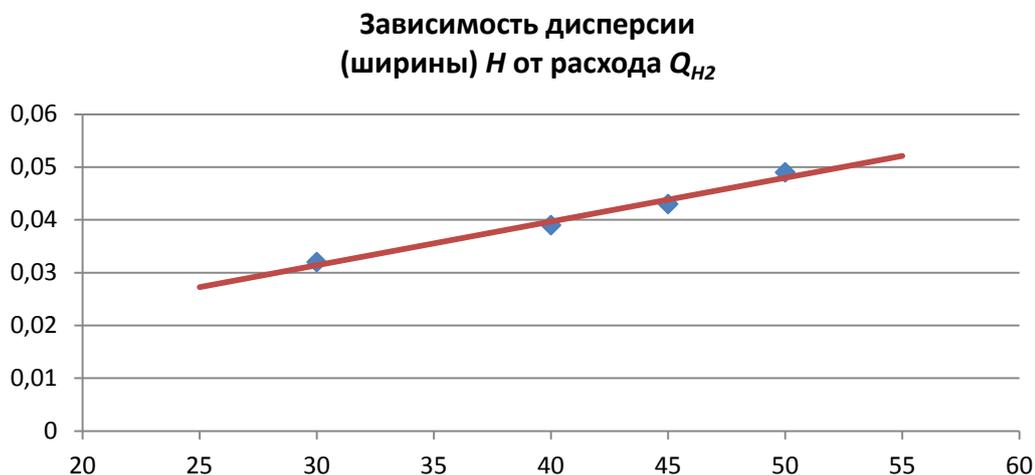


Рис. 2 – Сравнение результатов численного моделирования и эксперимента при неподвижном тепловом источнике

Очевидно, что по мере увеличения расхода водородно-кислородной смеси будут также увеличиваться значения параметров  $q_{\max}$  и  $H$ . Проведенные эксперименты показали, что в исследованном диапазоне параметры  $q_{\max}$  и  $H$  линейно зависят от расхода водорода (рис. 3 и 4, а также формулы (8) и (9))

Рис. 3 – Зависимость параметра мощности  $q_{max}$  от расхода водорода  $Q_{H_2}$ 

$$q_{max} = 24099 * Q_{H_2} - 206252 \quad , \quad (8)$$

Рис. 4 – Зависимость дисперсии  $H$  от расхода водорода  $Q_{H_2}$ 

$$H = 0,000829 * Q_{H_2} + 0,006572. \quad (9)$$

Из двух последних уравнений легко найти зависимость между  $q_{max}$  и  $H$ :

$$q_{max} = 2,907 * 10^7 * H - 15192, \quad (10)$$

$$H = 3,44 * 10^{-8} * q_{max} + 0,000523. \quad (11)$$

#### Основные результаты и их обсуждения.

После определения параметров подвижного источника  $Q_{max}$  и  $H$  численно и экспериментально было исследовано влияние различных факторов на температурное поле кварцевой трубы, и в первую очередь, на распределение температуры на внешней поверхности трубы и на максимальное значение этой температуры  $T_{max}$ . Отметим, что в большинстве случаев контроль и управление тепловым состоянием процесса MCVD осуществляются с помощью максимальной температуры. С точки зрения практики к числу таких факторов, оказывающих существенное влияние на температурное поле трубы, относятся скорость движения горелки  $u(\xi)$  и расход водорода  $Q_{H_2}$ .

Для натурального эксперимента использовали трубу из синтетического кварца с внешним диаметром  $d_2=28$ мм, внутренним диаметром  $d_1=24$ мм и длиной  $L=500$ мм, скорость вращения трубы вокруг своей оси была постоянна и равнялась 30 об/мин, расходы газа внутри трубы: кислород – 1,2 л/мин, гелий – 1,2 л/мин, расход газа азота, идущего на обдув пламени, был равен 2 л/мин., скорость движения горелки варьировали от 70 до 130 мм/мин с шагом 20 мм/мин, при этом максимальная температура поверхности кварцевой трубы не выходила из диапазона  $1800 \pm 5^\circ\text{C}$ . Температуру поверхности кварцевой трубы измеряли с помощью сканирующего пирометра Raytek F5ETMP150G5R1; полученную температуру записывали в файл для последующей обработки и анализа.

Численные расчеты модели проводились с помощью программных пакетов *COMSOL Multiphysics* и *MatLab*. На рис. 5-8 изображены расчетное температурное поле  $T_m(z,t)$  и температурное поле, полученное из натурального эксперимента  $T_e(z,t)$  при скоростях движения горелки 70, 90, 110 и 130 мм/мин.

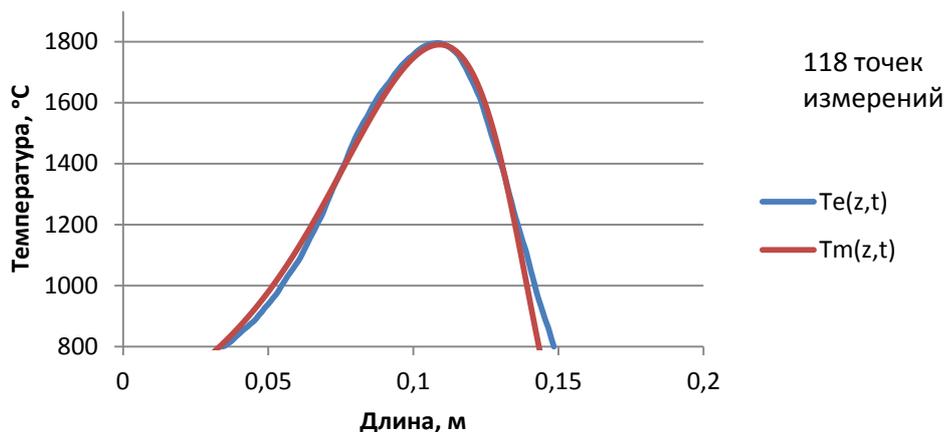


Рис. 5 – Сравнение результатов моделирования  $T_m(z,t)$  и эксперимента  $T_e(z,t)$ , скорость движения горелки = 70 мм/мин

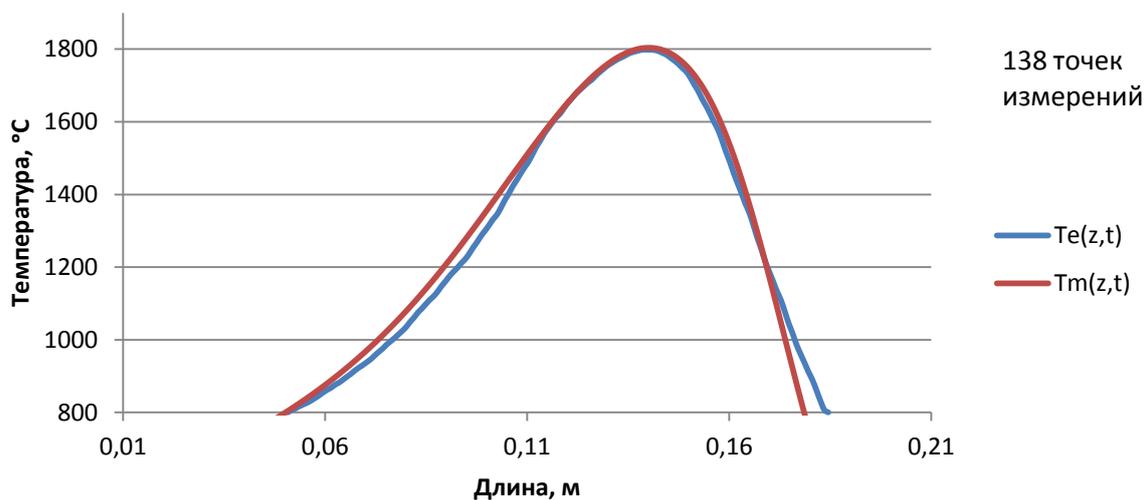


Рис. 6 – Сравнение результатов моделирования  $T_m(z,t)$  и эксперимента  $T_e(z,t)$ , скорость движения горелки = 90 мм/мин

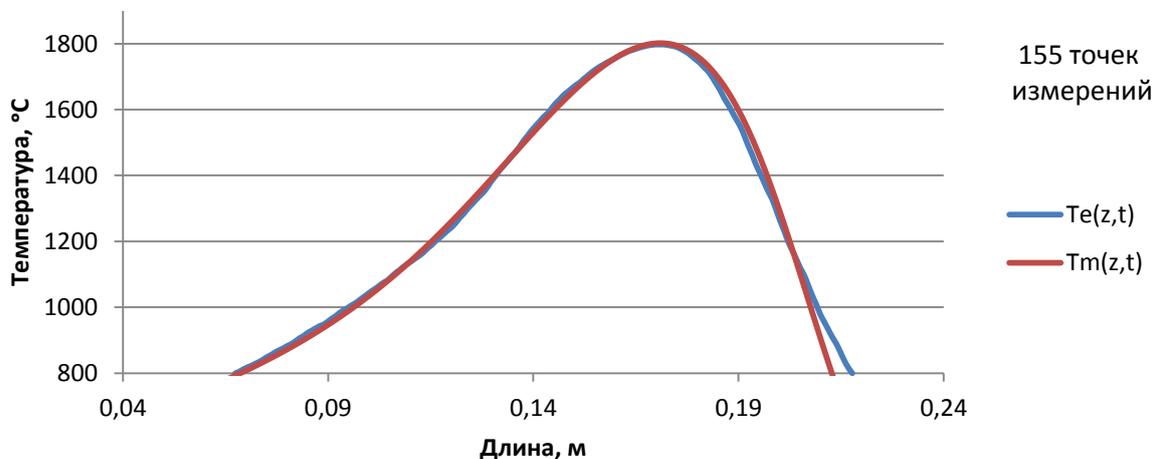


Рис. 7 – Сравнение результатов моделирования  $T_m(z,t)$  и эксперимента  $T_e(z,t)$ , скорость движения горелки = 110 мм/мин

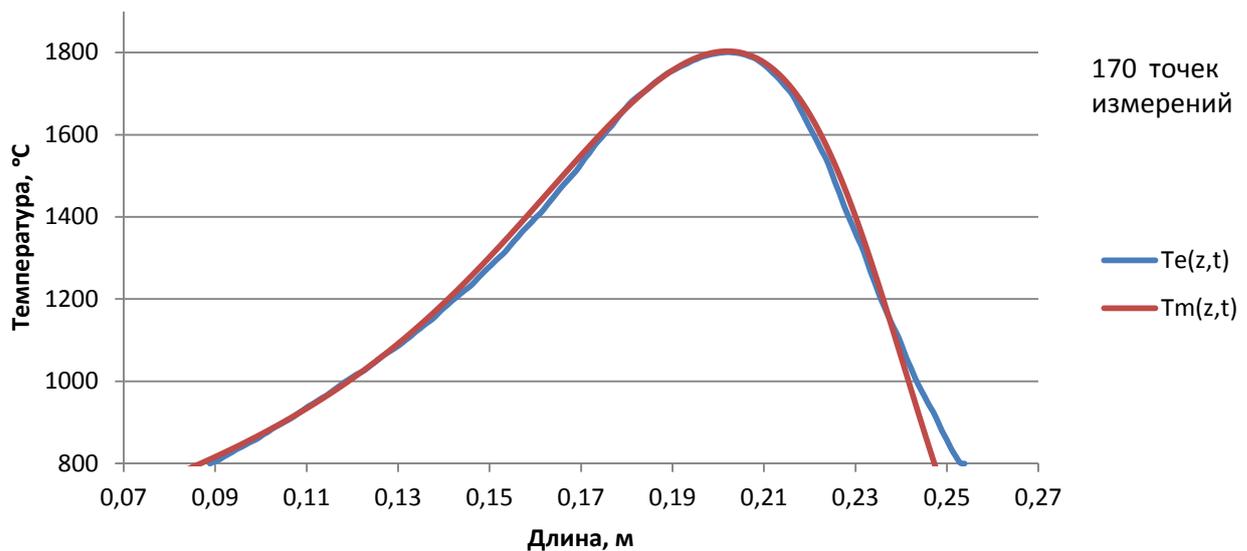


Рис. 8 – Сравнение результатов моделирования  $T_m(z,t)$  и эксперимента  $T_e(z,t)$ , скорость движения горелки = 130 мм/мин

Оценку точности соответствия результатов моделирования результатам эксперимента выполним путем вычитания массива расчетных данных из массива эксперимента. Для каждой скорости движения горелки, в диапазоне температур от 1500 до 1800°C, полученная разница укладывается в диапазон точности измерения сканирующего пирометра:  $\pm 0,5\%$  от измеренной величины. Это подтверждает, что математическая модель с достаточной точностью имитирует реальное температурное поле кварцевой трубы.

Теоретические и экспериментальные исследования позволили не только количественно оценить влияние различных факторов на тепловые процессы (см. рис.5-8), но и получить ряд важных закономерностей, представляющих определенный практический интерес для технологии MCVD. Здесь имеется в виду, тот факт, что при неподвижной горелке максимальная температура кварцевой трубы находится на оси симметрии факела пламени. Однако по мере увеличения скорости горелки максимальная температура начинает смещаться от оси симметрии в сторону противоположную направлению движения горелки. Причем, чем больше скорость теплового источника, тем больше смещение. Указанный факт необходимо принимать во внимание при контроле и управлении процессом с помощью ИК-пирометров.

#### Заключение

Работы в направлении повышения качества геометрических и оптических характеристик заготовок изготовленных методом MCVD возможны путём усовершенствования технологических процессов.

Полученные результаты моделирования подвижного источника соответствуют результатам натурального эксперимента нагрева кварцевой трубы с достаточным уровнем точности и могут быть использованы в дальнейшем для построения распределенных систем управления с подвижным источником воздействия.

#### Литература

1. Бутковский А.Г., Даринский Ю.В., Пустыльников Л.М. Управление распределенными системами путем перемещения источника. Автоматика и телемеханика, 1974, №5.
2. Бутковский А.Г., Пустыльников Л.М. Теория подвижного управления системами с распределенными параметрами. М.: "Наука", 1980.
3. Martin J.-C.E. On an Optimal Scanning Control Problem in an One Dimensional Space. IEEE Trans on Autom. Contr., 1977, Vol.AC-22, №4, p.905-915.
4. Martin J.-C.E. Chrysosoverghi J.N. Optimal Boundary Scanning Control of Parabolic Systems Using Relaxed Controls. Int. J. of Contr., 1978, Vol.27, №6, p.905-915.
5. В.А. Кубышкин, В.С. Суховеров. Система моделирования и управления подвижным воздействием на базе программных средств MATLAB. Проблемы управления №2, 2008.
6. MacChesney and Kenneth I. Walker. An overview of the Modified Chemical Vapor Deposition (MCVD) process and performance. IEEE journal of quantum electronics, VOL. QE-18, NO. 4, APRIL 1982.
7. K. L. Walker, F. T. Geyling, and S. R. Nagel. Thermophoretic Deposition of Small Particles in the Modified. Thermophoretic Deposition of Small Particles in the Modified. Journal of the American Ceramic Society. 1980.

#### References

1. Butkovskij A.G., Darinskij Ju.V., Pustyl'nikov L.M. Upravlenie raspedelennymi sistemami putem peremeshhenija istochnika. Avtomatika i telemehanika, 1974, №5..
2. Butkovskij A.G., Pustyl'nikov L.M. Teorija podvizhnogo upravlenija sistemami s raspredelennymi parametrami. M.: "Nauka", 1980.
3. Martin J.-C.E. On an Optimal Scanning Control Problem in an One Dimensional Space. IEEE Trans on Autom. Contr., 1977, Vol.AC-22, №4, p.905-915.
4. Martin J.-C.E. Chrysosoverghi J.N. Optimal Boundary Scanning Control of Parabolic Systems Using Relaxed Controls. Int. J. of Contr., 1978, Vol.27, №6, p.905-915.

5. V.A. Kubyshkin, V.S. Suhoverov. Sistema modelirovaniya i upravleniya podvizhnym vozdeystviem na baze programmnyh sredstv MATLAB. Problemy upravleniya №2, 2008.

6. MacChesney and Kenneth I. Walker. An overview of the Modified Chemical Vapor Deposition (MCVD) process and performance. IEEE Journal of quantum electronics, VOL. QE-18, NO. 4, APRIL 1982.

7. K. L. Walker, F. T. Geyling, and S. R. Nagel. Thermophoretic Deposition of Small Particles in the Modified. Thermophoretic Deposition of Small Particles in the Modified. Journal of the American Ceramic Society. 1980.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.51.110

Сагателян Г.Р.<sup>1</sup>, Данилов Г.Ю.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Доктор технических наук, профессор,

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)»,

<sup>2</sup>Бакалавр, ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)»,

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНИЧЕСКОЙ ДИФРАКЦИИ ДЛЯ РЕШЕТОК, РАБОТАЮЩИХ НА ПРОПУСКАНИЕ

*Аннотация*

*В статье описана методика экспериментального определения углов дифракции в нулевом и первом порядках при косом наклонном падении света на амплитудные и рельефно-фазовые дифракционные решетки (ДР), работающие на пропускание, в отличие от известных аналогичных исследований, где рассматриваются только отражающие дифракционные решетки. Дано описание сконструированного для этой цели оптического стенда и специально изготовленных образцов, представляющих собой наборы амплитудных и рельефно-фазовых решеток разного периода. Приведена эмпирически установленная формула, описывающая взаимосвязь между углом поворота ДР и углом отклонения луча, дифрагированного на повернутой ДР. Установлена зависимость дифракционной эффективности от периода и глубины рельефа дифракционных решеток.*

**Ключевые слова:** наклонное падение света; рельефно-фазовые дифракционные решетки; углы дифракции; дифракционная эффективность.

Sagatelyan H.R.<sup>1</sup>, Danilov G.Ju.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PhD in Engineering, Professor, Federal state budgetary institution of higher professional education  
Bauman Moscow State Technical University (National research university of technology),

<sup>2</sup>Bachelor, Federal state budgetary institution of higher professional education

Bauman Moscow State Technical University (National research university of technology)

### EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE PARAMETERS OF CONICAL DIFFRACTION BY TRANSMISSION GRATINGS

*Abstract*

*The article describes a method of experimental determination of the diffraction angles in the zero and first orders at oblique incidence of light on the amplitude and the relief-phase diffraction gratings (DG), working on the transmission, in contrast to the known similar studies, which deals only reflective diffraction gratings. The description of designed for this purpose optical bench and specially prepared samples, sets of amplitude and relief-phase gratings with different periods, is given. Empirical equation describing the relationship between the angle of rotation DG and the angle of deflection of the beam diffracted on a rotated DG is shown. The relationship between the diffraction efficiency, period and depth of the grooves is determined by experiment.*

**Keywords:** oblique incident beam; relief-phase diffraction gratings; diffraction angles; diffraction efficiency.

## **В**ведение

Известно, что при непараксиальной плоской дифракции неравномерность нарастания углов порядков дифрагированных лучей сильно зависит от угла падения пучка света на дифракционную решетку [1, 2]. Вместе с тем, при косом наклонном падении (коническая дифракция) возникают сложности математического описания углов распространения различных порядков дифрагированных лучей [3]. Наклонное падение света заключается в неперпендикулярности падающего луча плоскости ДР, косое наклонное падение – в неперпендикулярности плоскости падения линиям ДР. Для аналитического описания углов распространения дифрагированных лучей при конической дифракции применяют метод, основанный на рассмотрении пространства направляющих косинусов [4].

Судя по результатам опубликованных исследований по применению конической дифракции в оптических и оптико-электронных приборах, рассматриваются исключительно дифракционные решетки, работающие на отражение [5-8]. В тех же случаях, когда рассматриваются решетки, работающие на пропускание света, используется так называемый «плазмонный эффект» [9, 10], представляющий собой предмет отдельного рассмотрения. Тем не менее, принцип работы ряда оптико-электронных приборов основан на применении конической дифракции при работе дифракционных решеток на прохождение света [11].

Основной особенностью обычных (амплитудных) дифракционных решеток, работающих на пропускание света, является то, что энергия дифрагированных лучей сосредоточена в основном в нулевом порядке дифракции. Если для дифракционных решеток, работающих на отражение, разработаны эшеллеты, т.е. фазовые дифракционные решетки, концентрирующие энергию в требуемом порядке дифракции [1, 2], то для решеток, работающих на пропускание света, аналогичных разработок нет. Однако имеются исследования, направленные на определение дифракционной

эффективности в различных порядках дифракции рельефно-фазовых дифракционных решеток, работающих на пропускание света [12, 13].

В перечисленных публикациях рассматриваются идеализированные рельефно-фазовые дифракционные решетки. В то же время имеются упоминания об ограничениях электромагнитной и скалярной теорий, используемых при расчете таких решеток. В результате, применение на практике рекомендуемых аналитических выражений крайне затруднено. В связи с этим, актуальным представляется экспериментальное исследование конической дифракции при работе на пропускание в части определения углов дифракции и дифракционной эффективности в различных порядках.

#### Методика экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования проводили на специализированном оптическом стенде [14]. Схема наладки стенда представлена на рис. 1.

В качестве источника излучения применяли полупроводниковый лазер 1 с длиной волны  $\lambda = 532$  нм. После отражения от зеркал 2 лазерный луч направлялся вдоль оси паза оптического стола. Для повышения точности измерений лазерный луч пропускали через отверстие в диафрагме 3 диаметром 0,4 мм. Для устранения негативных последствий дифракции лазерного луча на отверстии диафрагмы 3, применяли также собирающую линзу 4, которая фокусировала лазерный луч на исследуемую ДР, выполненную на образце 6, который, в свою очередь, был установлен на измерительном поворотном столике 5 (рис. 2).

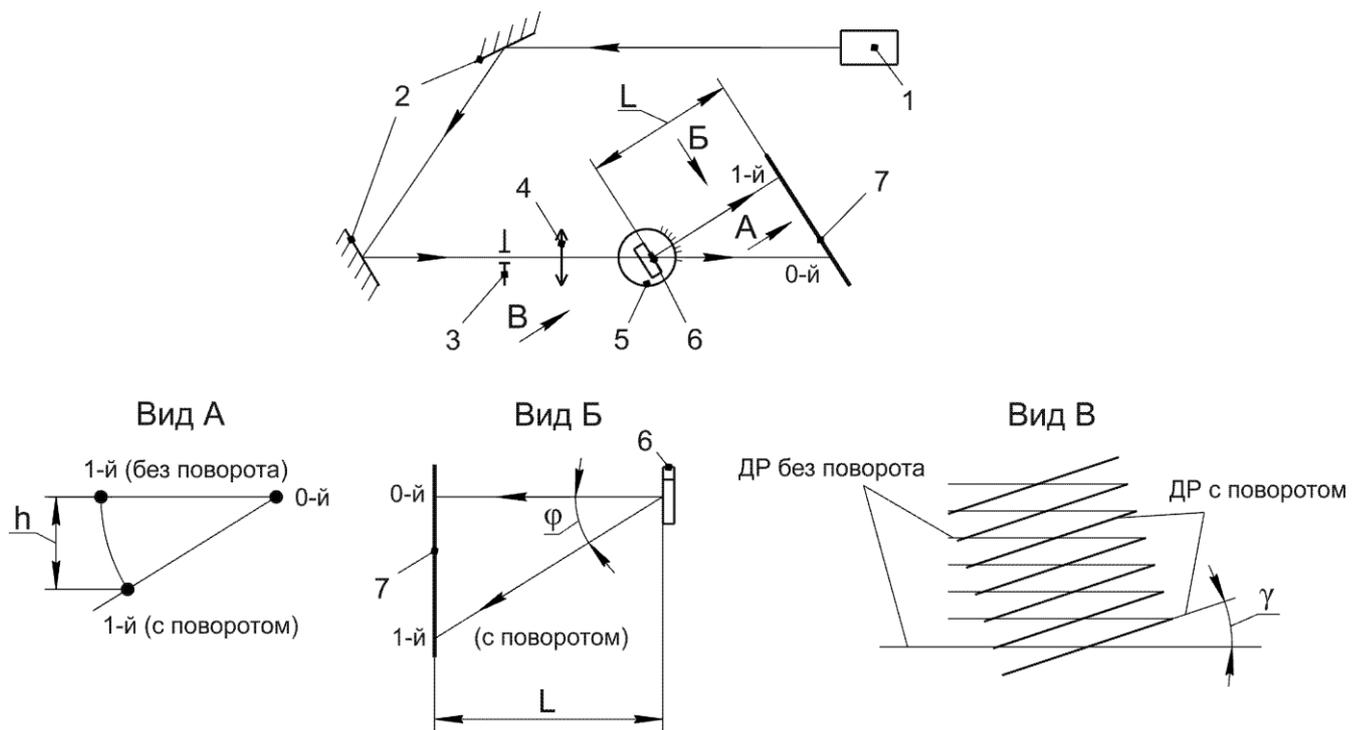


Рис. 1 – Оптический стенд: 1 – лазер; 2 – зеркала; 3 – диафрагма; 4 – собирающая линза; 5 – поворотный столик; 6 – образец; 7 – экран.

Исследуемые образцы представляли собой набор дифракционных решеток с различными периодами (рис 3). Амплитудные дифракционные решетки изготавливали методом электронно-лучевой литографии на заготовках фотошаблонов для интегральных микросхем с хромовым покрытием. Фазовые дифракционные решетки получали плазмохимическим травлением, используя хромовое покрытие амплитудных дифракционных решеток в качестве маски [11].

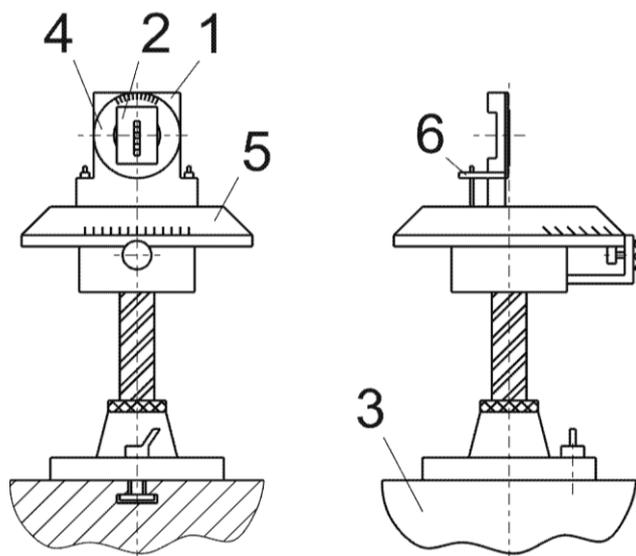


Рис. 2 – Установка образца на поворотном столике: 1 – держатель образца; 2 – образец; 3 – оптический стол; 4 – поворотное кольцо со шкалой; 5 – поворотный столик; 6 – прижимы

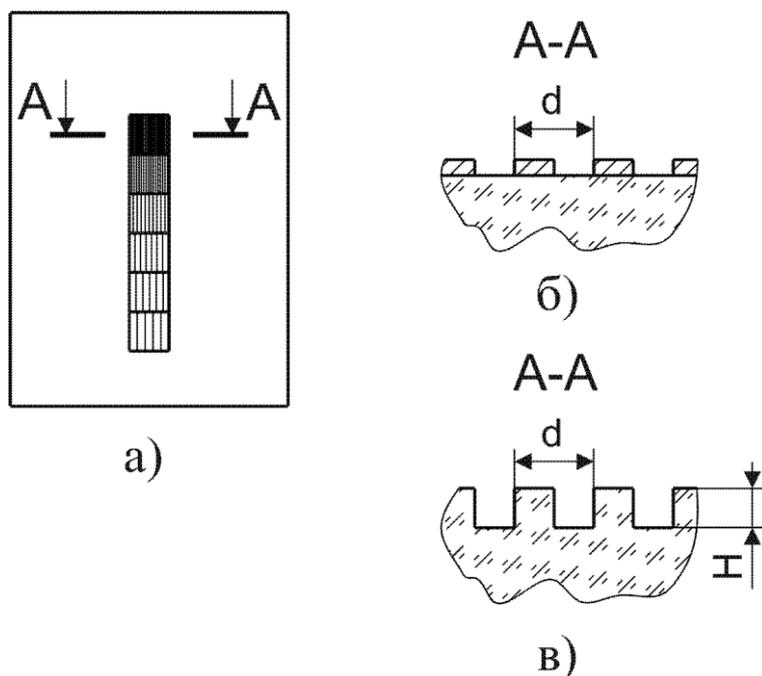


Рис. 3 – Конструктивное устройство исследуемых образцов: а – внешний вид; б – амплитудная дифракционная решетка; в – рельефно-фазовая дифракционная решетка

Исследовали образцы с периодами дифракционных решеток  $d = 800$  и  $1000$  нм. В результате плазмохимического травления получали микрорельеф глубиной от 50 до 250 нм.

Угол поворота  $\gamma$  задавали и измеряли при помощи специально изготовленного приспособления со шкалой. Это приспособление устанавливали и закрепляли на поворотном столике 5 (см. рис. 2).

Угол отклонения  $\varphi$  определяли, измеряя расстояние  $L$  между образцом и экраном, а также, измеряя на самом экране расстояние  $h$ , на которое смещается точка первого порядка дифракции при повороте образца на угол.

Интенсивности световых потоков измеряли специальным измерителем мощности лазерного излучения, включавшим измерительную головку с фотодиодом и специальное программное обеспечение [15].

#### Результаты экспериментальных исследований и их обсуждение

Экспериментально определили взаимосвязь между углом поворота  $\gamma$  и углом  $\varphi$  отклонения луча, дифрагированного на повернутой ДР.

На рис. 4 совмещены результаты измерений амплитудных и фазовых дифракционных решеток (ДР). ДР с периодом  $d = 1000$  нм обозначены кружочками, а ДР с периодами  $d = 800$  нм обозначены квадратиками. При этом фазовым ДР соответствуют закрашенные фигуры, а амплитудным – незакрашенные.

Из рассмотрения графиков на рисунке 4 можно сделать следующие выводы:

- зависимости углов отклонения  $\varphi$  от углов поворота  $\gamma$  для амплитудных и фазовых ДР идентичны;
- углы отклонения  $\varphi$  и поворота  $\gamma$  не совпадают (не равны между собой);

- углы отклонения  $\varphi$  (во всяком случае, в исследованном диапазоне периодов дифракционных решеток  $d = 800 - 1000$  нм) меньше, чем углы поворота  $\gamma$ ;

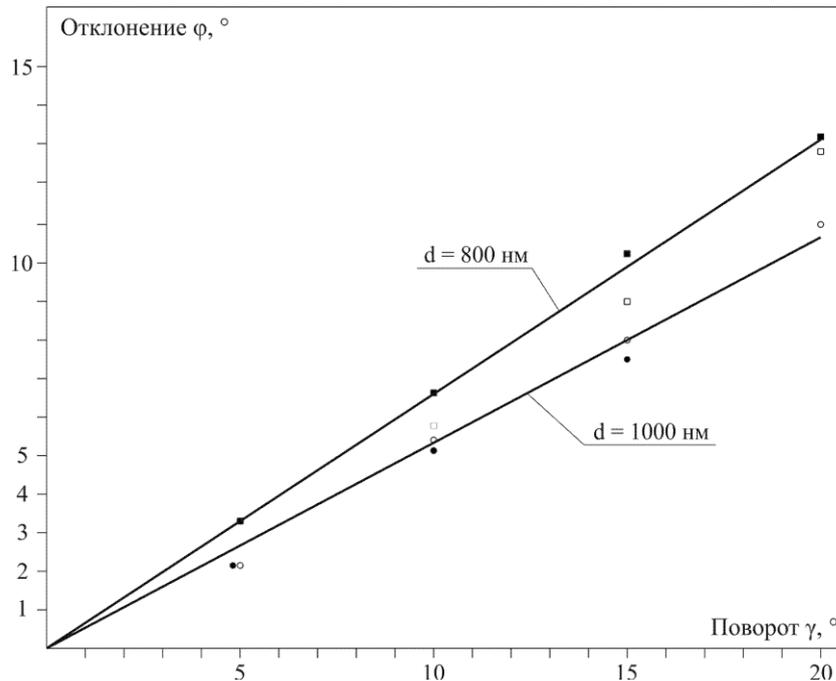


Рис. 4 – Экспериментальная зависимость угла отклонения  $\varphi$  от угла поворота  $\gamma$  - зависимость углов отклонения от углов поворота линейная и описывается формулой

$$\varphi = k\gamma, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности, найденный эмпирически.

Можно считать, что для периода ДР  $d = 1000$  нм  $k = 0,51$ , а для периода ДР  $d = 800$  нм  $k = 0,65$ .

В теоретических работах по определению зависимости дифракционной эффективности ДР от глубины профиля  $H$  рассматривается только нормальное падение луча на ДР, тогда как практический интерес представляет данная зависимость и при наклонном падении для достижения максимальной интенсивности в рабочем порядке.

Для эмпирического установления влияния периода на дифракционную эффективность фазовых ДР была изготовлена линейка, состоящая из фазовых ДР с периодами  $d = 800, 900, 1000, 1100, 1200, 1300$  нм. Глубина канавок всех этих ДР одинакова, т.к. они получены за одну операцию ПХТ. Цель исследования заключалась в установлении факта влияния периода фазовой ДР (точнее – соотношения между периодом ДР  $d$  и длиной волны  $\lambda$  падающего пучка лазерного излучения) на ее дифракционную эффективность.

Указанное экспериментальное исследование осуществляли на оптическом стенде, схема которого представлена на рис. 1.

Интенсивность лазерного излучения измеряли компьютеризированным прибором, измерительную головку которого помещали на пути распространения лазерного луча до ДР (зона Б) и после ДР (зона А). При этом в зоне Б измерялась интенсивность недифрагированного лазерного луча, а в зоне А измерялись интенсивности дифрагированного лазерного луча в 0-м и 1-м порядках дифракции.

Изменения проводили для двух случаев расположения образца:

- при ортогональном падении излучения на образец;
- при наклонном падении излучения на образец.

Во втором случае (т.е. при наклонном падении излучения на образец) угол поворота образца выбирали таким образом, чтобы луч первого порядка дифракции распространялся перпендикулярно к плоскости образца: для периодов ДР  $d = 800, 900, 1000, 1100, 1200, 1300$  нм эти углы поворота (они же углы падения  $\theta$ ) составили соответственно:  $\theta = 43^\circ, 37^\circ, 33^\circ, 29^\circ, 26^\circ, 26^\circ$ .

Результаты измерений представлены на рис. 5. Угол падения  $\theta$  изменяли в зависимости от периода исследуемой ДР.

Можно видеть, что при наклоне образца интенсивность проходящего через стекло лазерного излучения уменьшается, что обусловлено явлением возрастания коэффициента отражения с увеличением угла падения. Можно видеть, что для периода дифракционной решетки  $d = 1000$  нм наблюдается предсказываемое теорией ослабление интенсивности излучения в 0-м порядке при одновременном увеличении этой интенсивности в 1-м порядке дифракции. Этот факт обосновывает эмпирически возможность перераспределения интенсивности лазерного излучения из 0-го порядка дифракции в 1-й за счет создания именно рельефно-фазовой дифракционной решетки взамен амплитудной. Эта возможность усиливается при наклонном падении лазерного луча на ДР.

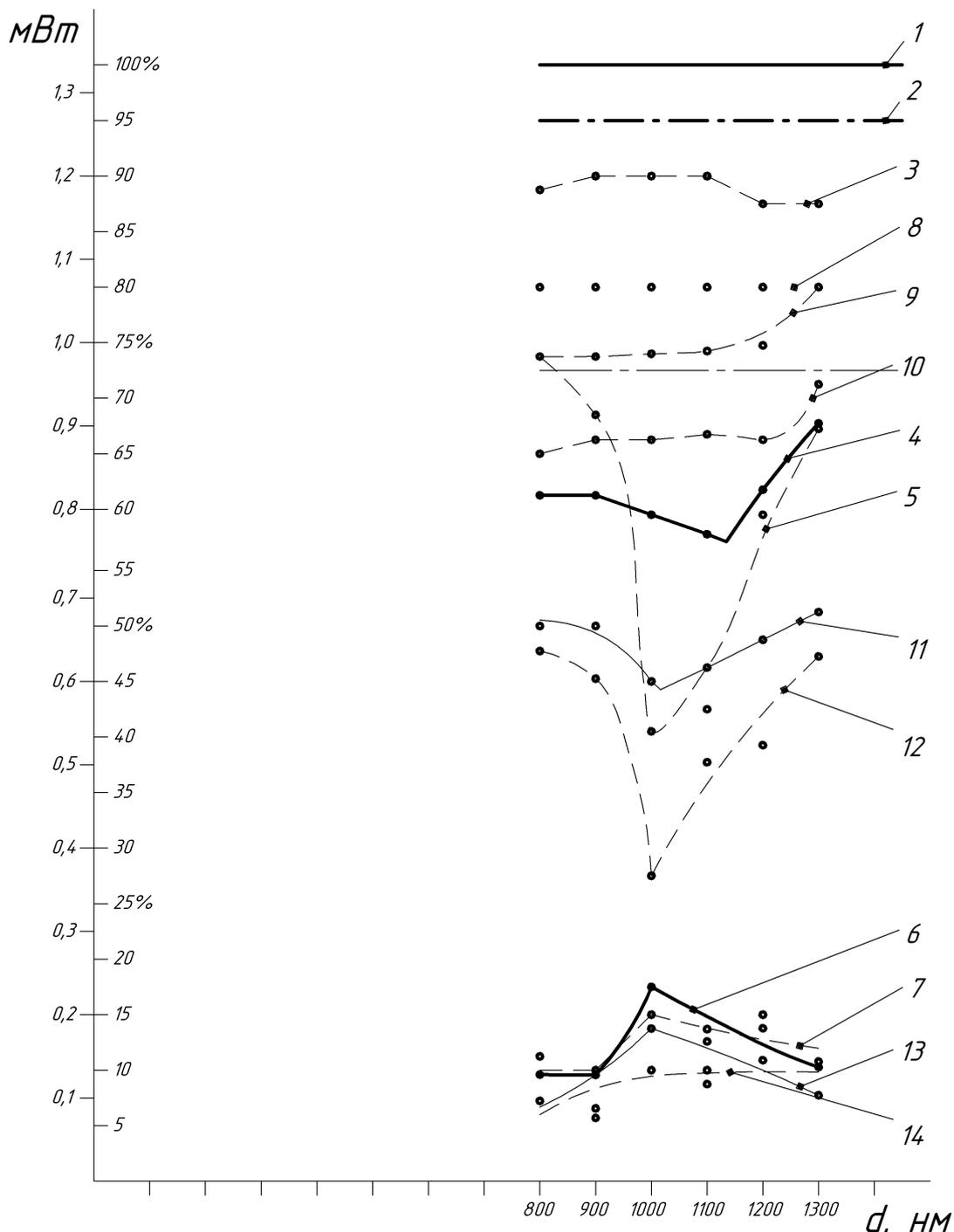


Рис. 5 – Экспериментальные зависимости дифракционной эффективности от периода ДР: 1 – полная интенсивность лазерного излучения, замеренная в зоне Б; 2 – интенсивности лазерного излучения, замеренная в зоне А, при ортогональном падении лазерного луча на образец и при прохождении луча только через стекло; 3 – то же, что и 2, но при различных исследованных углах наклона образца; 4 – интенсивность лазерного излучения в 0-м порядке дифракции при ортогональном падении лазерного луча; 5 – то же, что и 4, но при наклонном падении лазерного луча; 6 и 7 – интенсивности лазерного излучения в 1-м порядке дифракции при ортогональном (линия 6) и наклонном (линия 7) падении лазерного луча; 8 – мощность падающего излучения в зоне Б, выраженная в Ваттах; 9 и 10 – мощность в Ваттах в зоне А при ортогональном (9) и наклонном (10) падении; 11 и 12 – интенсивности дифрагированного лазерного излучения в 0-м порядке дифракции при ортогональном (11) и наклонном (12) падении луча на образец; 13 и 14 – интенсивности дифрагированного лазерного излучения в 1-м порядке дифракции при ортогональном (13) и наклонном (14) падении

Также было проведено экспериментальное установление взаимосвязи между глубиной рельефа  $H$  фазовой ДР и получаемой дифракционной эффективностью. Дифракционную эффективность оценивали, как доли интенсивностей света в 0-м и 1-м порядках дифракции в общей интенсивности прошедшего через образец света. При этом за общую интенсивность прошедшего через образец света принимали интенсивность, замеренную в зоне Б.

На рисунке 6 показаны полученные эмпирические зависимости для образца с периодом  $d = 1000$  нм.

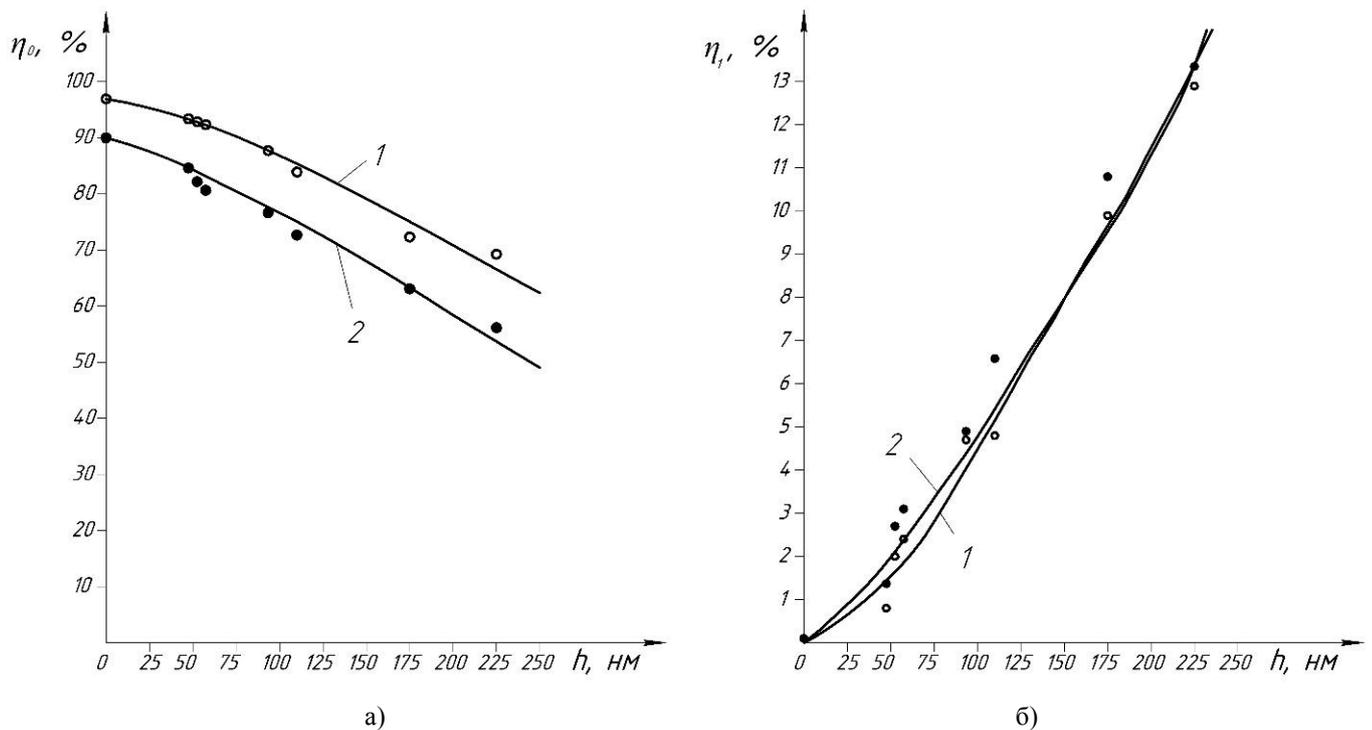


Рис. 6 – Доля прошедшего излучения: а) – для 0-го порядка; б) – для 1-го порядка. 1 – нормальное падение луча на решетку  $\theta = 0^\circ$ ; 2 –  $\theta = 32^\circ$

Из рассмотрения графиков на рисунке б видно, что с увеличением глубины канавок, формирующих рельеф фазовой дифракционной решетки, происходит перераспределение интенсивности света между порядками дифракции, что согласуется с теорией [12]. При выборе высоты профиля  $H$  нужно стремиться к тому, чтобы интенсивность света в 0-м порядке была минимальной, а в 1-м максимальной.

#### Выводы

Угол отклонения  $\varphi$  дифрагированных в первом порядке лучей линейно зависит от угла поворота линий дифракционных решеток  $\gamma$ . Эту зависимость можно описать эмпирически установленной формулой (1). При этом коэффициент пропорциональности  $k$  уменьшается с увеличением периода  $d$  решетки.

Фазовые ДР позволяют сфокусировать максимум интенсивности света в нужном порядке дифракции, перераспределение можно осуществить выбором глубины канавок, образующих профиль фазовой ДР.

#### Литература

1. Ландсберг Г.С. Дифракция при косом падении света на решётку // Элементарный учебник физики. — 13-е изд. – Т. 3. Колебания и волны. Оптика. Атомная и ядерная физика. — М.: Физматлит, 2003. — С. 347-348.
2. Born M., Wolf E. Principles of Optics. – Pergamon, 1980. – P. 598.
3. Moharam M.G., Gaylord T.K. Three-dimensional vector coupled-wave analysis of planar-grating diffraction. - J. Opt. Soc. Am. – 1983. Vol. 73. - P. 1105- 1112.
4. Harvey J.E., Venold C.L. Description of Diffraction Grating Behavior in Direction Cosine Space. - Appl. Opt. – 1998. Vol. 37. – P. 8158–8160.
5. An EUV beamsplitter based on conical grazing incidence diffraction / C. Braig, L. Fritzsche, T. Kasebier, E.-B. Kley, C. Laubis, Y. Liu, F. Scholze and A. Tunnermann. - Optics Express. – 2012. Vol. 20, № 2. – P. 1825 – 1838.
6. Virtual display design using waveguide hologram in conical mounting configuration / Z. Yan, W. Li, Y. Zhou, M. Kang and Z. Zheng. - Optical Engineering 50(9), 094001 (September 2011). – P. 1 – 8.
7. Harvey J. E., Krywonos A., Bogunovic D. Nonparaxial scalar treatment of sinusoidal phase gratings. - J. Opt. Soc. Am. A. - 2006. Vol. 23, No. 4. – P. 858 – 865.
8. Angular distribution of light scattered from a sinusoidal grating / E. Marx, Th.A. Germer, Th.V. Vorburger and B.C. Park. - Applied Optics. - 2000. Vol. 39, No. 25. - P. 4473-4485.
9. Ruffato G., Zacco G., Romanato F. Innovative Exploitation of Grating-Coupled Surface Plasmon Resonance for Sensing / Plasmonics – Principles and Applications. - <http://dx.doi.org/10.5772/51044>. – P. 419 – 444.
10. Plasmonic grating as a nonlinear converter-coupler / N. Talebi, M. Shahabadi, W. Khunsin and R. Vogelgesang. – Optics Express. – 2012. Vol. 20, No. 2. – P. 1392 – 1405.
11. Одинокое С.Б., Сагателян Г.Р., Ковалев М.С. Расчет, конструирование и изготовление дифракционных и голограммных оптических элементов: учебное пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 121 с.
12. Кноп К. Rigorous diffraction theory for transmission phase gratings with deep rectangular grooves. - J. Opt. Soc. Am. - 1978. Vol. 68, No.9. – P. 1206 – 1210.
13. Настас А.М., Иову М.С. Исследование влияния глубины рельефа на дифракционную эффективность отражающей и пропускающей рельефно-фазовых дифракционных решеток. - Журнал технической физики. – 2015. Т. 85, №7. — С. 133-134.

14. Исследование амплитудной и фазовой модуляционных характеристик жидкокристаллического пространственного модулятора света в оптической системе голографической памяти / С.Б. Одинокоев, В.В. Маркин, А.Ю. Павлов, Д.С. Лушников, А.О. Борисанова - Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. "Приборостроение". - 2011. № 3. - С. 34 - 50.

15. Разработка стенда для получения малогабаритного голографического индикатора отображения знаково-символьной информации / С.Б. Одинокоев, В.В. Колочкин, В.В. Маркин, А.Б. Соломашенко. - Естественные и технические науки. - № 1 (63), 2013. - С. 196-198

#### References

1. Landsberg G.S. Difrakcija pri kosom padenii sveta na reshjotku // Jelementarnyj uchebnik fiziki. — 13-e izd.— Т. 3. Kolebanija i volny. Optika. Atomnaja i jadernaja fizika. — М.: Fizmatlit, 2003. — S. 347-348.

2. Born M., Wolf E. Principles of Optics. — Pergamon, 1980. — P. 598.

3. Moharam M.G., Gaylord T.K. Three-dimensional vector coupled-wave analysis of planar-grating diffraction. - J. Opt. Soc. Am. — 1983. Vol. 73. - P. 1105- 1112.

4. Harvey J.E., Venold C.L. Description of Diffraction Grating Behavior in Direction Cosine Space. - Appl. Opt. — 1998. Vol. 37. — P. 8158–8160.

5. An EUV beamsplitter based on conical grazing incidence diffraction / C. Braig, L. Fritzsche, T. Kasebier, E.-B. Kley, C. Laubis, Y. Liu, F. Scholze and A. Tunnermann. - Optics Express. — 2012. Vol. 20, № 2. — P. 1825 – 1838.

6. Virtual display design using waveguide hologram in conical mounting configuration / Z. Yan, W. Li, Y. Zhou, M. Kang and Z. Zheng. - Optical Engineering 50(9), 094001 (September 2011). — P. 1 – 8.

7. Harvey J. E., Krywonos A., Bogunovic D. Nonparaxial scalar treatment of sinusoidal phase gratings. - J. Opt. Soc. Am. A. - 2006. Vol. 23, No. 4. — P. 858 – 865.

8. Angular distribution of light scattered from a sinusoidal grating / E. Marx, Th.A. Germer, Th.V. Vorburger and B.C. Park. - Applied Optics. - 2000. Vol. 39, No. 25. - P. 4473-4485.

9. Ruffato G., Zacco G., Romanato F. Innovative Exploitation of Grating-Coupled Surface Plasmon Resonance for Sensing / Plasmonics – Principles and Applications. - <http://dx.doi.org/10.5772/51044>. — P. 419 – 444.

10. Plasmonic grating as a nonlinear converter-coupler / N. Talebi, M. Shahabadi, W. Khunsin and R. Vogelgesang. — Optics Express. — 2012. Vol. 20, No. 2. — P. 1392 – 1405.

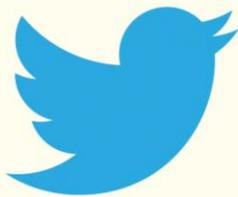
11. Odiнокоев S.B., Sagatelijan G.R., Kovalev M.S. Raschet, konstruirovaniye i izgotovleniye difrakcionnyh i gologrammyh opticheskikh jelementov: uchebnoe posobie. — М.: Izd-vo MGTU im. N.Je. Baumana, 2014. — 121 s.

12. Knop K. Rigorous diffraction theory for transmission phase gratings with deep rectangular grooves. - J. Opt. Soc. Am. - 1978. Vol. 68, No.9. — P. 1206 – 1210.

13. Nastas A.M., M Iovu .S. Issledovanie vlijaniya glubiny rel'efa na di-frakcionnuju jeffektivnost' otrazhajushhej i propuskajushhej rel'efno-fazovyh difrakcionnyh reshetok. - Zhurnal tehnicheckoj fiziki. — 2015. T. 85, №7. — S. 133-134.

14. Issledovanie amplitudnoj i fazovoj moduljacionnyh harakteristik zhidkokristallicheskogo prostranstvennogo moduljatora sveta v optiche-skoj sisteme golograficheskoj pamjati / S.B. Odiнокоев, V.V. Markin, A.Ju. Pavlov, D.S. Lushnikov, A.O. Borisanova - Vestnik MGTU im. N.Je. Bau-mana. Ser. "Priborostroenie". - 2011. № 3. — S. 34 – 50.

15. Razrabotka stenda dlja poluchenija malogabaritnogo golograficheskogo indikatora otobrazhenija znakovo-simvol'noj informacii / S.B. Odiнокоев, V.V. Koljuchkin, V.V. Markin, A.B. Solomashenko. - Estestvennye i tehni-cheskie nauki. - № 1 (63), 2013. - S. 196-198.



<https://twitter.com/JournalResearch>

Ссылки на новые статьи «Международного научно-исследовательского журнала» Вы сможете найти в Твиттере.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.51.014

Таева А.М.<sup>1</sup>, Узakov Я.М.<sup>2</sup><sup>1</sup>Кандидат технических наук, профессор Алматинский технологический университет,<sup>2</sup>академик НАЕН РК, доктор технических наук, профессор, Алматинский технологический университет, г. Алматы, РК**ИССЛЕДОВАНИЕ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ ВЕРБЛЮЖЬЕГО МЯСА КАК СЫРЬЯ  
ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ****Аннотация**

*Статья посвящена изучению пищевой ценности верблюжатины как сырья для производства функциональных мясопродуктов, показаны наиболее ценные полезные свойства верблюжатины, которые обусловлены специфическим химическим составом данного мясного продукта, отличающегося повышенным содержанием белка, небольшим - холестерина, а также практически полным отсутствием жиров. Представлены особенности мяса верблюда, которые позволяют включать его в рацион диетического питания. Употребление верблюжатины стимулирует процессы кроветворения и метаболизма, уменьшает содержание в крови сахара и холестерина, а также снижает проницаемость стенок кровеносных сосудов, что, в свою очередь, нормализует сердечный ритм и артериальное давление. Кроме того, данный вид мяса улучшает состояние слизистых оболочек, работу желудочно-кишечного тракта, а помимо того - оказывает антиоксидантное, противовоспалительное, иммуностимулирующее воздействие.*

**Ключевые слова:** верблюжатины, мясное сырье, аминокислотный состав, пищевая ценность, диетическое питание.

Taeva A.M.<sup>1</sup>, Uzakov Y.M.<sup>2</sup><sup>1</sup>PhD in Engineering, professor, Almaty Technological University,<sup>2</sup>academician of Kazakhstan NA of NS, Professor, Almaty Technological University**STUDY THE NUTRITIONAL VALUE OF CAMEL MEAT AS A RAW MATERIAL FOR THE PRODUCTION  
OF FUNCTIONAL FOODS****Abstract**

*The article is devoted to the study of the nutritional value of camel meat, showing the most valuable useful properties of camel meat, which are caused by specific chemical composition of the meat product, characterized by a high content of protein, low - cholesterol, as well as the almost complete absence of fat. The features of camel meat, which allow you to include it in the diet. The use of camel meat hemopoiesis and stimulates metabolism, reduces blood sugar and cholesterol, and reduces the permeability of blood vessels, which in turn normalizes heart rate and blood pressure. In addition, this type of meat improves the condition of the mucous membranes, gastrointestinal tract, and in addition - has an antioxidant, anti-inflammatory, immune-stimulating effects.*

**Keywords:** camel meat, raw meat, amino acid composition, nutritional value, dietary food.

**Введение**

Одной из основных тенденций развития мирового рынка мяса на сегодняшний день является недостаточный для обеспечения нужд потребителей уровень производства. Производители мяса сталкиваются с проблемой недостаточности сырья, которое в свою очередь создает проблемы для развития пищевой промышленности. В настоящее время производство продуктов питания в мире недостаточно для снабжения населения планеты. Больше половины населения (60% и более) испытывают дефицит в белке и, в первую очередь, животного происхождения [1].

Исследованиями ученых разных стран установлено, что недостаточное количество белка, в частности, незаменимых аминокислот в рационе питания приводит к необратимым процессам – задержка физического и умственного развития, рост некоторых заболеваний (анемия, сердечно-сосудистые, гастриты и др.). Данные факторы обуславливают потребность населения в биологически полноценных продуктах, тем самым определяя основные задачи отрасли в нетрадиционных источниках пищевых веществ, совершенствование и создание комбинированных пищевых продуктов [1, 2].

Перед отраслями, занимающимися переработкой пищевого сырья, стоят важные задачи, такие как, увеличение объемов выпускаемых пищевых продуктов, удовлетворение потребности населения в возможности выбора ассортимента и повышение качества готовой продукции.

Снабжение населения полноценными и сбалансированными по химическому составу продуктами питания имеет большое значение в повышении уровня их жизни. Обеспечить необходимое соотношение белков, жиров и углеводов, а также определенное количество витаминов и минеральных веществ.

Одним из путей увеличения производства продуктов – источников белка, является внедрение безотходных и малоотходных технологических процессов, использование имеющихся ресурсов мясного сырья и осуществление его комплексной переработки.

В настоящее время Казахстан не в состоянии полностью обеспечить себя мясом отечественного производства и в соответствии с этим изыскание ресурсов отечественного сырья является актуальным. В этой связи, необходимо использовать имеющиеся ресурсы нетрадиционных видов мяса, в том числе и мясо верблюдов [3, 4].

По своим качественным и количественным показателям верблюжатины может успешно конкурировать с традиционными видами мяса убойных животных.

Основным препятствием к широкому использованию верблюжатины является грубая волокнистая структура, обуславливающая жесткость мяса, и отсутствие научных и обоснованных способов, а также режимов его обработки.

На данный момент традиционными стали мясные изделия из верблюжатины, такие как вареные колбасы, но широкого применения в мясоперерабатывающей промышленности мясо верблюдов не нашло. Поэтому необходимо дальнейшее изучение верблюжатины с последующим применением в производстве мясопродуктов.

В связи с этим, поставлена цель – изучить пищевую ценность верблюжьего мяса как сырья для производства функциональных продуктов.

#### **Объекты и методы исследования**

Объектом исследования служила верблюжатиνα в охлажденном состоянии.

Для решения задач, поставленных в работе, экспериментальные исследования выполнялись в лабораториях кафедры «Технология продуктов питания» Алматинского технологического университета, лабораториях ТОО «АФ Кайнар» г. Алматы. Производственная выработка также проводилась в ТОО «АФ «Кайнар»».

Экспериментальные исследования, требующие специальной подготовки и сложной приборной техники, проводили на базе лабораторий Всероссийского научно-исследовательского института мясной промышленности (г. Москва), научно-исследовательской лаборатории «Пищевая безопасность» Алматинского технологического университета.

На данном этапе работы определяли мясную продуктивность верблюдов породы бактриан, исследовали морфологический состав туш верблюдов в зависимости от пола и возраста, показатели мяса верблюдов в процессе послеубойного хранения. Исследования проводились в Алматинской области. Для экспериментов были взяты в хозяйстве животные в возрасте от 1 года до 5 лет. Из туш верблюдов через 40-50 мин, затем через 6, 12, 24, 48, 72, 96 и 120 ч отбирали пробы для исследований, упаковывали в целлофановые мешки и хранили в холодильнике при температуре 0-4°C.

*Содержание влаги* в верблюжатиने определяли высушиванием навески до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре 100-105°C (ГОСТ8756.2-82 «Продукты пищевые. Метод определения сухих веществ или влаги») [2].

*Содержание белка* определяли стандартным методом на приборе Къель-Фосс-16200.

Этот показатель в мясе находят по разнице между количеством общего и небелкового азота с пересчетом на белок. Поскольку в белках мяса содержится около 16% азота, то коэффициент пересчета равен 6,25. В белках соединительной ткани (коллаген и эластин) содержится около 17,8% азота, поэтому коэффициент пересчета равен 5,62, для белков молока 6,37 и т.д.

Определение содержания общего азота проводили по ГОСТ 25011-81 – наиболее распространенный универсальный и арбитражный метод [2].

*Содержание жира* определяли по стандартной методике, основанной на извлечении жира из подсушенной навески летучими растворителями [2].

*Содержание золы* определяли ускоренным методом с применением ацетата магния [2].

#### **Результаты и обсуждение**

Мясная продуктивность верблюдов зависит от условия кормления и содержания. В условиях круглогодичного пастбищного содержания верблюдов максимальный прирост живой массы наблюдается в период весенне-осеннего нагула продолжительностью 210-270 дней. На Юге Казахстана в Отрарском и Туркестанском районах практикуют 240 дневной нагул. С учетом традиционной технологии убоя верблюдов провели опыты по изучению прироста живой массы молодняка – самцов различного возраста. В опыты были вовлечены 60 голов самцов чистопородных бактрианов, в том числе годовалого возраста 20 голов, двухлетнего возраста 20 голов и трехлетки 20 голов. В гурты включали молодняк имеющие ниже среднюю и среднюю упитанность, тощих животных для опыта не вовлекались.

В таблице 1 нами приведены данные по морфологическому составу мяса подопытных групп верблюдов. Проанализированы масса костей и хрящей, масса соединительной ткани в процентном отношении к предубойной живой массе.

Таблица 1 – Морфологический состав мяса молодняка подопытных верблюдов

Признаки	Возраст, год					
	1		2		3	
	кг	%	кг	%	кг	%
Масса парной туши	204,1	51,2	257,6	50,8	290,1	49,3
Масса жира горба	17,4	4,36	25,1	4,95	34,6	5,88
Масса мякоти	157,7	39,55	207,0	40,81	37,50	65,0
Масса костей и хрящей	42,8	10,73	46,6	9,18	65,0	11,04
Масса соединительной ткани	3,6	0,29	4,0	0,79	4,3	0,73
Коэффициент мясности	4,09		4,98		3,93	

Установлено уменьшение относительной массы парной туши к предубойной живой массе по мере увеличения возраста молодняка, при относительном увеличении горбового жира. В частности, масса парной туши и горбового жира составили у годовалых верблюжат 204,1 кг (51,2%) и 17,4 кг (4,36%), двухлетних самцов 257,6 кг (50,8) и 25,1 кг (4,95%), а трехлетних 290,1 кг (49,3%) и 34,6 кг (5,88%).

Масса мякоти составила у годовалых верблюжат 157,7 кг (39,55%), двухлетних 207,0 (40,81%) и трехлетних 220,8 кг (37,5 %). То есть по абсолютной массе мякоти двухлетние самцы превосходят годовалых на 49,3 кг, ( $P < 0,001$ ) а трехлетки годовалых на 63,1 кг ( $P < 0,001$ ).

Масса костей хрящей составила у годовиков 42,8 кг (1073%), двухлеток 16,6 кг (9,18%) и трехлеток 65,0 кг (11,04%). Масса соединительной ткани в процентном отношении к предубойной живой массе оказалась менее 1% (0,29-0,79) и составила в абсолютном выражении у годовалых верблюжат 3,6 кг, двухлетнего молодняка 4,0 кг и трехлетнего 4,3 кг.

Коэффициент мясности определяли как отношение суммы мякоти и жира к массе костей и хрящей. Коэффициент мясности наиболее высокий у двухлетних самцов 4,98, в сравнении с годовалыми (18 месячными), 4,09 и трехлетними (42-х месячные) - 3,93. Для мясного верблюдоводства коэффициент мясности более 3,5 является отличным показателем и характеризует возможности производства верблюжатины.

Приведенные данные (таблица 2) свидетельствуют, что химический состав верблюжатины успешно коррелирует с традиционным мясом – говядиной.

Таблица 2 – Химический состав мясного сырья

Показатели	Содержание, в %	
	верблюжати́на	говядина
Влага	70,1±0,36	70,4±0,52
Белок	18,4±0,17	19,0±0,33
Жир	9,9±0,15	9,6±0,18
Зола	1,05±0,19	1,1±0,17
Экстрактивные вещества	1,6	1,7
Минеральные вещества, мг %:		
Кальций	8,65	10,2
Магний	25,1	22,1
Фосфор	186,5	188
Железо	1,8	2,9
Витамины, мг %:		
Рибофлавин (В <sub>2</sub> )	0,18	0,2
Ниацин (В <sub>1</sub> )	0,12	0,1
Ниацин (РР)	2,24	0,3
Калорийность, ккал	191	171

Аминокислотный состав в сравнительном варианте с традиционным видом сырья приведен в таблице 3.

Результаты исследований, представленные в таблице 2, свидетельствует о том, что в верблюжати́не присутствует тот же набор аминокислот, что и у говядины, среди них 8 незаменимых. По сумме незаменимых аминокислот верблюжати́на уступает говядине.

Существенные различия наблюдаются по видовому составу как незаменимых, так и заменимых аминокислот: самым высоким содержанием лейцина отличается верблюжати́на (8,43 г/100 г белка).

Несмотря на то что, в верблюжати́не по сравнению с мясом говядины содержание золы самое низкое, при этом следует отметить, что верблюжати́на отличается самым высоким содержанием магния – 25,1 мг %.

Значение мяса, как белкового продукта, определяется, прежде всего, содержанием белка и хорошо сбалансированным составом аминокислот.

Таблица 3 – Аминокислотный состав мясного сырья

Аминокислоты	Содержание, г/100 г белка	
	говядина	верблюжатина
<i>Незаменимые:</i>		
Валин	4,98	4,84
Лейцин	7,73	8,43
Изолейцин	4,11	3,91
Лизин	8,14	8,04
Метионин	3,17	2,84
Треонин	4,62	4,36
Триптофан	1,40	1,48
Фенилаланин	4,42	4,30
<i>Заменимые:</i>		
Тирозин	3,21	1,59
Гистидин	0,93	4,02
Аспарагиновая кислота	7,79	8,79
Оксипролин	0,29	0,58
Глутаминовая кислота	3,12	14,04
Аргинин	6,62	8,46
Аланин	5,82	5,71
Серин	1,89	3,97
Глицин	5,77	6,33
Триптофан/оксипролин	4,78±0,5	2,9±0,5

Верблюжатина отличается от говядины более повышенным содержанием триптофана (на 5,7 %), гистидина (более чем в 4 раза), аспарагиновой кислоты (на 12,8 %), оксипролина (в 2 раза), глутаминовой кислоты, аргинина, серина и глицина.

Наличие оксипролина, который присутствует в очень немногих белках, позволяет по содержанию этой аминокислоты судить о количестве коллагена в мясе. Особенности строения коллагеновых волокон определяют их высокую способность к набуханию и большую механическую прочность, что, в свою очередь, влияет на консистенцию мяса.

Принимая во внимание содержание оксипролина в традиционном сырье (говядине) и в нетрадиционном виде сырья (верблюжатине) можно сделать выводы, что этот показатель может являться критерием, характеризующим жесткость мяса. Белковая полноценность составляет 4,78 (говядина), 2,9 (верблюжатина).

Таблица 4 – Пищевая ценность верблюжатины (на 100 г)

Показатели	Белки	Жиры	Зола	Вода	Калорийность
Сырое мясо	18,9	9,4	1	70,7	160,2
Жареное	33,3	16,5	1	70,7	281
Вареное	29,8	12,4	1	70,7	230
Тушеное	24,3	12,1	1	70,7	205

Наиболее ценные свойства верблюжатины обусловлены довольно специфичным химическим составом этого продукта, отличающегося небольшим содержанием холестерина, повышенным – белка, а также почти полным отсутствием жиров. Вместе с наличием ряда биологически активных веществ эта особенность делает мясо одним из самых лучших вариантов для включения в меню диетического питания.

Верблюжати́на богата на гемовое железо, которое отлично усваивается организмом. Подобное мясо очень полезно детям и взрослым, поскольку содержащийся в нем этот микроэлемент защищает от инфекционных болезней и препятствует образованию анемии. Кроме того, мясо богато калием и цинком, которые участвуют в процессах обновления клеток и влияют на рост. При недостаточном употреблении калия и цинка замедляется рост, выпадают волосы, а ногти теряют природный блеск и приобретают ломкость.

Таблица 5 – Пищевая ценность отрубов верблюжатины, в 100 г продукта

Наименование отруба	Жир, г	Белок, г	Энергетическая ценность, ккал
Тазобедренный	2,8 – 10,9	17,6-20,8	95,6-181,3
Лопаточный	4,3-9,8	16,5-20,9	104,7-171,8
Спинной	6,5-9,8	17,7-20,7	129,3-171,0
Поясничный	6,5-10,1	18,8-20,0	134,1-170,0
Грудной	10,4-18,9	15,9-18,0	157,2-242,1
Реберный	8,7-15,0	17,6-19,8	148,7-214,2
Шейный	4,5-10,0	16,5-20,5	106,5-172,0
Подлопаточный	4,0-9,3	16,5-20,5	102,0-165,7
Пашина	6,1-25,5	12,8-19,2	106,1-306,3
Завиток	9,0-15,9	17,5-19,5	151,0-221,1
Голяшка передняя и задняя	2,2-4,1	19,4-19,9	97,4-116,5
Шейный зарез	5,7-9,3	19,3-22,6	128,5-174,1

Данные таблицы 4 можно учитывать при использовании верблюжатины для производства мясных продуктов функционального назначения при составлении научных и обоснованных рецептов. Так, например, наиболее низкое содержание жира (2,2 – 4,1 грамм на 100 г) отмечено в голяшке, тогда как в пашине содержание жира достигает 25,5 грамм на 100 г сырья.

Таким образом, анализируя полученные данные видно, что верблюжати́на по химическому составу и количественному содержанию незаменимых аминокислот, характеризующих их биологическую ценность, по пищевой ценности вполне соответствует широко применяемой говядине и может быть использована для производства функциональных продуктов при условии применения технологических приемов размягчения жесткого по своей структуре мяса.

### **Выводы**

Наиболее ценные полезные свойства верблюжатины обусловлены достаточно специфичным химическим составом данного мясного продукта, отличающегося повышенным содержанием белком, небольшим - холестерина, а также практически полным отсутствием жиров. В сочетании с наличием целого ряда биологически активных веществ данная особенность делает мясо верблюда одним из прекрасных вариантов для включения в рацион диетического питания. Употребление верблюжатины стимулирует процессы кроветворения и метаболизма, уменьшает содержание в крови сахара и холестерина, а также снижает проницаемость стенок кровеносных сосудов, что, в свою очередь, нормализует сердечный ритм и артериальное давление. Кроме того, данный вид мяса улучшает состояние слизистых оболочек, работу желудочно-кишечного тракта, а помимо того - оказывает антиоксидантное, противовоспалительное, иммуностимулирующее воздействие.

### **Литература**

1. Лисицын А.Б. Роль агронауки в обеспечении населения России функциональными и диетическими продуктами / А.Б. Лисицын, А.В. Устинова, Н.А. Горбунова // Все о мясе. - 2007. - №1. - С.34-37.
2. Скурихин И.М., Тутельян, В.А. Руководство по методам анализа качества и безопасности пищевых продуктов: учеб.пособие / под ред. И.М. Скурихина, В.А. Тутельяна. - М.: Брандес. - Медицина, 1998. - 341 с.
3. Урбисонов Я.К., Веригина В.С., Серветник-Чалая Г.К., Мальцева Л.М. Аминокислотный и витаминный состав верблюжьего мяса // Вопросы питания. - 1984. - № 4. - С. 68-69.
4. Таева А.М., Узаков Я.М., Тамабаева Б.С. Химический состав и пищевая ценность верблюжатины / Журнал Мясная индустрия, Москва, №11/2015, с.36-37.

## References

1. Lisitsyn A.B. Rol' agronauki v obespechenii naselenija Rossii funkcional'nymi i dieticheskimi produktami [The role of agricultural science in providing the population of Russia and functional dietary products] / A.B. Lisitsyn, A.V. Ustinova, N.A. Gorbunova // Vse o mjase [All about meat]. - 2007. - №1. - p.34-37. [In Russian]
2. Skurihin, I.M., Tutelian, V.A. Rukovodstvo po metodam analiza kachestva i bezopasnosti pishhevyyh produktov: ucheb.posobie [Manual methods for the analysis of quality and food safety: Textbooks] / edited by. Skurikhina, V.A. Tutelian. - M.: Brandes. - Medicine, 1998. - 341 p. [In Russian]
3. Urbisnov YA.K., Verigin V.S., Servetnik Chalay-G.K, Maltseva L.M. Aminokislotnyj i vitaminnyj sostav verbljuzh'ego mjasa [Amino acid and vitamin composition of camel meat] // Voprosy pitaniya [Nutrition]. - 1984. - № 4. - p. 68-69. [In Russian]
4. Taeva A.M., Uzakov Y.M., Tamabaeva B.S. Himicheskij sostav i pishhevaja cennost' verbljuzhatiny [The chemical composition and nutritional value of camel meat] / Zhurnal Mjasnaja industrija [Meat Industry journal], Moscow, №11 / 2015 P.36-37. [In Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.51.064

Хрипач Н.А.<sup>1</sup>, Папкин Б.А.<sup>2</sup>, Коротков В.С.<sup>3</sup>, Залетов Д.В.<sup>4</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0003-3998-2630, Кандидат технических наук, доцент,

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)»

<sup>2</sup>ORCID: 0000-0002-2696-6044, Кандидат технических наук,

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)»

<sup>3</sup>ORCID: 0000-0003-2935-4489, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)» г. Москва<sup>4</sup>Общество с ограниченной ответственностью "Мобил ГазСервис", г. Нижний Новгород

**ПРОВЕРКА АДЕКВАТНОСТИ РАЗРАБОТАННОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ  
ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО  
СГОРАНИЯ НА ОСНОВАНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

*Аннотация*

*В статье приведены основные характеристики разработанной математической модели термоэлектрического генератора для автомобильного двигателя внутреннего сгорания, а также описаны внесенные в нее, по результатам изготовления, как отдельных деталей, так и термоэлектрического генератора в целом, изменения. Описан процесс определения адекватности математической модели на основании результатов экспериментальных исследований. Анализ адекватности показал, что отклонения результатов моделирования от полученных в ходе испытаний значений не превышает 6%, что обеспечивает верное отражение свойств ТЭГ с достаточной точностью.*

**Ключевые слова:** двигатель внутреннего сгорания, отработавшие газы, тепловая энергия, термоэлектрический генератор.

Khripach N.A.<sup>1</sup>, Papkin B.A.<sup>2</sup>, Korotkov V.S.<sup>3</sup>, Zaletov D.V.<sup>4</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0003-3998-2630, PhD in Engineering, Associate professor, Moscow State University of Mechanical Engineering (MAMI)<sup>2</sup>ORCID: 0000-0002-2696-6044, PhD in Engineering, Moscow State University of Mechanical Engineering (MAMI)<sup>3</sup>ORCID: 0000-0003-2935-4489, Moscow State University of Mechanical Engineering (MAMI)<sup>4</sup>Mobil GazService Ltd, Nizhny Novgorod

**EVALUATION THE ADEQUACY OF THE DEVELOPED MATHEMATICAL MODEL  
OF A THERMOELECTRIC GENERATOR FOR AUTOMOTIVE INTERNAL COMBUSTION ENGINE BASED  
ON EXPERIMENTAL RESULTS**

*Abstract*

*The article presents the main characteristics of the developed model of a thermoelectric generator for automotive internal combustion engine and described modifications made to it, according of manufacturing results as individual parts, and a thermoelectric generator in general. Also shows the process of determining the adequacy of the mathematical model based on experimental results. Adequacy analysis showed that the deviation from the simulation results obtained in the test values does not exceed 6%, which provides a true reflection TEG properties with sufficient precision.*

**Keywords:** internal combustion engine, exhaust gases, thermal energy, thermoelectric generator.

**В** настоящий момент ведущими производителями автомобильной техники и компонентов для систем выпуска отработавших газов запатентованы различные варианты конструкции термоэлектрического генератора, отличающиеся формой, исполнением и взаимным расположением его важнейших составных элементов. Примерами могут служить конструкции термоэлектрических генераторов для систем выпуска отработавших газов General Motors [1], BMW [2], Hyundai [3, 4] и Toyota [5].

Рассматриваемый в данной работе термоэлектрический генератор состоит из следующих основных компонентов: корпуса квадратного поперечного сечения с присоединительными фланцами, термоэлектрических генераторных

модулей и системы жидкостного охлаждения. Термоэлектрический генератор предназначен для системы выпуска отработавших газов и должен располагаться на ее прямом участке, обладающем достаточной длиной и находящемся вблизи от двигателя внутреннего сгорания, где отработавшие газы имеют высокую температуру. Однако температурный режим работы термоэлектрических генераторных модулей относительно узок и их перегрев недопустим. Поэтому расположение исследуемого термоэлектрического генератора в транспортном средстве может быть различным и должно определяться для каждого конкретного случая с учетом типа и мощности используемого двигателя внутреннего сгорания.

Разработанный ТЭГ, внешний вид которого показан на рисунке 1, упрощенно состоит из четырехгранного теплообменника, на гранях которого располагаются термоэлектрические преобразователи энергии. Вторая сторона термоэлектрических элементов контактирует с радиатором, охлаждаемым протекающей по нему охлаждающей жидкостью. Внутренняя конструкция теплообменника рассчитана таким образом, что должна обеспечивать оптимальное распределение температуры по длине ТЭГ.

Термоэлектрические модули в составе ТЭГ включены по последовательно-параллельной схеме: четыре параллельных ветви по 24 последовательно соединенных элемента. Такое включение и распределение элементов по граням теплообменника позволяет добиться равномерности наводимой электродвижущей силы, а также получить необходимое напряжение в нагрузке.

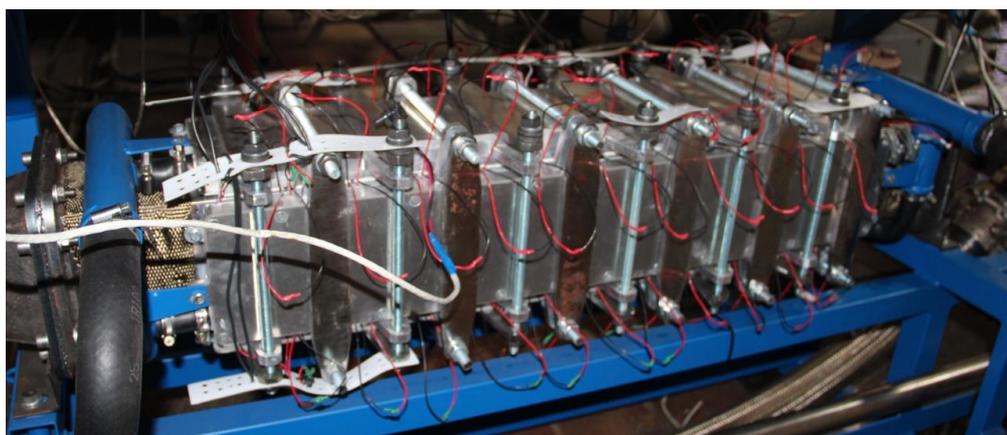


Рис. 1 – Разработанный термоэлектрический генератор

Разработанная в рамках выполнения проекта математическая модель термоэлектрического генератора для автомобильного двигателя внутреннего сгорания [6, 7] позволяет оценить эффективность его работы, а в частности, выходную электрическую мощность и аэродинамическое сопротивление потоку отработавших газов в зависимости от начальных условий. В качестве начальных условий, необходимых для расчетов процессов тепло- и массопереноса, выступают:

1. термодинамические параметры (давление, температура и массовый расход) отработавших газов, поступающих от двигателя внутреннего сгорания;
2. термодинамические параметры (давление, температура и массовый расход) охлаждающей жидкости;
3. геометрические параметры элементов термоэлектрического генератора, такие как площади проходных сечений, параметры оребрения корпуса, теплопроводность материалов, из которых изготовлены отдельные детали и другие.

Помимо основных показателей работы термоэлектрического генератора разработанная математическая модель позволяет определить:

- снижение температуры отработавших газов в ТЭГ;
- повышение температуры охлаждающей жидкости в системе охлаждения ТЭГ;
- температуры на горячей и холодной сторонах всех термоэлектрических модулей;
- распределение различных термодинамических показателей теплоносителей во всем их объеме при установившемся режиме работы ТЭГ.

Математическая модель адекватна оригиналу, если верно отражает свойства оригинала и может быть использована для предсказания его поведения. При этом адекватность модели зависит от целей моделирования и принятых критериев. Анализ адекватности представляет собой разовую процедуру, основанную на сравнении данных, наблюдаемых на реальном объекте, с результатами вычислительного эксперимента, проведенного с моделью. Модель считается адекватной, если отражает исследуемые свойства с приемлемой точностью, где под точностью модели понимается количественный показатель, характеризующий степень различия модели и изучаемого явления. Таким образом, мера адекватности является количественной.

Очевидно, что пренебрежение процедурой оценки адекватности математической модели неизбежно приводит к грубым погрешностям расчетных исследований, ошибкам в интерпретации полученных результатов и, в конечном счете, к неверным практическим выводам.

По результатам изготовления отдельных элементов термоэлектрического генератора, а, в частности, корпуса ТЭГ, был сделан вывод о необходимости учета в математической модели влияния шероховатости стенок и ребер на коэффициент теплоотдачи от отработавших газов к корпусу. Ранее шероховатость поверхности учитывалась лишь при определении падения давления отработавших газов при движении по прямым участкам и участкам с местными сопротивлениями.

Согласно теории теплообмена [8] при ламинарном течении, когда теплопроводность во всех точках потока одинакова, термическое сопротивление слоя, текущего между возвышенностями шероховатости стенки, пренебрежимо мало, по сравнению с термическим сопротивлением всей толщи потока. Не сказывается шероховатость стенки и на гидродинамических характеристиках ламинарного потока течения в связи с относительно слабым изменением скорости около стенки.

При турбулентном характере потока существенные изменения скорости и температуры происходят в непосредственной близости к стенке, на расстояниях, которые могут быть соизмеримы с высотой неровностей микрорельефа. При определенных значениях критерия Рейнольдса шероховатость стенок вызывает коренные изменения в зависимости гидравлического сопротивления от скорости течения. влияние шероховатости на теплообмен выражается через термическое сопротивление вязкого пристеночного слоя, текущего между неровностями микрорельефа и отделяющего стенку от турбулентного ядра потока. При этом распределение температур зависит как от торможения потока (через поле скоростей), так и от теплопроводности в вязком подслое.

Оценить влияние шероховатости на теплоотдачу можно на основании следующих допущений: теплопроводностью неровностей микрорельефа стенки и вносимым ими загромождением вязкого слоя можно пренебречь, а также толщину вязкого слоя в общем случае можно определить как функцию высоты микронеровностей.

В шероховатых трубах интенсивность теплоотдачи возрастает относительно меньше, чем коэффициент гидравлического сопротивления. При этом влияние шероховатости на показатель степени зависимости критерия Нуссельта от числа Рейнольдса оказывается небольшим. Наибольшее влияние шероховатости стенки на теплоотдачу (в сторону интенсификации) наблюдается в случае, когда выступы шероховатости выходят за пределы вязкого подслоя. Отдельно стоит отметить, что шероховатость стенок канала оказывает значительное влияние на процессы теплообмена в каналах с малым гидравлическим диаметром, что в случае термоэлектрического генератора верно для межреберных пазов корпуса ТЭГ.

Интенсификация теплообмена между отработавшими газами и корпусом термоэлектрического генератора, обусловленная влиянием шероховатости стенок, несмотря на теоретическое увеличение выходной электрической мощности, может сопровождаться более значительным, в процентном соотношении, увеличением аэродинамического сопротивления.

Также, для лучшей корреляции результатов математического моделирования и исследовательских испытаний, в математическую модель был внесен расчет дополнительного процесса теплоотдачи, а именно, теплоотдача от охладителей ( $\Delta Q_2$ ) и корпуса ТЭГ ( $\Delta Q_1$ ) в окружающую среду. Схема математической модели с учетом дополнительных процессов теплоотдачи показана на рисунке 2.

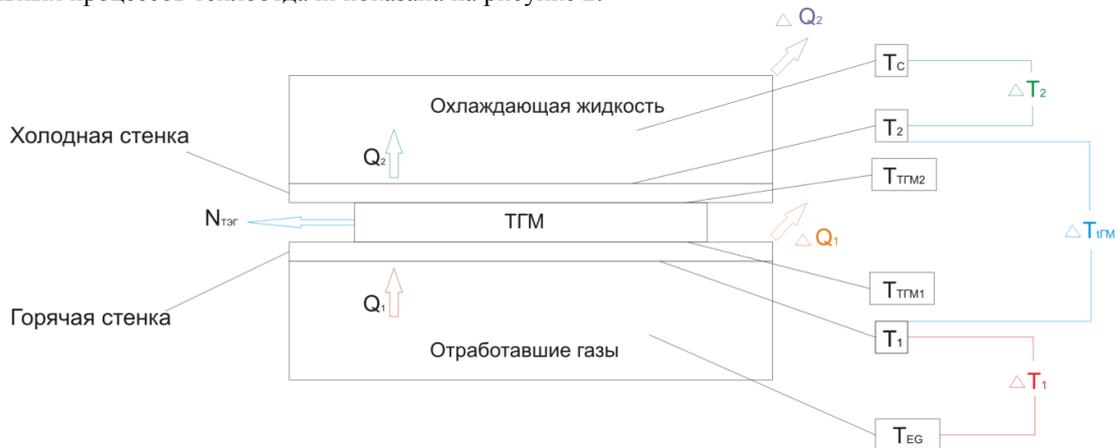


Рис. 2 – Схема математической модели с учетом дополнительных процессов теплоотдачи

Теплоотдача от охладителей ТЭГ в окружающую среду может повлиять лишь на уменьшение разности температур охлаждающей жидкости на выходе из системы охлаждения и входе в нее. Второй процесс теплоотдачи, от корпуса в окружающую среду, может оказать значительное влияние на эффективность работы термоэлектрического генератора в целом. Тепловая энергия, передаваемая посредством излучения и конвекции в окружающий объем воздуха, исключается из процесса прямого преобразования тепловой энергии в электрическую в термоэлектрических модулях. Таким образом, выходная электрическая мощность ТЭГ снижается и без учета данного процесса невозможно достичь требуемого уровня адекватности разработанной математической модели.

Сравнение результатов моделирования и исследовательских испытаний проводилось в нижеописанном порядке.

1) Проводились исследовательские испытания по определению параметров эффективности работы термоэлектрического генератора (выходной электрической мощности и аэродинамического сопротивления), в ходе которых дополнительно регистрировались температуры, давления и массовые расходы горячего и холодного теплоносителей.

2) Полученные значения термодинамических параметров теплоносителей использовались в качестве начальных условий в математической модели термоэлектрического генератора для расчета теоретических значений мощности и сопротивления.

3) Вычислялось отклонение значения рассчитанного параметра от аналогичного, полученного в ходе исследовательских испытаний, в процентном соотношении.

Сравнение результатов моделирования и исследовательских испытаний приведено в таблице 1, а его графическое отображение на рисунках 3 и 4.

Таблица 1 – Сравнение результатов моделирования и исследовательских испытаний

Наименование параметра и единицы измерения	Частота вращения коленчатого вала ДВС	Значение, определенное в результате математического моделирования	Значение, измеренное в результате исследовательских испытаний	Отклонение, %
1	2	3	4	5
Электрическая мощность, Вт	1000	8,72	8,3	5,1
	2000	82,0	77,4	6,0
	3000	274,8	269,4	2,0
	4000	605,0	643,6	6,0
	5000	979,9	984,3	0,5
	6000	1133,8	1079,8	5,0
Аэродинамическое сопротивление, мм.рт.ст.	1000	0,79	0,75	5,3
	2000	3,17	3,0	5,7
	3000	7,91	7,5	5,5
	4000	15,12	15,0	0,8
	5000	21,41	20,25	5,7
	6000	25,40	24,00	5,8

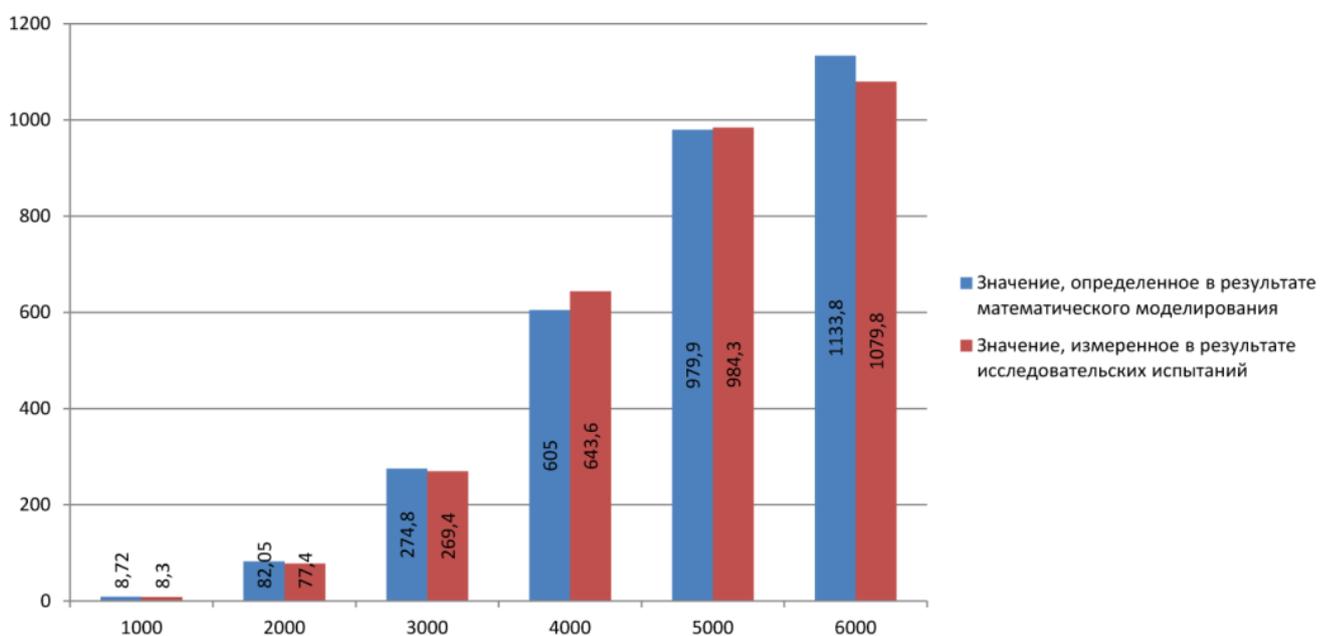


Рис. 3 – Сравнение результатов моделирования и исследовательских испытаний в части выходной электрической мощности термоэлектрического генератора

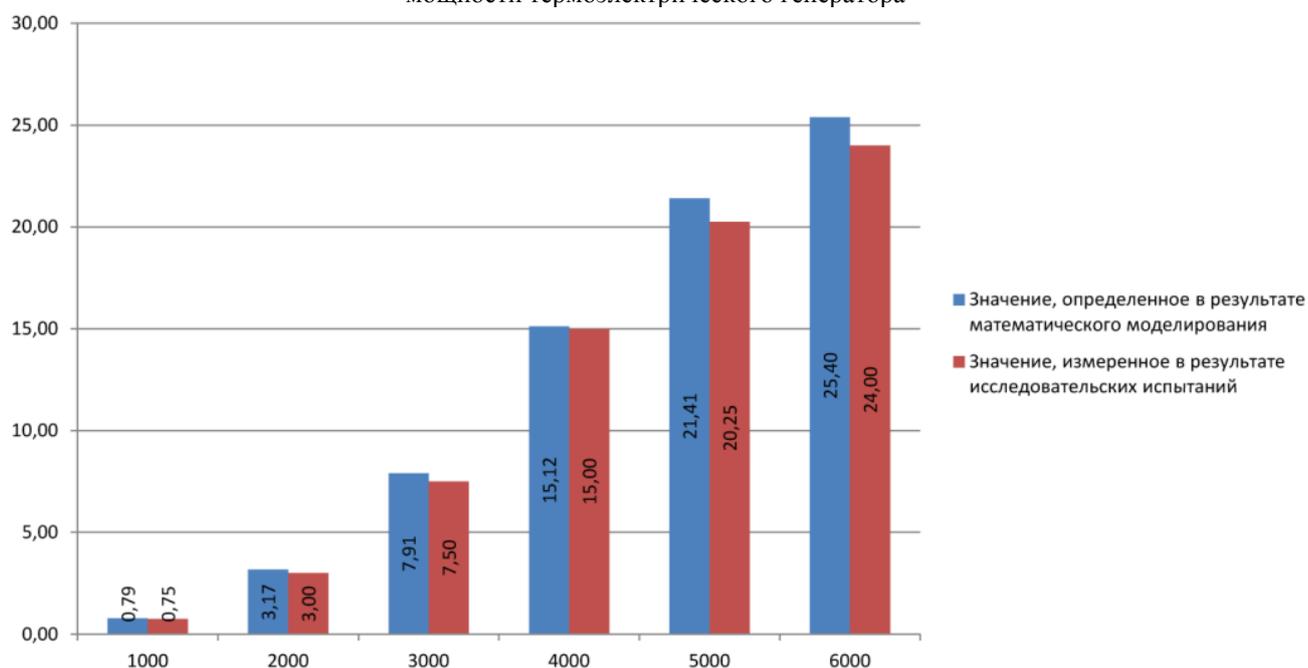


Рис. 4 – Сравнение результатов моделирования и исследовательских испытаний в части аэродинамического сопротивления термоэлектрического генератора

Анализ адекватности разработанной математической модели на основании результатов экспериментальных исследований термоэлектрического генератора показал, что отклонения результатов моделирования от полученных в ходе испытаний значений не превышает 6%, что обеспечивает верное отражение свойств ТЭГ с достаточной точностью.

Настоящая работа подготовлена в рамках соглашения № 14.577.21.0078 от "05" июня 2014 года о предоставлении субсидии при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации. Уникальный идентификатор прикладных научных исследований RFMEFI57714X0078.

#### Литература

1. Патент US20130000285, 03.01.2013, GM Global Technology Operations LLC, Internal combustion engine exhaust thermoelectric generator and methods of making and using the same.
2. Патент US20120174567, 12.06.2012, Bayerische Motoren Werke Aktiengesellschaft, Emitec Gesellschaft Fur Emissionstechnologie Mbh, Thermoelectric device with tube bundles, method for operating a thermoelectric device and motor vehicle having a thermoelectric device.
3. Патент US20130152561, 29.09.2015, Hyundai Motor Company, Thermoelectric generator of vehicle.
4. Патент US20130152562, 20.06.2013, Hyundai Motor Company, Thermoelectric generator of vehicle.
5. Патент US20050072142, 23.12.2008, Toyota Jidosha Kabushiki Kaisha, Exhaust emission control system.
6. Khripach N.A., Papkin B.A., Korotkov V.S. and Zaletov D.V.. Study of the Influence of Heat Exchanger Body Design Parameters on the Performance of a Thermoelectric Generator for Automotive Internal Combustion Engine. Biosciences Biotechnology Research Asia, 2015, Vol. 12 (Spl.Edn. 2), 677-689.
7. Khripach, N.A., Papkin, B.A., Korotkov, V.S., Nekrasov, A.S. and Zaletov, D.V. Effect of a thermoelectric generator on the fuel economy of a vehicle operating in a real-world environment. Biosciences Biotechnology Research ASIA, Vol. 12(Spl.Edn. 2), 375-386.
8. Кутателадзе С. С. Основы теории теплообмена. – Изд. 5-е перераб. и доп. – М.: Атомиздат, 1979.

#### References

1. Patent US20130000285, 03.01.2013, GM Global Technology Operations LLC, Internal combustion engine exhaust thermoelectric generator and methods of making and using the same.
2. Patent US20120174567, 12.06.2012, Bayerische Motoren Werke Aktiengesellschaft, Emitec Gesellschaft Fur Emissionstechnologie Mbh, Thermoelectric device with tube bundles, method for operating a thermoelectric device and motor vehicle having a thermoelectric device.
3. Patent US20130152561, 29.09.2015, Hyundai Motor Company, Thermoelectric generator of vehicle.
4. Patent US20130152562, 20.06.2013, Hyundai Motor Company, Thermoelectric generator of vehicle.
5. Patent US20050072142, 23.12.2008, Toyota Jidosha Kabushiki Kaisha, Exhaust emission control system.
6. N. Khripach, B. Papkin, V. Korotkov and D. Zaletov. Study of the Influence of Heat Exchanger Body Design Parameters on the Performance of a Thermoelectric Generator for Automotive Internal Combustion Engine. Biosciences Biotechnology Research Asia, 2015, Vol. 12 (Spl.Edn. 2), 677-689.
7. N. Khripach, B. Papkin, V. Korotkov, A. Nekrasov and D. Zaletov. Effect of a thermoelectric generator on the fuel economy of a vehicle operating in a real-world environment. Biosciences Biotechnology Research ASIA, Vol. 12(Spl.Edn. 2), 375-386.
8. Kutateladze S. S. Osnovy teorii teploobmena. – Izd. 5-e pererab. i dop. – М.: Atomizdat, 1979.

# DOAJ

*Все материалы, опубликованные в Международном научно-исследовательском журнале, размещаются в депозитории научных изданий Университета Лунда.*

**DOAJ** (Лунд, Швеция) [<http://www.doaj.org/>].

*Таким образом, публикации наших авторов доступны еще большему кругу исследователей, что поднимает их статус и увеличивает возможность цитирования.*

DOI: 10.18454/IRJ.2016.51.119

Чарыков В.И.<sup>1</sup>, Копытин И.И.<sup>2</sup>, Яковлев А.И.<sup>3</sup><sup>1</sup>Доктор технических наук, профессор, <sup>2</sup>доцент, <sup>3</sup>аспирант,

Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т. С. Мальцева

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ  
МОДЕРНИЗИРОВАННЫМ СЕПАРАТОРОМ УСС – 5М2****Аннотация**

*В статье рассмотрено влияние основных факторов: магнитной индукции, длины окружности концентратора и расстояния между концентраторами на степень очистки сыпучих сельскохозяйственных продуктов от металлических включений. В основе анализа лежит методика активного планирования эксперимента, построены поверхности отклика и определены величины основных факторов для эффективной очистки. Показано, что качество очистки сыпучих продуктов зависит от величины магнитной индукции в рабочей зоне сепаратора, а величина магнитной индукции зависит от конструкции концентратора магнитного поля. Концентратор следует выполнять в виде овала с длиной окружности 72 мм и расстоянием между отверстиями 9 – 11 мм.*

**Ключевые слова:** магнитная индукция, концентратор, очистка, металлические включения, поверхность отклика.

Charykov V.I.<sup>1</sup>, Kopytin I.I.<sup>2</sup>, Yakovlev A.I.<sup>3</sup><sup>1</sup>PhD in Engineering, Professor; <sup>2</sup>Associate professor, <sup>3</sup>Postgraduate student,

Kurgan State Agricultural Academy of T.S. Maltsev

**CLEANING EFFICIENCY OF AGRICULTURAL PRODUCTS UPGRADED SEPARATOR USS – 5M2****Abstract**

*The article considers the influence of the main factors: the magnetic induction, the length of the circumference of the hub and the distance between the hubs on the degree of purification of bulk agricultural products from metal inclusions. The analysis is based on methods of active experimental design, constructed response surface and determined the value of the key factors for effective cleaning. It has been shown that the quality of granular cleaning products depends on the magnitude of the magnetic induction in the working area of the separator, and the magnitude of the magnetic induction depends on the design of the magnetic field concentrator. The hub should be made in the form of an oval to a circle 72 mm in length and the distance between the openings 9 - 11 mm.*

**Keywords:** magnetic induction, hub, cleaning, metallic inclusions, response surface.

Выполнение продовольственной программы, обеспечение страны продуктами в условиях санкций Евросоюза и других западных стран – главная задача агропромышленной политики российского правительства, Министерства сельского хозяйства РФ. На первую ступень в современных условиях выходят вопросы качества производимой сельскохозяйственной продукции.

Задача будет тогда выполняема, когда наша промышленность начнет выпускать высокотехнологичные машины и оборудование и обеспечивать ими сельскохозяйственное и перерабатывающее производство.

Технологический процесс переработки зерна имеет несколько этапов. Процесс очистки зерна, муки, комбикорма или мясокостной муки является одним из основных. Кроме примесей растительного происхождения, механических примесей в зерновые входят и металлические включения.

Очистка сыпучих сельскохозяйственных продуктов осуществляется электромагнитными сепараторами. Эффективность очистки зависит от конструкции рабочей зоны железоотделителя.

В электромагнитных сепараторах серии УСС, разработанных в Курганской ГСХА широкое применение нашли полюсные наконечники с «дырочными» концентраторами (концентраторы с отверстиями)[2]. Дырочные концентраторы имеют существенное преимущество перед горизонтальными и вертикальными концентраторами: они просты в изготовлении, имеют большую длину концентрирующих участков. В то же время создание электромагнитной индукции в них происходит несколько иначе и потому они требуют специального изучения для определения оптимальных размеров длины окружности отверстий и расположение этих отверстий в полюсных наконечниках, т.е. расстояния между отверстиями. Нами в процессе изучения влияния дырочных концентраторов на создание электромагнитной индукции использовалось простое рядное расположение отверстий, а не шахматное, как часто используются в других видах работ. В этом случае на степень очистки, будут влиять следующие факторы:  $D$  – длина окружности отверстий, мм,  $t$  – расстояние между отверстиями, мм,  $B$  – величина магнитной индукции в рабочей зоне, Тл.

Эти факторы варьировались нами в определенных пределах, величина которых представлена в таблице 1. Для того, чтобы можно было использовать математический аппарат методики активного планирования эксперимента, эти факторы были закодированы[1,3,4].

Таблица 1 – Уровни и интервалы варьирования факторов

Факторы	Кодовое обозначение	Интервалы варьирования	Уровни факторов		
			Основной 0	Верхний +1	Нижний -1
D – длина окружности отверстий, мм	$x_1$	4	72	76	68
t – расстояние между отверстиями, мм	$x_2$	2	10	12	8
B – величина магнитной индукции, мТл	$x_3$	40	180	220	140

В качестве математической модели процесса, описывающей влияние указанных факторов на степень очистки мы использовали полином второй степени. Для получения математической модели процесса в виде полинома второй степени нами использовался некомпозиционный план второго порядка [1,3].

При исследовании процессов и систем с числом факторов от трех до семи целесообразно использовать некомпозиционные планы второго порядка. Эти планы представляют собой определенные выборки строк из полного факторного эксперимента типа  $3^K$ . В этих планах каждая переменная варьируется всего на трех уровнях: +1, 0, -1, в то время как центральные

Таблица 2 – Матрица некомпозиционного плана второго порядка

Номер опыта	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1x_2$	$x_1x_3$	$x_2x_3$	$x_1^2$	$x_2^2$	$x_3^2$	y
1	+	+	+	0	+	0	0	+	+	0	$y_1$
2	+	+	-	0	-	0	0	+	+	0	$y_2$
3	+	-	+	0	-	0	0	+	+	0	$y_3$
4	+	-	-	0	+	0	0	+	+	0	$y_4$
5	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$y_5$
6	+	+	0	+	0	+	0	+	0	+	$y_6$
7	+	+	0	-	0	-	0	+	0	+	$y_7$
8	+	-	0	+	0	-	0	+	0	+	$y_8$
9	+	-	0	-	0	+	0	+	0	+	$y_9$
10	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$y_{10}$
11	+	0	+	+	0	0	+	0	+	+	$y_{11}$
12	+	0	+	-	0	0	-	0	+	+	$y_{12}$
13	+	0	-	+	0	0	-	0	+	+	$y_{13}$
14	+	0	-	-	0	0	+	0	+	+	$y_{14}$
15	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$y_{15}$

композиционные ротатабельные планы второго порядка предусматривают использование каждого фактора на пяти уровнях. Некомпозиционные планы характеризуются наличием в строках матрицы планирования большого числа нулей, в результате чего существенно упрощается вычисление коэффициентов модели. Кроме того, некомпозиционные планы второго порядка для 3, 4, 6 и 7 факторов требует постановки меньшего числа опытов по сравнению с соответствующими ротатабельными центральными композиционными планами второго порядка.

В таблице 2 приведена матрица некомпозиционного плана второго порядка для трех факторов.

По данным этих опытов согласно матрице планирования получена математическая модель процесса, характеризующая зависимость степени очистки от исследуемых факторов. Эта модель представлена полиномом второй степени:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 \quad (1)$$

Результаты опытов представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты опытов

Номер опыта	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1x_2$	$x_1x_3$	$x_2x_3$	$x_1^2$	$x_2^2$	$x_3^2$	$y$
1	+	+	+	0	+	0	0	+	+	0	0,85
2	+	+	-	0	-	0	0	+	+	0	0,78
3	+	-	+	0	-	0	0	+	+	0	0,76
4	+	-	-	0	+	0	0	+	+	0	0,73
5	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,96
6	+	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0,92
7	+	+	0	-	0	-	0	+	0	+	0,67
8	+	-	0	+	0	-	0	+	0	+	0,80
9	+	-	0	-	0	+	0	+	0	+	0,71
10	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,97
11	+	0	+	+	0	0	+	0	+	+	0,91
12	+	0	+	-	0	0	-	0	+	+	0,69
13	+	0	-	+	0	0	-	0	+	+	0,86
14	+	0	-	-	0	0	+	0	+	+	0,67
15	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,96

После обработки результатов эксперимента было получено уравнение регрессии в натуральных значениях факторов, описывающие их влияние на степень очистки сыпучего продукта. Для модернизированного электромагнитного сепаратора УСС – 5М2 уравнение имеет следующий вид:

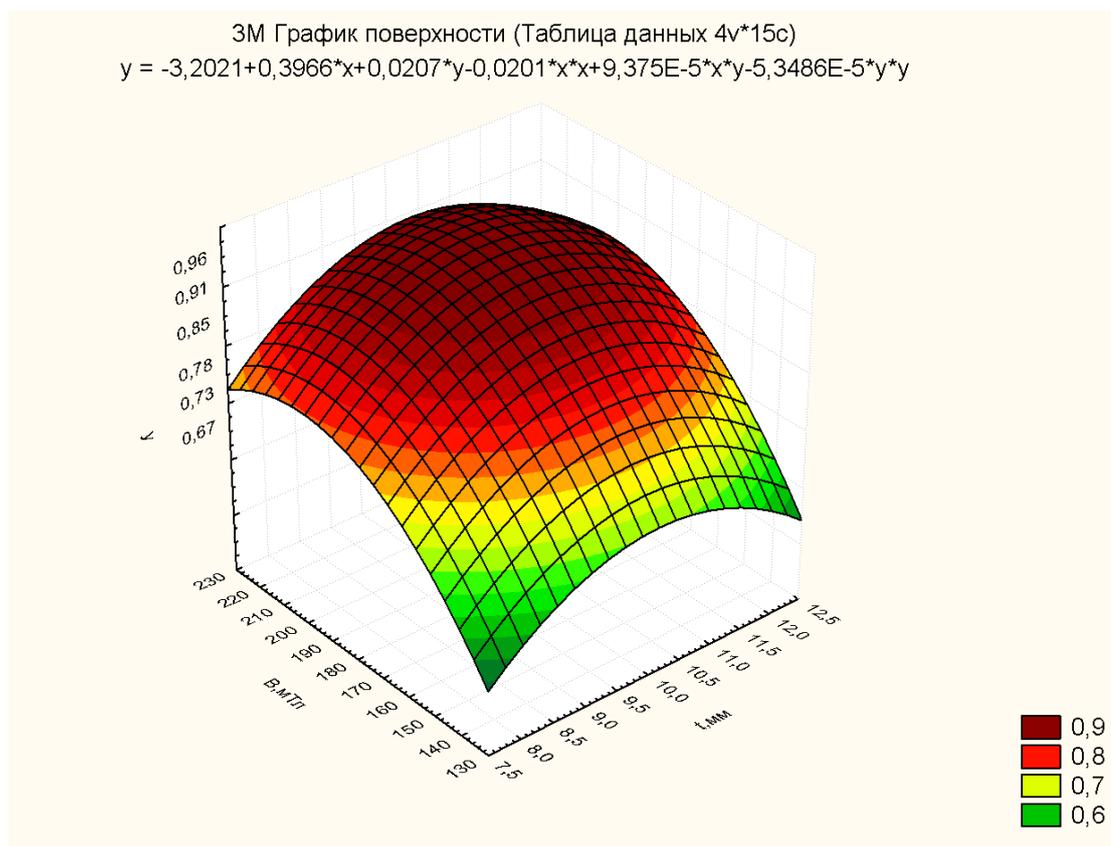
$$y = 0,963 + 0,028D + 0,021t + 0,094B + -0,096D^2 - 0,089t^2 - 0,094B^2 \quad (2)$$

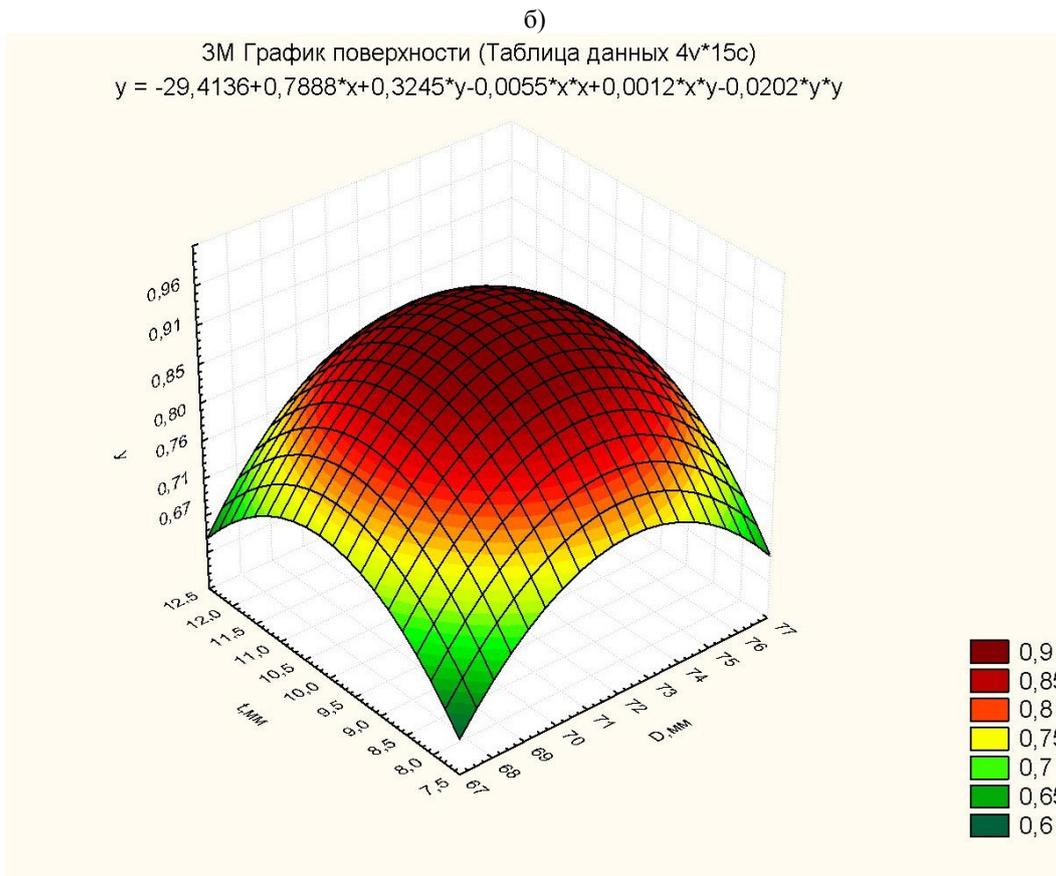
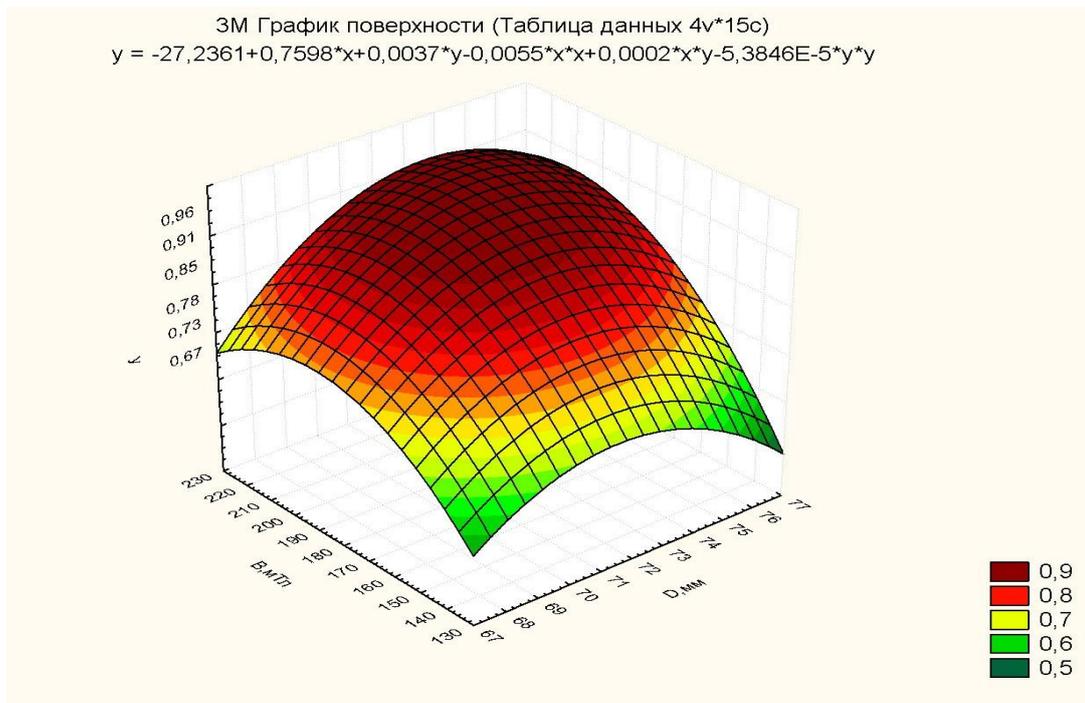
где  $D$  – длина окружности отверстий, мм,  $t$  – расстояние между отверстиями, мм,  $B$  – величина магнитной индукции в рабочей зоне, Тл.

Достоверность полученной полиномиальной модели оценивали с помощью F-критерия Фишера. Рассчитанный критерий Фишера равен  $F_p = 2,65$ , что меньше табличного  $F_T = 19,4$ . Это свидетельствует об адекватности полученной полиномиальной модели [3, 4].

После обработки данных и получения полиномиальной математической модели строим трехмерные поверхности отклика с различными вариантами значений факторов и последующим анализом. В виду того, что наиболее значительное уменьшение среднеквадратической ошибки происходит при увеличении числа повторностей до трех, то при проведении основного эксперимента ограничиваемся тремя повторностями в каждом опыте [3,4].

На рисунках 1а, 1б, 1в представлены поверхности отклика  $y(x_1, x_2)$ ,  $y(x_1, x_3)$ ,  $y(x_2, x_3)$ .





в)

Рис. 1 – Поверхности отклика:

- a* – характеризующая значение степени очистки в зависимости от расстояния между отверстиями и величины магнитной индукции;
- б* – характеризующая значение степени очистки в зависимости от расстояния между отверстиями и величины магнитной индукции;
- в* – характеризующая значение степени очистки в зависимости от расстояния между отверстиями и длины окружности отверстия концентратора.

Анализ зависимости (рис. 1а) изменения от расстояния между отверстиями и величины магнитной индукции максимум степени очистки наблюдается при расстоянии между отверстиями 9-11мм и величине магнитной индукции 180-200мТл

Анализ зависимости (рис. 1б) изменения длины окружности отверстия концентратора и величины магнитной индукции при ( $x_2 = 0$ ) показывают, что максимум степени очистки наблюдается при длине окружности равной 72мм и величине магнитной индукции 180-200мТл.

Анализ поверхности отклика (рис. 1в) показывает, что наиболее выгодным вариантом сочетания факторов для максимума степени очистки является: длина окружности равная 72 мм и расстояние между отверстиями 9-11мм.

**Вывод.** Качество очистки сыпучих продуктов зависит от величины магнитной индукции в рабочей зоне сепаратора, а величина магнитной индукции зависит от конструкции концентратора магнитного поля. Концентратор следует выполнять в виде овала с длиной окружности 72 мм и расстоянием между отверстиями 9 – 11 мм.

#### Литература

1. Адлер Ю. П. Введение в планирование эксперимента. М.: Metallurgiya, 1969. – 155с.
2. Чарыков В. И., Евдокимов А. А., Сажин В. Н. Исследование факторов, определяющих величину магнитной индукции в межполюсном пространстве электромагнитного сепаратора // Вестник Курганской ГСХА. – 2016. – №2. – С. 78 – 81.
3. Спиридонов А. А. Планирование экспериментов при исследовании технологических процессов. М.: Машиностроение, 1981. – 184 с.
4. Чарыков В. И., Митюни А. А. Очистка сыпучих сельскохозяйственных продуктов от металлических включений гравитационным сепаратором УСС – 6М // Вестник Курганской ГСХА. 2016. – №1. – С. 76 – 80.

#### References

1. Adler Y. P. Vvedenie v planirovanie ehksperimenta. M.: Metallurgiya, 1969. – 155s.
2. Charykov V. I., Evdokimov A. A., Sazhin V. N. Issledovanie faktorov, opredelyayushchih velichinu magnitnoj indukcii v mezhpolyusnom prostranstve ehlektromagnitnogo separatora // Vestnik Kurganskoy GSKHA. – 2016. – №2. – S. 78 - 81.
3. Spiridonov A. A. Planirovanie ehksperimentov pri issledovanii tekhnologicheskikh processov. M.: Mashinostroenie, 1981. – 184 s.
4. Charykov V. I., Mityunin A. A. Ochistka sypuchih sel'skohozyajstvennyh produktov ot metallicheskih vklyuchenij gravitacionnym separatorom USS – 6M // Vestnik Kurganskoy GSKHA. – 2016. – №1. – S. 76 - 80.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.51.109

Черкасова Н.Г.

Кандидат технических наук,

Сибирский государственный технологический университет

### МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ДРЕВЕСНОЙ ПЫЛИ И ЕЁ ЗНАЧЕНИЕ В ПРОИЗВОДСТВЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

#### Аннотация

*Древесная пыль, как растительный отход позволяет получать биодеструктурируемые материалы, которые постепенно разлагаются и усваиваются при контакте с микроорганизмами. Изменение поверхности частиц древесной пыли придает ей свойства, отличные от исходного материала, и фактически изменяет все физико-химические характеристики (адсорбционную способность, поведение при взаимодействии с различными средами, взрывоопасные свойства и др.). Что может позволить получить качественные, экологически чистые, конкурентоспособные композиционные материалы. Указаны факторы, оказывающие влияние на адгезию микроорганизмов к материалу всей композиции.*

**Ключевые слова:** микроорганизмы, древесная пыль, композиционные материалы, биокomпозитные материалы, техническая микробиология, биоаэрозоль, белая гниль.

Cherkasova N.G.

PhD in Engineering,

Siberian State Technological University

### MICROBIOLOGICAL COMPONENT OF WOOD DUST AND ITS VALUE IN PRODUCTION OF COMPOSITE MATERIALS

#### Abstract

*Wood dust as vegetable withdrawal allows to receive biodestrukturuyemy materials which decay gradually and acquired in case of contact with microorganisms. Change of a surface of particles of wood dust gives it the properties other than initial material, and actually changes all physical and chemical characteristics (the adsorptive capability, behavior in case of interaction with various environments, explosive properties, etc.). What is able to afford to receive high-quality environmentally friendly, competitive composite materials. The factors exerting impact on adhesion of microorganisms to materials of all composition are specified*

**Keywords:** microorganisms, wood dust, composite materials, biocomposite materials, technical microbiology, bioaerosol, white decay.

Древесная пыль, как известно, является востребованным наполнителем при производстве композитов, за счет своей доступности и стоимости, а микроорганизмы в ней могут оказывать влияние, как на сам технологический процесс, так и на условия хранения и использования исходного сырья.

Исследованиям подлежали технологическая, шлифовальная и смешанная пыль (полученные при обработке цельной древесины, ДСП, ДВП).

Размеры древесных пылинок и их взаимное расположение оказывают большое влияние на пористость плиты. Мелкие пылинки, располагаясь между крупными древесными частицами, увеличивают число контактов между ними, что позволяет сохранить исходное распределение в процессе формования плиты, но приводит к изменению её физико-механических свойств и способности к биоразложению.

Проблемой, с которой можно столкнуться во время хранения, погрузочно-разгрузочных работ и транспортировке пыли, является потенциальный риск здоровью, связанный с высокими концентрациями бактерий и спор грибов в окружающем воздухе, что создает недопустимую рабочую среду [1].

Поскольку пыль древесины имеет органическое происхождение, она является благоприятной средой для развития патогенных микроорганизмов.

Некоторые теплолюбивые бактерии, вирусы являются человеческими патогенами, и вдыхание аскомицетных спор из хранилищ провоцирует заболевания. Патогенные микроорганизмы и микроорганизмы-продуценты, такие как палочка Коха, стойко переносят высушивание и вместе с частицами пыли уносятся на большие расстояния, сохраняя свою жизнеспособность и вирулентность в микрочастицах пыли в воздухе от 2 месяцев до 1 года, например бруцеллы - от 20 до 70 дней.

Хранение древесных отходов в кучах обеспечивает благоприятную среду для развития многих видов бактерий и грибов. Наиболее распространёнными, имеющимися в избытке колонизаторами хранимого сырья являются, например, быстрорастущие плесневые грибы, споры которых могут переноситься по воздуху во время разгрузки или загрузки тонкодисперсного сырья. Так как размеры этих спор небольшие, они легко вдыхаются вместе с воздухом, проникают в систему дыхания и вызывают аллергические реакции. О чем свидетельствует статистика заболеваемости работников лесопильных и деревообрабатывающих предприятий. Из анализа карт больных, обратившихся в 2015 году за получением путевки в санаторий-профилакторий Лесосибирского деревообрабатывающего предприятия ЛДК 1, следует отметить, что у 60% из них, за время прохождения курса профилактики, были зафиксированы признаки респираторных заболеваний (ОРВИ, ОРЗ и грипп), аллергические реакции. Также выявлены работники с болезнями костно-мышечной системы и соединительных тканей, работники с болезнями кровообращения и с болезнями органов пищеварения. Из анализа полученных данных можно сделать вывод, что наибольшее распространение получили инфекционные заболевания, общей чертой которых является воздушно-капельный способ распространения с локализацией возбудителя в дыхательных путях. При ослаблении общего состояния работников, наблюдалось обострение уже имеющихся хронических заболеваний.

Все эти проблемы устранимы за счет применения ряда эффективных технических мер, например: использовать ионизацию в помещении хранения и дальнейшей транспортировки древесной пыли, так как её составляющие непрерывно и самопроизвольно коагулируют, а при соприкосновении слипаются и постепенно увеличивают свои размеры. Их коагуляция, в основном, зависит от факторов, определяющих вероятность столкновения частиц: от распределения по размерам, электрического заряда, температуры, влажности, а также от формы и структуры.[4].

Влияние структуры плиты на её прочность проявляется через количество контактов между частицами, приходящимися на единицу её площади. Микроорганизмы, находящиеся на поверхности древесной пыли способствуют разрыву связей между ними, что может привести к разрушению плиты при растяжении перпендикулярно, а при сжатии и скальвании параллельно пластины плиты. При этом на ассимиляцию микроорганизмов не влияют ни форма, ни размер древесных частиц, но может произойти модификация структуры плиты за счет увеличения сил адгезии на границе «микроорганизм-пылинка» с последующим биообрастанием и деградацией композиционного материала.

При продолжительном развитии плесневые грибы могут частично разрушать клеточные оболочки древесины, а также влиять на прочность склеивания древесных материалов [2].

Биологическое обрастание поверхности материалов микроорганизмами приводит к изменению влажности и pH поверхности материала под действием продуктов их метаболизма, что влияет на изменение электрических свойств композита.

При поиске новых, экологически чистых технологий производства композитов техническая микробиология является перспективным направлением, так как занимается разработкой биотехнологии синтеза микроорганизмами биологически активных веществ.

При рассмотрении древесной пыли как основного элемента биопластика способ биоактивации её природных полимеров является наиболее приемлемым и перспективным. Адсорбционное взаимодействие в этом процессе обусловлено электростатическим притяжением, которое зависит от природы поверхности твердого тела, величины и характера ее заряда, а также от электрокинетических свойств клетки микроорганизма.

Электрический заряд древесных частиц существенно влияет на их коагуляцию в плите. На поведение частиц, помещенных в электрическое поле коронного разряда, влияет напряженность и конфигурация поля, величина заряда частицы и ток короны. Коагуляция является наиболее характерным процессом изменения дисперсной системы, прежде всего за счет направленного дрейфа частиц. Механизм зарядки частиц контактный, то есть за счет их взаимодействия между собой. Общим условием для электризации в этом случае является наличие электрического контакта между несколькими частицами в течение ограниченного временного интервала. Если между частицами существует некоторая разность потенциалов, то в зоне контакта происходит переход носителей заряда с одной частицы на другую. Это приводит к перераспределению заряда между контактирующими частицами, в результате чего после разрыва контакта заряды будут отличаться от первоначальных значений. Следовательно, заряд каждой из взаимодействующих частиц зависит от электрических свойств, участвующих в контакте частиц [4].

Аэробные микроорганизмы обладают способностью влиять на биосинтез активных экзосистем окислительных и гидролитических ферментов, воздействующих на подструктуры лигнина и в значительно меньшей степени затрагивающих целлюлозные компоненты древесины, что позволяет использовать их в качестве «склеивающего» агента. Причем, данный процесс усиливается при увеличении температуры в процессе прессования древесного композита [3].

Для создания биопластиков из всех известных биодеструкционных грибов наиболее приемлемой группой просматривается группа грибов, вызывающих белую гниль и относящихся к родам *Coriolus*, *Pleurotus*, *Panus* и подобным им. Разрастаясь на поверхности композиционного древесного материала, белая гниль приводит к деградации последнего, что сопровождается увеличением его набухания. Данный процесс позволяет использовать связующую способность природных полимеров для получения экологически качественных для потребителя древесных композиционных материалов с более высокой твердостью и электроизоляционными свойствами.

Автором доказано, что электростатические силы могут эффективно влиять на взаимодействие дисперсных частиц в системах «пылевая частица-микроорганизм» и «частица-частица», что приводит к существенным изменениям в дисперсном и морфологическом составе, как самого наполнителя, так и композита в целом.

#### Литература

1. Arshadi, M. and Gref, R. 2005. "Emission of volatile organic compounds from softwood pellets during storage", *Forest Products Journal*, vol. 55, no.12, pp.132–135.

2. Рабинович, М. Л. Теоретические основы биотехнологии древесных композитов: В 2 кн. Кн. I. Древесина и разрушающие ее грибы [Текст] / М. Л. Рабинович, А. В. Болобова, В. И. Кондращенко ; Отв. ред. А. М. Безборо дов. – М.: Наука, 2001. – 264 с. 4.

3. Луканина, Ю. К. Термо- и фотоокисление биодеструктируемых композиций на основе полиэтилена и природных наполнителей [Текст] / Ю. К. Луканина, Н. Н. Колесникова, А. В. Хватов и др.// Пластические массы. – 2007. – №5. – С. 40-41.

4. Черкасова, Наталья Геннадьевна. Улучшение качества очистки и оздоровление воздушной среды искусственной ионизацией: диссертация кандидата технических наук: 03.00.16 Красноярск, 2002 286 с.: 61 03-5/1064

#### References

1. Arshadi, M. and Gref, R. 2005. "Emission of volatile organic compounds from softwood pellets during storage", *Forest Products Journal*, vol. 55, no.12, pp.132–135.

2. Rabinovich, M. L. Teoreticheskie osnovy biotekhnologii drevesnykh kompozitov: V 2 kn. Kn. I. Drevesina i razrushajushhie ee griby [Tekst] / M. L. Rabinovich, A. V. Bolobova, V. I. Kondrashhenko ; Otv. red. A. M. Bezboro dov. – M.: Nauka, 2001. – 264 s. 4.

3. Lukanina, Ju. K. Termo- i fotookislenie biodestruktiruemykh kompozicij na osnove polijetilena i prirodnykh napolnitelej [Tekst] / Ju. K. Lukanina, N. N. Kolesnikova, A. V. Hvatov i dr.// Plasticheskie massy. – 2007. – №5. – S. 40-41.

4. Cherkasova, Natal'ja Gennad'evna. Uluchshenie kachestva ochistki i ozdorovlenie vozduшной sredy iskusstvennoj ionizaciej: dissertacija kandidata tehniceskikh nauk: 03.00.16 Krasnojarsk, 2002 286 s.: 61 03-5/1064

DOI: 10.18454/IRJ.2016.51.176

Черненко Е.А.

ORCID: 0000-0001-8942-1693,

доцент, кандидат технических наук,

Саяно-Шушенский филиал Сибирского федерального университета

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-46-190142

### МОДЕЛИРОВАНИЕ И РЕКОНСТРУКЦИЯ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ РЕСПУБЛИКИ ХАКАСИЯ

*Аннотация*

*Работы по графическому моделированию и воссозданию исторических археологических объектов - актуальны и позволяют познакомиться наглядно всех интересующихся жителей Хакасии, России, других стран с историей региона. Реконструкция и визуализация исторических объектов перспективна в музейном деле и развитии туризма, имеет практическую значимость при организации образовательной и просветительской деятельности по вопросам истории Хакасии, сохранении культуры и языка малых этносов. Целью исследования является воссоздание склепа Салбыкского кургана и Барсучьего Лога при помощи 3D моделирования.*

**Ключевые слова:** моделирование, трехмерная графика, курган, реконструкция.

Chernenko E.A.

ORCID: 0000-0001-8942-1693, Associate professor, PhD in Engineering,

Sayano-Shushenskaya branch of Siberian Federal University

### MODELING AND RECONSTRUCTION OF ARCHAEOLOGICAL SITES REPUBLIC OF KHAKASSIA

*Abstract*

*Work on the graphic modeling and reconstruction of historic archaeological sites - are relevant and make it possible to introduce clearly all interested residents of Khakassia, Russia and other countries with a history of the region. Reconstruction and visualization of historical objects in museums perspective and the development of tourism, is of practical importance in the organization of educational and outreach activities on the history of Khakassia, preserving the culture and language of small ethnic groups. The aim of the study is the reconstruction of the tomb mound and Salbyksky badger Loga using 3D modeling.*

**Keywords:** modeling, three-dimensional graphics, burial mound, reconstruction.

Графическое представление музейной археологической информации позволяет человеку получить знания в виде ярких незабываемых образов, упростить процессы ознакомления с мировыми достижениями в области истории, заинтересоваться изучением культуры, в том числе и самобытной культурой малых этносов России. Создание цифровых археологических объектов является современным новым подходом для существования человека

в виртуальном информационном пространстве и ознакомления его с историей и археологией. Сочетание археологии, истории и компьютерных технологий позволяет получить интересные результаты. В настоящее время популярны экспозиционные ролики (виртуальные экскурсии), интерактивные путешествия (виртуальная реальность), анимационные 3d фильмы. Вопросы разработки и адаптации известных методов моделирования трехмерных объектов для археологии является важным, актуальным и новым явлением. Активно используется 3D-моделирование для создания цифровых экспонатов и реконструкции исторических и археологических объектов.

Реконструкция и визуализация исторических объектов – перспективное направление в музейном деле и для развития туризма, имеющая практическую значимость при организации образовательной и просветительской деятельности в вопросах истории регионов России.

Республика Хакасия расположена в юго-восточной части на востоке Сибири. На территории Хакасско-Минусинской котловины находится множество курганов. В Хакасии к одним из самых значимых памятников археологии относят «царские» или «вождевые» монументальные курганы скифского времени – Салбыкский курган и Барсучий Лог. Салбык является одним из самых больших курганов скифского времени во всей Сибири. Его земляная насыпь до исследований достигала 11,5 м в высоту, а объем ее составлял 23,5 тыс. м<sup>3</sup>.

Большой Салбыкский курган получил название по наименованию долины, где он расположен. К сожалению, курган внешне значительно изменился со временем и в связи с раскопками. Сейчас его трудно назвать курганом. Внутренняя часть скрыта от глаз под толщей земли и глины. О ней можно узнать только из описания историков.

В 1954-1956 гг. Член корр. АН СССР С.В. Киселев провел исследование этого кургана и пришел к заключению, что насыпь при ее возведении была пирамидальной формы и имела высоту 25-30 м. По его приблизительным подсчетам 100 человек должны были возводить такую насыпь в течение 7 лет [1].

Курган Барсучий Лог тагарской эпохи, расположен в урочище Барсучий Лог Усть-Абаканского района Республики Хакасия. Исследования этого памятника были начаты ещё в 2004 году. В 2006 году был раскопан склеп кургана. При углубленном знакомстве с материалами раскопок просматривается несомненное конструктивное сходство пространственной модели построения Салбыкского кургана и кургана Барсучий Лог. Могилы в курганах закрыты накатами бревен. Разница в том, что внутри Барсучьего Лога, за могилой, на вальках из красной глины была построена дополнительная деревянная конструкция из досок в виде вертикального шалаша, назначение которого неизвестно. Археологи считают, что это сакральное сооружение.

Для сохранения представления о прошлом этих курганов создается их 3D-модель. В настоящее время уже существуют варианты реконструкции Салбыкского кургана. Макет физической модели представлен в экспозиции в Хакасском краеведческом музее.

Получение 3D цифровой модели для дальнейшего метода реконструкции является новизной проекта.

Для создания модели использована программа Autodesk 3ds Max, 16, бесплатная студенческая версия. Autodesk 3ds Max предназначен для 3D-моделирования, анимации, рендеринга.

Этапы работы по моделированию:

- изучение материалов по теме: текстовые описания Барсучьего Лога и Салбыкского кургана, фото, чертежи, выполненные археологами до и после раскопок;
- создание студии моделирования;
- моделирование объекта;
- наложение текстур и размещение источников света для рендеринга.

Для создания студии моделирования использован крестообразный метод. Перед реализацией трехмерной модели нужно было получить данные о размерах моделируемого кургана. Для этого рассмотрены фотографии с места раскопок, материалы археологов об их проведении, исторические сведения о подобных сооружениях – все, что могло дать представление о Большом Салбыкском кургане, было изучено, для поиска расчетных данных, необходимых для воссоздания трехмерной модели. Непосредственную роль сыграли старые фотографии с места раскопок, по которым производилось большинство расчетов размеров кургана и его менгиров.

По итогам работы были получены приблизительные размеры кургана, по которым и создана 3D-модель:

- основание кургана 80x80 м;
- высота кургана 25-30 м;
- размеры кургана на момент раскопок: около 75x75 м (каменная ограда имеет размеры 70x70 м);
- высота кургана на момент раскопок: 12 м (согласно археологическим записям).

Внешняя часть кургана представляет собой усеченную пирамиду.

В работе использованы такие методы и приемы, как:

- моделирование на основе примитивов и сплайнов, модификаторов;
- правка редактируемых поверхностей: Editable Mesh и Editable Poly;
- наложение текстур: Unwrap UVW;
- настройка освещения: Omni и Skylight.

Модель склепа Большого Салбыкского кургана состоит из графических 3D-примитивов (cylinder, box, plane), к которым были применены модификаторы и сплайновое моделирование. После моделирования наложены текстурты, подобраны и настроены цвета нарисованных объектов.

Результатом работы в программе является изображение курганов снаружи и внутри в формате .jpg в различных ракурсах [2]. 3D изображения реконструированных объектов планируется распечатать и разместить в Хакасском краеведческом музее. Картинки формата .jpg можно использовать при создании фильма об истории Хакасии. Также созданная модель кургана может быть импортирована из формата .max в формат .stl и, далее в формат .g-code для печати на 3D принтере. При создании картинки цвета и текстуры накладываются в программе, а пластиковый макет кургана требует художественной доработки и покраски.

Использование 3D реконструированных объектов в музеях позволит перейти на новый уровень восприятия информации посетителями музея, появится возможность организовать работу музея на качественно ином уровне. Работы по моделированию и воссозданию исторических объектов актуальны и позволяют знакомить наглядно всех интересующихся жителей Хакасии, России, других стран с историей Хакасии, культурой. Создание трехмерной реконструкции внешней и внутренней части курганов позволит визуализировать археологический объект и представить его макет, модель на экспозиции в музее, на сайте в интернете, в электронном учебнике по краеведению.

Результаты работы были представлены на IV Международной научно-практической конференции «Сохранение и развитие языков и культур народов Сибири», проходившей в мае 2016 г. в г. Абакане и получили высокую оценку. Моделирование и реконструкция археологических памятников были рассмотрены как способ сохранения этнокультурного наследия Республики Хакасия.

#### Литература

1. Киселев С.В. Исследование Большого Салбыкского кургана в 1954 и 1955 гг. // "Тезисы докладов на сессии Отд. Исторических наук и Пленуме ИИМК, посвященных итогам археологических исследований 1955 г.". М.-Л., 1956.
2. Черненко Е.А. 3D графическая реконструкция и визуализация памятника археологии// Информационное общество № 2-3 стр. 80-85.

#### References

1. Kiselev S.V. Investigation of the Big Salbyk mound in 1954 and 1955 // Abstracts of the session Otd. Historical Sciences and the Plenum of the Institute, devoted to the results of archaeological research, 1955". M.-L., 1956.
2. Chernenko E.A. 3D graphic reconstruction and visualization of archaeological Information society No. 2-3 pp. 80-85.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.51.050

Шинкарев А.А.

Аспирант,

Южно-Уральский государственный университет,

#### ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ТРАНСПОРТА НА БАЗЕ ИНСТРУМЕНТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

#### Аннотация

*В данной работе обоснована актуальность построения систем управления движением транспорта, направленных не только на управление дорожным движением, но и на развитие улично-дорожной сети. Основой подобных систем выбраны инструменты моделирования транспортных потоков. Приведены критерии сравнения эффективности проектных решений, этапы их подготовки и принятия. Сформулированы две наиболее острые проблемы при построении рассматриваемых систем, стоящие перед многими городами. Также в общем виде формализована базовая концепция построения систем управления движением транспорта.*

**Ключевые слова:** дорожное движение, управление, развитие, моделирование, транспортный поток.

Shinkarev A.A.

Postgraduate student,

South Ural State University

#### BUILDING OF TRAFFIC MANAGEMENT SYSTEMS BASED ON TRAFFIC FLOW MODELING INSTRUMENTS

#### Abstract

*Relevance of building of the traffic management systems that target not only the traffic management but also the road network development is justified. Traffic flow modeling instruments are selected as the basement of such systems. Comparison criteria of design solutions efficiency are shown. Also the design solutions stages of preparation and acceptance are listed. Two of the most critical problems that lots of cities deal with during the systems building are formulated. Also the general view of traffic management systems building base concept is formalized.*

**Keywords:** traffic, management, development, modeling, traffic flow.

На сегодняшний день является острой необходимостью в повышении качества управления и организации дорожного движения. Однако зачастую этот вопрос решается без взаимосвязи с главной стратегической задачей своевременного развития улично-дорожной сети (УДС).

Когда предпочтение отдается только организации движения в ущерб решения локальных задач, теряется фокус работы на перспективу, а именно проактивной работы. Результатом такого выбора становится не готовность к разрешению накапливающихся неразрешенных проблем. Ситуация усугубляется тем, что подготовительная работа по выявлению возможных проблем с пропускной способностью не проводилась, так как решались краткосрочные задачи на уже сложившейся УДС города.

Таким образом, на сегодняшний день не теряет своей актуальности задача своевременного развития УДС городов на базе инструментов моделирования транспортных потоков. Проблематика заключается в том, что большинство автоматизированных систем управления дорожным движением (АСУДД) не решают данную задачу, а лишь регулируют движение на сложившейся сети.

Для того, чтобы формализовать процесс построения систем управления движением транспорта на базе инструментов моделирования транспортных потоков, учитывающий необходимость решения как задачи развития УДС городов, так и задачи управления дорожным движением, попробуем сформулировать методику создания систем подобного рода.

Для проведения обоснованного выбора проектных решений, направленных на улучшение дорожной ситуации, необходимо иметь возможность сравнивать их между собой по следующим критериям:

1. Срок окупаемости внедряемого решения. Очень важным аспектом является время, которое необходимо системе для того, чтобы экономически оправдать свое внедрение.

2. Увеличение пропускной способности. Образование заторных ситуаций на дорогах и неудовлетворительное качество предоставляемых транспортных услуг возникает тогда, когда УДС уже не может соответствовать постоянно растущим потребностям общества.

3. Увеличение скорости сообщения. Увеличивая пропускную способность системы мы не всегда можем говорить об увеличении скорости сообщения, то есть о сокращении фактического времени, которое необходимо автомобилисту, чтобы добраться из точки А в точку Б.

4. Влияние на работу массового пассажирского транспорта. Одним из наиболее сложных вопросов является степень влияния принимаемого решения на качество услуг, предоставляемых общественным транспортом.

5. Стоимость внедрения и поддержки. Как и срок окупаемости, этот критерий тесно связан с экономической целесообразностью реализации проекта в среднесрочной и долгосрочной перспективе.

Использование малозатратных средств моделирования транспортных потоков становится особенно актуально в условиях нового экономического кризиса, а также недофинансирования на его фоне подразделений министерства транспорта России.

В рамках рассматриваемой предметной области управления дорожным движением и развития УДС городов, подготовка и принятие управленческих решений включает в себя следующие основные этапы:

1. Выявление ключевых целей и задач, относящихся к сферам регулирования, управления и развития. В качестве общих стратегических задач на уровне страны необходимо руководствоваться Транспортной стратегией РФ на период до 2030 года [1].

2. Выявление приоритетов сформированных целей и задач на краткосрочную, среднесрочную и долгосрочную перспективу. От грамотной расстановки приоритетов зависит не только предмет финансирования, но и, возможно, то, насколько быстро качество предоставляемых транспортных услуг повысится до степени, полностью удовлетворяющей запросы общества.

3. Анализ сложившейся дорожной ситуации, выявление текущих проблем с помощью экспертного сообщества и проверка высказываемых предположений об их природе при помощи средств моделирования и визуализации.

4. Подбор решений, направленных на устранение наиболее острых проблем и на развитие УДС городов. Как было сказано ранее, приоритетом должно являться развитие УДС городов в целом и решение наиболее критичных проблем городов, однако также целесообразным является соблюдение баланса между активными действиями в качестве реакции на проблемы, и проактивными действиями, направленными на борьбу с будущими сложностями.

5. Моделирование применения каждого проектного варианта с привлечением экспертных оценок как до моделирования, то есть на этапе проектирования, так и после такового.

6. Выбор наиболее рациональных и уместных альтернатив на основе сформулированных целей, задач, а также степени соответствия критериям эффективности. Не достаточно лишь апробации экспертных оценок моделирования и доказательства адекватности этих проектов решению рассматриваемых задач, необходима также проверка соответствия получаемых результатов заявленным критериям эффективности, которые в целом могут значительно отличаться.

7. Анализ возможных последствий принятия того или иного управленческого решения. У любого принимаемого к реализации проектного решения могут быть как очевидные, так и не очевидные побочные эффекты. К сожалению, средства моделирования редко могут дать возможность предвидеть неявные негативные последствия, в данном случае полезен может оказаться лишь опыт экспертного сообщества.

8. Проведение второго этапа экспертной оценки. Второй этап экспертной оценки проекта предполагает коррекцию определенного рода на основании результатов моделирования работы предлагаемого решения, вплоть до полной его переработки или же вообще отказа от внедрения.

9. Разработка проекта внедрения выбранного решения на всех уровнях.

10. Контроль над исполнением принятого решения.

11. Мониторинг эффекта от внедренного решения. Зачастую оценки экономической эффективности применения проектного решения не сходятся с результатами, получаемыми после внедрения. Для того, чтобы осуществлять грамотную работу над ошибками, необходим мониторинг и анализ причин расхождения ожидаемого и реального результатов.

Таким образом, обоснованность выбора того или иного класса решений, направленных на управление дорожным движением и на развитие УДС, зависит от конкретной ситуации и прогнозных оценок по увеличению транспортных потоков в городах. Нельзя взять на вооружение самый мощный инструментарий, такой как АСУДД, и рассчитывать, что он решит все задачи, не создаст при этом еще больших проблем и будет экономически обоснован. Также не следует забывать, что внедрение решения любого рода приносит целый шлейф как положительных, так и отрицательных побочных эффектов, которые могут быть не видны на проектном этапе. И со всеми прогнозируемыми и не прогнозируемыми результатами будет необходимо в дальнейшем работать как в краткосрочной, так и в долгосрочной перспективе.

Следует отметить, что зачастую советы и рекомендации, которые применяются при организации движения городов, базируются на опыте исторических наблюдений и мнений экспертной группы о том, какие параметры организации движения перекрестков в какое время дня могут быть приемлемы, и это является достаточным условием для воплощения в жизнь предлагаемых схем организации движения. Отчасти это обусловлено отсутствием научно обоснованных методов расчета параметров перекрестков, которым бы владели эксперты, а также отсутствием методов проверки того, что предлагаемая схема организации движения на заданном участке сети действительно близка к

оптимальной по ряду критериев. Одной из причин отсутствия внедренных программных и программно-аппаратных инструментов моделирования, которые бы позволяли выполнять оценку адекватности предлагаемых проектов сложившейся дорожной ситуации и рассматриваемым критериям эффективности работы УДС, является недофинансирование подразделений, которые занимаются управлением дорожным движением.

Даже города, обладающие средствами видеofиксации нарушений скоростного режима на большинстве перекрестков, зачастую могут не иметь возможности, используя видеопотоки со всех подконтрольных пересечений, проанализировать их и получить исходные данные для моделирования, такие как интенсивность движения, средняя скорость потока по полосам, состав потока и т.д.

Автомобилисты в свою очередь не имеют средств информирования о том, каким образом настроена УДС города. В данном случае не стоит говорить об отсутствии подробной информации об организации движения на том или ином участке дороги, что, безусловно, может являться конечной целью — полный доступ в том или ином виде к информации обо всех параметрах УДС, как статических, так и динамических. Важно то, что у водителей автомобилей нет возможности получить даже базовые рекомендации, какой скорости стоит придерживаться на заданном участке дороги, чтобы попасть в так называемую «зеленую волну».

Таким образом, две ключевые проблемы для множества городов нашей страны сводятся к:

1. Отсутствию информации о базовых параметрах транспортных потоков в каждый момент времени.
2. Отсутствию информации у водителей об организации движения на УДС.

Исходя из этих ключевых проблем и возможностей, которые предоставляют средства моделирования транспорта, в общем виде системы подобного рода могут строиться следующим образом:

1. Блок получения информации о параметрах транспортных потоков. В идеале необходимо иметь как интенсивность, так и среднюю скорость движения на потокопорождающих участках УДС, однако, если есть возможность получить интенсивность, это уже дает возможность проводить приближенные к реальности циклы моделирования.

2. Блок, который способен, получая изменяющиеся данные о параметрах транспортных потоков на УДС, моделировать ее работу на несколько часов вперед и, как минимум, выдавать график основных параметров сети. (Например, как меняется плотность движения со временем при заданной организации движения и параметрах потоков).

3. В интеллектуальной системе управления должен присутствовать блок, отвечающий за автоматическое принятие решения о необходимости смены схемы организации движения на участках сети.

4. Особое место при построении подобных систем должно занимать информирование водителей, начиная от рекомендуемой скорости на участках УДС и заканчивая мобильными приложениями, которые бы позволяли получать достоверную информацию о состоянии УДС в реальное время.

#### Литература

1. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года. URL: [http://rosavtdor.ru/storage/b/2014/06/24/trans\\_strat.pdf](http://rosavtdor.ru/storage/b/2014/06/24/trans_strat.pdf) (дата обращения 25.08.2016).

#### References

1. Transportnaja strategija Rossijskoj Federacii na period do 2030 goda [Transportation strategy of the Russian Federation until 2030]. URL: [http://rosavtdor.ru/storage/b/2014/06/24/trans\\_strat.pdf](http://rosavtdor.ru/storage/b/2014/06/24/trans_strat.pdf) (data obrashcheniya 25.08.2016). [in Russian]

 **В контакте**

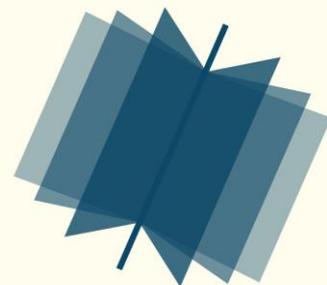
*Получить актуальную информацию, задать вопросы и узнать свежие новости о Международном научно-исследовательском журнале Вы сможете на официальной странице ВКонтakte*  
<http://vk.com/public43173774>

#### Опубликовать статью ВАК / Научный журнал

О компании:

Почта: [editors@research-journal.org](mailto:editors@research-journal.org)

МНИЖ предоставляет возможность опубликовать свои научные достижения аспирантам, преподавателям вузов, студентам, лицам, имеющим ученую степень, общественным деятелям, деятелям культуры и образования, политикам, экономистам России, стран СНГ и дальнего зарубежья.



DOI: 10.18454/IRJ.2016.51.129

Ямашкин С.А.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

"Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва"

**МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ЗЕМЕЛЬ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СТИХИЙНЫХ ПРОЦЕССОВ  
НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИНВАРИАНТНЫХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕРРИТОРИИ***Аннотация*

*Описана методика оценки состояния земель и прогнозирования чрезвычайных ситуаций на базе данных ДЗЗ, базирующаяся на учете спектральных характеристик территории, инвариантных и динамических свойств, синтетических дескрипторов. Предлагаемая методика позволяет достичь снижения шумового воздействия, получения генерализованного результата, повышения точности классификации. Показано, что морфометрические параметры, являются важнейшей инвариантной характеристикой территории, а выделение динамических границ геофизических участков и оценка геофизического разнообразия территории методом вычисления энтропии и характеристик изменения яркости позволяют оценить динамические компоненты.*

**Ключевые слова:** мониторинг земель, инвариантные свойства, динамические свойства, дескрипторы окрестности, энтропия, выделение границ.

Yamashkin S.A.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education

"National Research Ogarev Mordovia State University"

**MONITORING OF LAND AND NATURAL PROCESSES PREDICTION BASED ON ANALYSIS  
OF INVARIANT AND DYNAMIC PARAMETERS OF THE TERRITORY***Abstract*

*A method for assessing the state of land and forecasting of emergency situations on the basis of remote sensing data, based on the account of the spectral characteristics of the territory, the invariant and dynamic properties, synthetic handles are described. The proposed method allows to achieve a reduction of noise exposure, obtain generalized results, improve the accuracy of classification. It is shown that morphometric parameters are the most important characteristic of the territory of the invariant and dynamic allocation of boundaries geophysical stations and geophysical assessment of the diversity of the territory and the method of calculating the entropy change of brightness characteristics allow us to estimate the dynamic components.*

**Keywords:** land monitoring, invariant properties, dynamic properties, descriptors neighborhood, entropy, edge detection.

Для получения комплексной пространственно-временной характеристики о состоянии земель и прогнозирования стихийных процессов целесообразно опираться на системный анализ данных, характеризующих динамические и инвариантные состояния территории, окружающей геофизический участок, ведь анализ свойств окрестности важен в определении класса территории, как и спектральные характеристики [1]. Выявление инвариантных свойств геофизической оболочки возможно в результате исследования морфометрических карт рельефа, изменение которого происходит в течение очень длительного периода, характеризуясь при этом необратимостью. Информацию о динамике геофизической оболочки можно извлечь из материалов дистанционного зондирования Земли через анализ спектральных характеристик.

**Морфометрические параметры, как важнейшая инвариантная характеристика территории.** Определение численных характеристик рельефа способно дать важную инвариантную информацию об изучаемой территории. Важнейшими морфометрическими параметрами выступают крутизна (уклон) и экспозиция склонов.

Крутизна (уклон) поверхности – это интенсивность перепада высот (модуль градиента) между двумя ее точками. Значение крутизны поверхности способно объективно характеризовать различные геофизические свойства и процессы, такие как поверхностный сток, эрозия, количество получаемой солнечной энергии, некоторые свойства почв и растительного покрова. Экспозиция является объективной характеристикой территории, отражающей ориентацию исследуемого участка к потоку солнечных лучей и, следовательно, количество получаемой радиации, влияющей на биологическую продуктивность произрастающих культур. Кроме того, экспозиция характеризует направление поверхностного стока воды.

Построение карт экспозиции и градаций экспозиции, так же позволяет получить наглядный графический материал, который в свою очередь может быть использован для составления карты оценки мелиоративного и агроэкологического состояния мелиорируемых земель.

**Выделение динамических границ геофизических участков.** Максимально точное выделение краев с минимальной погрешностью, безусловно, важно для решения многих задач обработки и анализа изображений, одной из которых является анализ земель. В данном контексте особый интерес представляет анализ скачкообразного изменения яркости соседних пикселей данных ДЗЗ, ведь резкие колебания этой величины очень часто возникают на границах геосистем, в местах изменения отражательной способности поверхности и освещения [2].

В предварительной стадии выполнения алгоритма, изображение необходимо подготовить: в борьбе с шумом полезно сглаживание изображения, которое применяется для того, чтобы нивелировать нежелательные различия между яркостями соседних пикселей. В полученном целесообразно вычислить значение и направление градиента яркости пикселей изображения. Решение этой задачи возможно через применение оператора Собеля к каждому пикселю раstra. После вычисления градиентов изображения, целесообразно выполнить операцию подавления немаксимумов, предложенную Джоном Кэнни [3]. В ходе следующего шага все множество пикселей предполагается разделить на три категории. Операция, носящая название двойной пороговой фильтрации, заключается в том, что

пиксели, яркость которых меньше определенного минимального порога, отбрасываются; пиксели, яркость которых больше максимальной границы, принимаются за граничные, не требующие дальнейшего уточнения. Для оставшихся пикселей будет необходимо уточнить, являются ли они краевыми. Результатом выполнения алгоритма является получение краевых точек, отмеченных на местах предполагаемых геофизических границ.

**Оценка геофизического разнообразия территории методом вычисления энтропии и характеристик изменения яркости.** Важнейшей характеристикой территории, учитываемых при мониторинге земель и прогнозировании чрезвычайных ситуаций является степень разнообразия входящих в нее компонентов. На уровне данных ДЗЗ анализ этой характеристики может быть сведен к исследованию разнообразия пикселей снимков в различных спектральных диапазонах [4]. В качестве меры оценки степени разнообразия пикселей, входящих в выбранную окрестность, целесообразно использовать информационную энтропию, выступает объективной характеристикой геофизического разнообразия изучаемого участка земной поверхности.

По характеру изменения яркости пикселей окрестности территории можно судить о степени геофизического разнообразия региона и динамических свойствах геофизической оболочки. Оценка изменения яркости логично проводить на основе анализа конечных разностей, градиентов, лапласиана, значения среднеквадратического отклонения.

**Методика классификации геофизической оболочки с учетом параметров окрестности.** Проведенные исследования показали, что анализ свойств окрестности также важен в определении класса территории, так как позволяет анализировать динамические и инвариантные компоненты геофизической оболочки. Под окрестностью геофизического объекта понимается территория, расположенная в пределах определенного расстояния от центра данного объекта.

Инвариантный морфометрический и динамические граничный и энтропийный дескрипторы целесообразно рассчитывать при помощи предложенных в предыдущем разделе алгоритмов. Анализ цветовых дескрипторов так же важен в определении пространственных объектов [5]. При этом целесообразно использовать признаки, инвариантные к нежелательным изменениям цвета, например, наложению тени и засвечиванию: цветовой момент, гистограмма оттенков, кортеж цветов.

После расчета дескрипторов окрестности можно сопоставить каждому атомарному участку космической съемки вектор его свойств. Учет дескрипторов окрестности при классификации целесообразно осуществлять через расчет вектора Фишера, представляющего собой частный случай ядра Фишера. Он предназначен для кодирования локальных особенностей изображения в формате, который подходит для эффективного обучения и сравнения с простыми метриками [6]. Вектор Фишера – это представление изображение, полученное путем объединения локальных особенностей-дескрипторов изображения, благодаря чему его целесообразно использовать в качестве дескриптора изображения или его части при классификации земель.

**Выводы.** Разработанная методика оценки состояния земель и прогнозирования чрезвычайных ситуаций на базе данных ДЗЗ, базируется на учете спектральных характеристик территории и синтетических дескрипторов, которая позволяет достичь: а) снижения шумового воздействия; б) получения генерализованного результата; в) повышения точности классификации.

Анализ аутентичности окружающих территорий позволяет на основе пространственных закономерностей с большей объективной точностью классифицировать участки земель. В итоговом результате исключается выделение геофизических территорий, не вписывающихся в общую пространственную модель, поэтому классификация материалов на основе параметров более крупной окрестности пригодна для составления карт геофизической оболочки мелкого масштаба.

Апробация методики на различных тестовых участках показала варьирование точности классификации в диапазоне 81–89 % (без учета окрестности), а с учетом окрестности она возрастает до 91–97 %. Выявлено, что значительное увеличение радиуса анализируемой окрестности приводит к снижению точности классификации.

#### Литература

1. Сочава Б. В. Введение в учение о геосистемах / Б. В. Сочава. – Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1978. – 319 с.
2. Ямашкин А. А. Применение алгоритма выделения краев к решению задачи моделирования границ ландшафтов / А. А. Ямашкин, С. А. Ямашкин // Вестн. Воронеж ун-та. Сер. География, геоэкология. – 2013б. – № 3. – С. 68–78.
3. Canny J. A Computational Approach to Edge Detection / J. Canny // IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence. – 1986. – Vol. Pami-8, №. 6. – PP. 679–698.
4. Ямашкин А. А. ГИС-моделирование ландшафтного разнообразия / А. А. Ямашкин, С. А. Ямашкин // Геодезия и картография. – 2013с. – № 11. – С. 40–46.
5. Кузнецов А.Е. Формирование цветных снимков по спутниковым изображениям среднего и высокого пространственного разрешения / А.Е. Кузнецов, П. Н. Светелкин // Цифровая обработка сигналов. – 2009. – № 3. – С. 36-40.
6. Perronnin F. Improving the fisher kernel for large-scale image classification / F. Perronnin, J. Sánchez, T. Mensink // In Proc. ECCV, – 2010. – P. 23–37.

#### References

1. Sochava B. V. Vvedenie v uchenie o geosistemah / B. V. Sochava. – Novosibirsk : Nauka. Sib. otd-nie, 1978. – 319 s.
2. Yamashkin A. A. Primenenie algoritma vydelenija kraev k resheniju zadachi modelirovanija granic landshaftov / A. A. Yamashkin, S. A. Yamashkin // Vestn. Voronezh un-ta. Ser. Geografija, geojekologija. – 2013b. – № 3. – S. 68–78.
3. Canny J. A Computational Approach to Edge Detection / J. Canny // IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence. – 1986. – Vol. Pami-8, №. 6. – PP. 679–698.
4. Yamashkin A. A. GIS-modelirovanie landshaftnogo raznoobrazija / A. A. Yamashkin, S. A. Yamashkin // Geodezija i kartografija. – 2013s. – № 11. – S. 40–46.

5. Kuznecov A.E. Formirovanie cvetnyh snimkov po sputnikovym izobrazhenijam srednego i vysokogo prostranstvennogo razreshenija / A.E. Kuznecov, P. N. Svetelkin // Cifrovaja obrabotka signalov. – 2009. – № 3. – S. 36-40.

6. Perronnin F. Improving the fisher kernel for large-scale image classification / F. Perronnin, J. Sánchez, T. Mensink // In Proc. ECCV, – 2010. – P. 23–37.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.51.168

Ястребинский Р.Н.

ORCID: 0000-0002-6413-0002, Кандидат физико-математических наук, профессор,

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Работа выполнена при поддержке базовой части государственного задания Минобрнауки РФ, проект 1300 и гранта РФФИ, проект № 14-41-08059

### НАНОТРУБЧАТЫЙ НАПОЛНИТЕЛЬ НЕЙТРОННОЙ ЗАЩИТЫ, ЗАПОЛНЕННЫЙ КРИСТАЛЛОГИДРАТАМИ ГАДОЛИНИЯ

*Аннотация*

В работе исследованы процессы синтеза длинноволокнистого нанотрубчатого хризотила в присутствии солей и кристаллогидратов гадолиния. Синтез проводили из растворов нитрата гадолиния, едкого натра и кремниевой кислоты в восстановительной атмосфере. Все образцы синтезированы из шихты, состоящей из смеси магния и кремниевой кислоты с соотношением компонентов 3 : 2. Исследованные образцы синтезировали при 573°K, давлении водяного пара  $9,81 \cdot 10^7$  Па и суточной изотермической выдержке в присутствии добавок.

**Ключевые слова:** хризотил, синтез, гадолиний, ионы, среда, кремниевая кислота, рентгенограмма, структура, свойства.

Yastrebinsky R.N.

ORCID: 0000-0002-6413-0002, PhD in Physics and mathematics, professor,

Belgorod State Technological University named after V.G.Shukhova

### THE NANOTUBULAR FILLER OF NEUTRON PROTECTION FILLED WITH GADOLINIUM CRYSTALLINE HYDRATES

*Abstract*

In work processes of synthesis of long fibers of a nanotubular hrizotil in the presence of salts and crystalline hydrates of gadolinium are investigated. Synthesis was carried out from solutions of nitrate of gadolinium, a caustic natr and silicon acid in the recovery atmosphere. All samples are synthesized from the furnace charge consisting of mix of magnesium and silicon acid with a ratio of components 3:2. The studied samples synthesized at 573 °K, pressure of water vapor of  $9,81 \cdot 10^7$  Pa and daily isothermal endurance in the presence of additives.

**Keywords:** I hrizotit, synthesis, gadolinium, ions, silicon acid, the roentgenogram, structure, properties

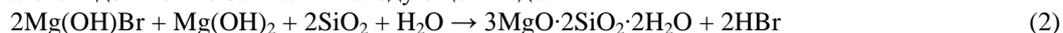
### Введение

В отечественной и мировой практике при создании радиационно-защитных материалов биологической защиты на основе цементных вяжущих используются заполнители с разнородной поверхностью и пластифицирующие добавки для улучшения удобоукладываемости и прочностных свойств композиционной смеси. Данный подход не обеспечивает требуемых эксплуатационных свойств бетона и приводит к возникновению значительных внутренних напряжений в материале защиты при радиационно-термических нагрузках. Поэтому необходимо использование заполнителей, содержащих дополнительные активные группы, способные к взаимодействию с цементным или гидросиликатным связующим радиационно-защитного композита.

Хризотил – естественный композиционный материал, волокна в котором на своей внешней поверхности имеют бруситовый слой. Известно [1-3], что галогениды магния при нагревании взаимодействуют, даже с собственной кристаллизационной водой по уравнению:



Галогениды магния, обладая более высокой, чем у брусита, растворимостью, должны поставлять к поверхности растущих кристаллов хризотила магний. Можно подобрать условия синтеза, при которых будет протекать гидролиз по второй ступени, согласно реакции  $\text{MgOHX} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Mg}(\text{OH})_2 + \text{HX}$  одну из возможных реакций образования хризотила в присутствии галогенидов можно записать в следующем виде:



Часть выделяющейся в процессе реакции галоидоводородной кислоты может взаимодействовать с избыточным гидроксидом магния в шихте, принимая вновь участие в процессе роста волокон, часть же кислоты вместе с парами воды удаляется из зоны взаимодействия компонентов и реагирует со стенками автоклава и металлом, находящимся за тиглем.

Среди волокнистых наполнителей наибольший интерес представляют нанотрубчатые наполнители на основе гидросиликатов магния. Известно большое количество работ по синтезу гидросиликатов со структурой хризотила [4-30]. Использование хризотилового наполнителя при разработке радиационно-защитных тяжелых бетонов обусловлено содержанием в его структуре кристаллизационной воды, что обуславливает высокие нейтронно-защитные свойства бетона при температурах 270-300 °С. При этом, особенно актуален синтез хризотила, содержащего атомы редкоземельных элементов, в частности атомы гадолиния, имеющего наивысшее сечение захвата тепловых нейтронов.

Для получения волокнистых кристаллов из растворов необходимо создать условия для их пресыщения, что достигается охлаждением, испарением или иным способом. Большой материал по этим вопросам представлен в обзорах [33-37]. Отмечается большое влияние некоторых примесей в растворе или исходном материале на зарождение и скорость роста волокнистых кристаллов. Более значительное ускорение взаимодействия, по сравнению с чистой водой, при тех же температурах и давлениях, достигается применением растворов галоидных солей.

Вся совокупность имеющегося материала показывает, что каталитическое действие галоидных солей при синтезе волокнистых силикатов обычно проявляется на стадии растворения исходных веществ и заключается в обеспечении их быстрого перехода в раствор. Поэтому, поскольку действие катализаторов проявляется только в случае изменения механизма данной лимитирующей стадии реакции синтеза силикатов, можно считать, что лимитирующей стадией в большинстве случаев сказывается растворение исходных веществ.

Несмотря на значительное количество работ по гидротермальному синтезу, химия гидротермальных процессов в присутствии минерализаторов изучена ещё недостаточно.

#### Методика эксперимента.

Синтез проводили из растворов нитрата гадолиния, едкого натра и кремниевой кислоты (соотношение между количеством гадолиния и кремния соответствует соотношению магнезия и кремния в хризотиле) в восстановительной атмосфере, создаваемой за счёт добавления гидразина (10% от расчётного количества воды) при температуре 573°K,  $9,81 \cdot 10^7$  Па и времени автоклавирования (изотермической выдержке) 10-20 час.

Для получения нанотрубчатых наполнителей с повышенной способностью замедления нейтронов при синтезе волокон хризотила использовали добавки с содержанием кристаллогидрата состава  $Gd(NO_3)_3 \cdot nH_2O$ , где  $n = 5$  и 6. Все образцы синтезированы из шихты, состоящей из смеси магнезия и кремниевой кислоты с соотношением компонентов 3:2. Исследованные образцы синтезировали при 573°K, давлении водяного пара  $9,81 \cdot 10^7$  Па и суточной изотермической выдержке в присутствии добавок.

#### Результаты и их обсуждение.

Ионный радиус  $Gd^{3+}$ , немногим больше радиуса катиона магнезия ( $r_{Gd^{3+}} = 9,4 \cdot 10^{-11}$  м), следовательно, должны существовать волокнистые гидросиликаты гадолиния - структурные аналоги хризотила. Структура этих гидросиликатов одинакова: один слой состоит из кремнекислородной сетки, а второй - из гидроксида бруситового типа. Период повторения кремнекислородной сетки немного меньше, чем период бруситового слоя, чем и обусловлено закручивание этих слоёв в виде трубок. При попытке получить гадолиниевый хризотил по методике [3] нами был получен рентгеноаморфный желтый порошок (рис 1). Синтез проводили из растворов нитрата гадолиния, едкого натра и кремниевой кислоты (соотношение между количеством гадолиния и кремния соответствует соотношению магнезия и кремния в хризотиле) в восстановительной атмосфере, создаваемой за счёт добавления гидразина (10% от расчётного количества воды) при температуре 573°K,  $9,81 \cdot 10^7$  Па и времени автоклавирования (изотермической выдержке) 10-20 час.

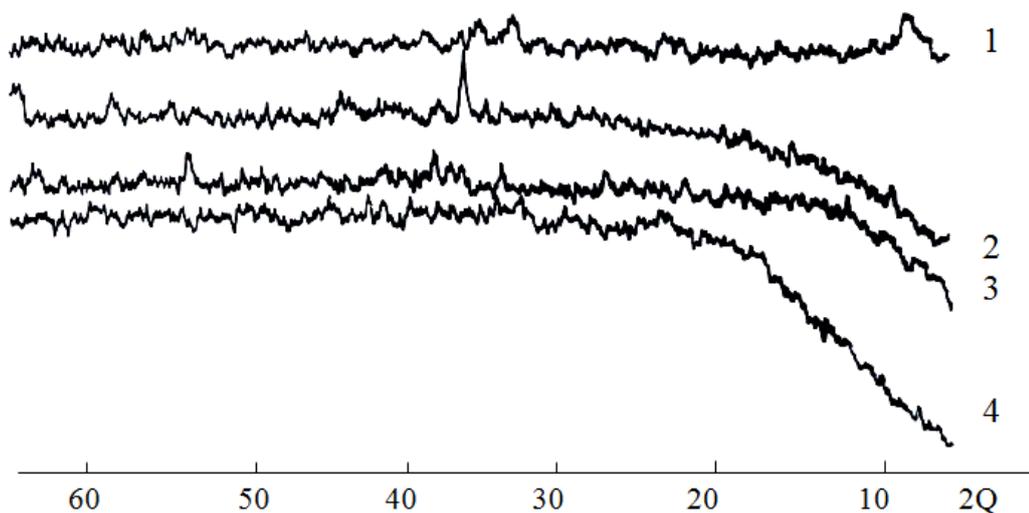


Рис. 1 – Рентгенограммы гадолиниевых серпентинов:

1 – гадолиниевый хризотил, синтезированный при 573°K,  $9,81 \cdot 10^7$  Па в течение 15 час;  
2-4 – гадолиниевый хризотил, синтезированный при 573°K,  $9,81 \cdot 10^7$  Па (2 и 3 – 20 час., 4 – 10 час)

Установлено, что с увеличением концентрации раствора NaOH до 10%, достаточном для создания  $pH > 13,6$ , когда кремнезём в гидротермальных растворах переносится в виде ионов  $SiO_3^{2-}$ , происходит увеличение длины синтезируемых фибрилл до  $2 \cdot 10^{-5}$  м. При более высоких концентрациях щёлочи дальнейшего увеличения длины синтезируемых фибрилл не происходит. Следует отметить, что наиболее длинноволокнистая фракция образуется в верхней части шихты. Выход этой фракции составляет около 30% от массы полученного материала.

Рентгенофазовый анализ хризотила, синтезированного в щелочной среде и отмытого от щёлочи, показывает, что полученный продукт представлен мономинеральной фазой. Результаты ИК-спектроскопии подтверждают данный вывод. Хризотил, синтезированный в щелочной среде, легко отмыть от щёлочи, т.к. натрий не входит в структуру. При синтезе в “нейтральной” среде кремнезём в виде поликремниевых кислот конденсируется на поверхности

кристаллов брусита. Из-за несоответствия между бруситовым и кремнекислородным слоями образовавшийся элементарный серпентиновый слой отрывается от поверхности брусита и закручивается в виде трубок.

При электронномикроскопическом исследовании установлено, что материал почти полностью представлен двумя видами частиц с различной морфологией: в основном пластинчатыми кристаллами неправильной формы и овальными пластинками, изредка наблюдались пластинчатые кристаллы гексагональной формы (рис. 2).

Микродифракционные картины от частиц неправильной формы характеризуются достаточным образом сформированной системой рефлексов. Овальные частицы и немногочисленные волокна в значительной степени электроноаморфны.

В структуру серпентина, по расчетным данным, может изоморфно входить, в среднем, до 0,6% гадолиния. Исходя из указанного содержания этого элемента, рассчитали, что если брать гадолиний в виде нитрата, то навеска этой соли должна равняться  $2,2 \cdot 10^{-4}$  кг. Гадолиний и магний имеют близкие ионные радиусы, благодаря чему между ними возможен изоморфизм.

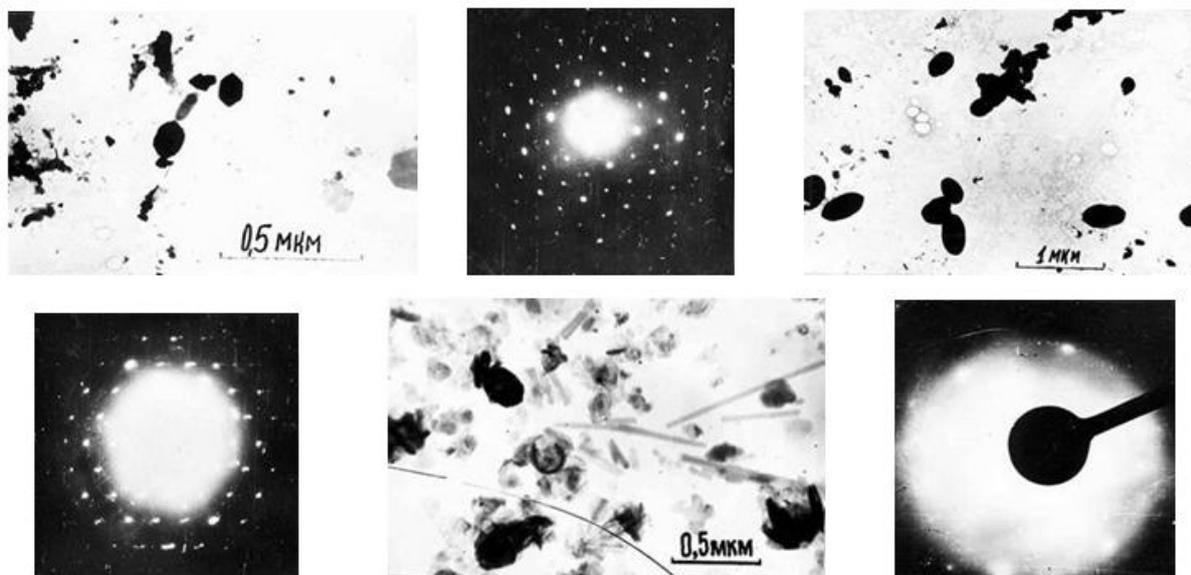


Рис. 2 – Электронномикроскопическое изображение и микродифракционные картины от продуктов синтеза гадолиниевого хризотила, синтезированного при 573°К,  $9,81 \cdot 10^7$  Па и времени изотермической выдержки 15 час

Кривые ДТА и потери массы (ТГ) синтетических хризотилов, синтезированных с указанными добавками представлены на рис. 3.

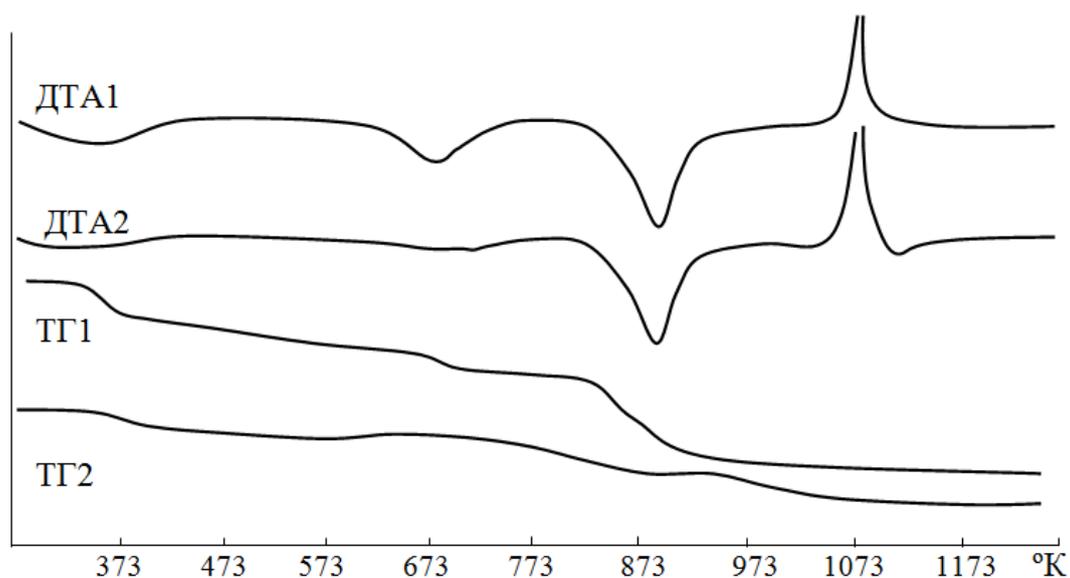


Рис. 3 – Кривые ДТА ( $T = 653^\circ\text{K}$ ) и ТГ синтетических хризотилов, синтезированных с добавкой по отношению к массе шахты: 1 - 5%  $\text{Gd}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ; 2 -  $\text{Gd}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

**Вывод.** Таким образом, проведенные исследования указывают на высокую термостойкость синтезированного гадолиниевого хризотила, что определяет возможность его использования в качестве nanoармирующего наполнителя термостойких радиационно-защитных бетонов.

#### Литература

1. Ивановский, А.Л. Неуглеродные нанотрубки: синтез и моделирование / А.Л. Ивановский // Успехи химии.- 2002.- 71(3).- С. 203-224.
2. Нанотрубки и родственные наноструктуры оксидов d-металлов: синтез и моделирование / Захарова Г.С., Волков В.Л., Ивановская В.В., Ивановский А.Л. // Успехи химии.- 2005.- 74(7).- С. 651-685.
3. Еняшин, А.Н., Нанотубулярные композиты: моделирование капиллярного заполнения нанотрубок дисульфида молибдена молекулами TiCl<sub>4</sub> / Еняшин А.Н., Ивановский А.Л. // Наносистемы: физика, химия, математика, 2010.- 1(1).- С. 63-71.
4. Использование полиэдральных олигомерных силсесквиоксидов для синтеза радиационно-стойких полимерных композитов терморегулирующего назначения / Н.И. Черкашина, В.И. Павленко, О.В. Демченко, Д.А. Иваницкий // Успехисовременногоестествознания. 2015. № 9-3. С. 524-527.
5. Study of thermal effects on the structure of thin-film borosilicate coatings by ellipsometry, and x-ray diffraction / V.I. Pavlenko, V.M.Nartsev, O.V. Kuprieva, Z.V.Pavlenko, N.I. Cherkashina // Journal of Surface Investigation: X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques. 2015. Т. 9. № 5. С. 1022-1025.
6. Влияние вакуумного ультрафиолета на микро- и наноструктуру поверхности модифицированных полистирольных композитов / В.И. Павленко, Г.Г. Бондаренко, Н.И. Черкашина, О.Д. Едаменко // Перспективные материалы. 2013. № 3. С. 14-19.
7. Влияние вакуумного ультрафиолета на поверхностные свойства высоконаполненных композитов / В.И. Павленко, В.Т. Заболотный, Н.И. Черкашина, О.Д. Едаменко // Физика и химия обработки материалов. 2013. № 2. С. 19-24.
8. Влияние содержания кремнийорганического наполнителя на физико-механические и поверхностные свойства полимерных композитов / В.И., Павленко, Н.И. Черкашина, В.В. Сухорослова, Ю.М. Бондаренко // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6. С. 95.
9. Повышение эффективности антикоррозионной обработки ядерного энергетического оборудования путем пассивации в алюминийсодержащих растворах / В.И. Павленко, В.В. Прозоров, Л.Л. Лебедев, Ю.И. Слепоконь, Н.И. Черкашина // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2013. Т. 56. № 4. С. 67-70.
10. Изучение коэффициентов ослабления фотонного и нейтронного пучков при прохождении через гидрид титана / В.И. Павленко, О.Д. Едаменко, Н.И. Черкашина, О.В. Куприева, А.В. Носков // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2015. № 6. С. 21.
11. Павленко В.И. Расчет ионизационных и радиационных энергетических потерь быстрых электронов в полистирольном композите / В.И. Павленко, Г.Г. Бондаренко, Н.И. Черкашина // Перспективные материалы. 2015. № 8. С. 5-11.
12. Синтез высокодисперсного гидрофобного наполнителя для полимерных матриц / Н.И. Черкашина, А.А. Карнаухов, А.В. Бурков, В.В. Сухорослова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 6. С. 156-159.
13. Суммарные потери энергии релятивистского электрона при прохождении через полимерный композиционный материал / Павленко В.И., Едаменко О.Д., Черкашина Н.И., Носков А.В. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2014. № 4. С. 101 – 106.
14. Черкашина Н.И. Воздействие вакуумного ультрафиолета и кислородной плазмы на структуру и устойчивость полистирольного композита с органосилоксановым наполнителем: диссертация ... кандидата технических наук: 01.04.07 / Белгородский государственный национальный исследовательский университет. Белгород, 2013
15. Черкашина Н.И. Воздействие вакуумного ультрафиолета на полимерные нанокомпозиты // Инновационные материалы и технологии (XX научные чтения): Материалы Межд. научно-практич. конференции. 2010. С. 246-249.
16. Черкашина Н.И. Моделирование воздействия космического излучения на полимерные композиты с применением программного комплекса GEANT4 // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 3. С. 122.
17. Черкашина Н.И. Перспективы создания радиационно-защитных полимерных композитов для космической техники в Белгородской области / Н.И. Черкашина Н.И., В.И. Павленко / Белгородская область: прошлое, настоящее, будущее. Материалы областной научно-практической конференции в 3-х частях. 2011. С. 192-196.
18. Черкашина Н.И. Разработка наноструктурированных вяжущих на основе местного сырья Белгородской области для штукатурных растворов // В сборнике: Материалы I Международной научно-практической конференции "Проблемы строительного производства и управления недвижимостью" Кемерово, 2010. С. 67-70.
19. Экспериментальное и физико-математическое моделирование воздействия набегающего потока атомарного кислорода на высоконаполненные полимерные композиты / В.И. Павленко, Л.С. Новиков, Г.Г. Бондаренко, В.Н. Черник, А.И. Гайдар, Н.И. Черкашина, О.Д. Едаменко // Перспективные материалы. 2012. № 4. С. 92-98.
20. Effect of vacuum ultraviolet on the surface properties of high-filled polymer composites / V.I. Pavlenko, N.I. Cherkashina, O.D. Edamenko, V.T. Zabolotny // Inorganic Materials: Applied Research. 2014. Т. 5. № 3. С. 219-223.
21. Study of the attenuation coefficients of photon and neutron beams passing through titanium hydride / V.I. Pavlenko, O.D. Edamenko, N.I. Cherkashina, O.V. Kuprieva, A.V. Noskov // Journal of Surface Investigation: X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques. 2015. Т. 9. № 3. С. 546-549.
22. Using the high-dispersity [alpha]-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> as a filler for polymer matrices, resistant against the atomic oxygen / V.I. Pavlenko, N.I. Cherkashina, A.V. Yastrebinskaya, P.V. Matyukhin., O.V. Kuprieva // WorldAppliedSciencesJournal. 2013. Т. 25. № 12. С. 1740-1746.

23. Исследование влияния вакуумного ультрафиолета на морфологию поверхности нанонаполненных полимерных композиционных материалов в условиях, приближенных к условиям околоземного космического пространства / Черкашина Н.И., Павленко В.И., Едаменко А.С., Матюхин П.В. // Современные проблемы науки и образования. 2012. №6. С.130.

24. Total energy losses of relativistic electrons passing through a polymer composite / V.I. Pavlenko, O.D. Edamenko, N.I. Cherkashina, A.V. Noskov // Journal of Surface Investigation: X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques. 2014. Т. 8. № 2. С. 398-403.

25. Поглощающие нейтроны нанотрубчатые наполнители высокотемпературных полимеров / Матюхин П.В., Ястребинская А.В., Черкашина Н.И., Коба В.В. // Успехи современного естествознания. 2015. № 10. С. 36-39.

26. Нанотрубчатые наполнители с повышенной способностью поглощения гамма-излучения / Черкашина Н.И., Матюхин П.В., Соколенко И.В. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 12-7. С. 1187-1190.

27. Радиационно-защитные нанонаполненные полимеры / Ястребинская А.В., Черкашина Н.И., Матюхин П.В. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 12-7. С. 1191-1194.

28. Черкашина Н.И. Воздействие вакуумного ультрафиолета и кислородной плазмы на структуру и устойчивость полистирольного композита с органосилоксановым наполнителем:

автореферат дис. ... кандидата технических наук: 01.04.07 / Белгородский государственный национальный исследовательский университет. Белгород, 2013

29. Черкашина Н.И. Устойчивость терморегулирующих покрытий на основе полимерных композитов к микрометеоритному воздействию // Международный научно-исследовательский журнал, 2016. – № 6-2 (48). – С. 165–170.

30. Черкашина Н.И. Воздействие вакуумного ультрафиолета на полимерные композиты терморегулирующего назначения // Международный научно-исследовательский журнал, 2016. – № 7-4 (49). – С. 72–77.

#### References

1. Ivanovskij, A.L. Neuglerodnye nanotrubki: sintez i modelirovanie/ A.L. Ivanovskij // Uspehi himii.- 2002.- 71(3).- S. 203-224. [In Russian]

2. Nanotrubki i rodstvennye nanostrukturny oksidov d-metallov: sintez i modelirovanie/ Zaharova G.S., Volkov V.L., Ivanovskaja V.V., Ivanovskij A.L. // Uspehi himii.- 2005.- 74(7).- S. 651-685. [In Russian]

3. Enjashin, A.N., Nanotubuljarnye kompozity: modelirovanie kapilljarnogo zapolnenija nanotrubok disul'fida molibdena molekulami TiCl<sub>4</sub> / Enjashin A.N., Ivanovskij A.L. // Nanosistemy: fizika, himija, matematika, 2010.- 1(1).- S. 63-71. [In Russian]

4. Ispol'zovanie polijedral'nyh oligomernyh silseskvioksanov dlja sinteza radiacionno-stojkih polimernyh kompozitov termoregulirujushhego naznachenija / N.I. Cherkashina, V.I. Pavlenko, O.V. Demchenko, D.A. Ivanickij // Uspehisovremennogoestestvoznaniija. 2015. № 9-3. S. 524-527. [In Russian]

5. Study of thermal effects on the structure of thin-film borosilicate coatings by ellipsometry, and x-ray diffraction / V.I. Pavlenko, V.M.Nartsev, O.V. Kuprieva, Z.V.Pavlenko,N.I. Cherkashina// Journal of Surface Investigation: X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques. 2015. Т. 9. № 5.S. 1022-1025.

6. Vlijanie vakuumnogo ul'trafioljeta na mikro- i nanostrukturnu poverhnosti modifitsirovannyh polistirol'nyh kompozitov / V.I. Pavlenko, G.G. Bondarenko, N.I. Cherkashina, O.D. Edamenko // Perspektivnye materialy. 2013. № 3. S. 14-19. [In Russian]

7. Vlijanie vakuumnogo ul'trafioljeta na poverhnostnye svojstva vysokonapolnennyh kompozitov / V.I. Pavlenko, V.T. Zabolotnyj, N.I. Cherkashina, O.D. Edamenko // Fizika i himija obrabotki materialov. 2013. № 2. S. 19-24. [In Russian]

8. Vlijanie sodержanija kremnijorganicheskogo napolnitelja na fiziko-mehaničeskie i poverhnostnye svojstva polimernyh kompozitov / V.I., Pavlenko, N.I. Cherkashina, V.V. Suhoroslova, Ju.M. Bondarenko // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2012. № 6. S. 95. [In Russian]

9. Povyshenie jeffektivnosti antikorrozionnoj obrabotki jadernogo jenergetičeskogo oborudovanija putem passivacii v aljuminijisoderzhashhih rastvorah / V.I. Pavlenko, V.V. Prozorov, L.L. Lebedev, Ju.I. Slepokon', N.I. Cherkashina // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Serija: Himija i himičeskaja tehnologija. 2013. Т. 56. № 4. S. 67-70. [In Russian]

10. Izuchenie koeficientov oslablenija fotonnogo i nejtronnogo puchkov pri prohozhdenii cherez gidrid titana / V.I. Pavlenko, O.D. Edamenko, N.I. Cherkashina, O.V. Kuprieva, A.V. Noskov // Poverhnost'. Rentgenovskie, sinhrotronnye i nejtronnye issledovanija. 2015. № 6. S. 21. [In Russian]

11. Pavlenko V.I. Raschet ionizacionnyh i radiacionnyh jenergetičeskikh poter' bystryh jelektronov v polistirol'nom kompozite /V.I. Pavlenko, G.G. Bondarenko, N.I. Cherkashina // Perspektivnye materialy. 2015. № 8. S. 5-11. [In Russian]

12. Sintez vysokodispersnogo gidrofobnogo napolnitelja dlja polimernyh matric / N.I. Cherkashina, A.A. Karnauhov, A.V. Burkov, V.V. Suhoroslova // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tehnologičeskogo universiteta im. V.G. Shuhova. 2013. № 6. S. 156-159. [In Russian]

13. Summarnye poteri jenergii reljativistskogo jelektrona pri prohozhdenii cherez polimernyj kompozicionnyj material / Pavlenko V.I., Edamenko O.D., Cherkashina N.I., Noskov A.V. // Poverhnost'. Rentgenovskie, sinhrotronnye i nejtronnye issledovanija. 2014. № 4. S. 101 – 106. [In Russian]

14. Cherkashina N.I. Vozdejstvie vakuumnogo ul'trafioljeta i kislorodnoj plazmy na strukturu i ustojchivost' polistirol'nogo kompozita s organosiloksanovym napolnitelem: dissertacija ... kandidata tehničeskikh nauk : 01.04.07 / Belgorodskij gosudarstvennyj nacional'nyj issledovatel'skij universitet. Belgorod, 2013. [In Russian]

15. Cherkashina N.I. Vozdejstvie vakuumnogo ul'trafioljeta na polimernye nanokompozity // Innovacionnye materialy i tehnologii (HH nauchnye chtenija): Materialy Mezhd. nauchno-praktič. konferencii. 2010. S. 246-249. [In Russian]

16. Cherkashina N.I. Modelirovanie vozdejstvija kosmičeskogo izlučeniija na polimernye kompozity s primeneniem programmno kompleksa GEANT4 //Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2012. № 3. S. 122. [In Russian]

17. Cherkashina N.I. Perspektivy sozdaniya radiacionno-zashhitnyh polimernyh kompozitov dlja kosmicheskoy tehniky v Belgorodskoj oblasti / N.I. Cherkashina N.I., V.I. Pavlenko / Belgorodskaja oblast': proshloe, nastojashhee, budushhee. Materialy oblastnoj nauchno-prakticheskoy konferencii v 3-h chastjah. 2011. S. 192-196. [In Russian]
18. Cherkashina N.I. Razrabotka nanostrukturirovannyh vjazhushhih na osnove mestnogo syr'ja Belgorodskoj oblasti dlja shtukaturnyh rastvorov// V sbornike: Materialy I Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii "Problemy stroitel'nogo proizvodstva i upravlenija nedvizhimost'ju" Kemerovo, 2010. S. 67-70. [In Russian]
19. Jeksperimental'noe i fiziko-matematicheskoe modelirovanie vozdejstvija nabegajushhego potoka atomarnogo kisloroda na vysokonapolnennye polimernye kompozity / V.I. Pavlenko, L.S. Novikov, G.G. Bondarenko, V.N. Chernik, A.I. Gajdar, N.I. Cherkashina, O.D. Edamenko // Perspektivnye materialy. 2012. № 4. S. 92-98. [In Russian]
20. Effect of vacuum ultraviolet on the surface properties of high-filled polymer composites / V.I. Pavlenko, N.I. Cherkashina, O.D. Edamenko, V.T. Zabolotny // Inorganic Materials: Applied Research. 2014. T. 5. № 3.S. 219-223.
21. Study of the attenuation coefficients of photon and neutron beams passing through titanium hydride / V.I. Pavlenko, O.D. Edamenko, N.I. Cherkashina, O.V. Kuprieva, A.V. Noskov // Journal of Surface Investigation: X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques. 2015. T. 9. № 3.S. 546-549.
22. Using the high-dispersity [alpha]-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> as a filler for polymer matrices, resistant against the atomic oxygen / V.I. Pavlenko, N.I. Cherkashina, A.V. Yastrebinskaya, P.V. Matyukhin.,O.V. Kuprieva // WorldAppliedSciencesJournal. 2013. T. 25. № 12.S. 1740-1746.
23. Issledovanie vlijaniya vakuumnogo ul'trafioleta na morfologiju poverhnosti nanonapolnennyh polimernyh kompozicionnyh materialov v uslovijah, priblizhjonnyh k uslovijam okolozemnogo kosmicheskogo prostranstva / Cherkashina N.I., Pavlenko V.I., Edamenko A.S., Matjuhin P.V. // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2012. №6. S.130. [In Russian]
24. Total energy losses of relativistic electrons passing through a polymer composite / V.I. Pavlenko, O.D. Edamenko, N.I. Cherkashina, A.V. Noskov // Journal of Surface Investigation: X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques. 2014. T. 8. № 2. S. 398-403.
25. Pogloshhajushhie nejtrony nanotrubchatye napolniteli vysokotemperaturnyh polimerov / Matjuhin P.V., Jastrebinskaja A.V., Cherkashina N.I., Koba V.V. // Uspehi sovremennoe estestvoznaniya. 2015. № 10. S. 36-39. [In Russian]
26. Nanotrubchatye napolniteli s povyshennoj sposobnost'ju pogloshhenija gamma-izluchenija / Cherkashina N.I., Matjuhin P.V., Sokolenko I.V. // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij. 2015. № 12-7. S. 1187-1190. [In Russian]
27. Radiacionno-zashhitnye nanonapolnennye polimery / Jastrebinskaja A.V., Cherkashina N.I., Matjuhin P.V. // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij. 2015. № 12-7. S. 1191-1194. [In Russian]
28. Cherkashina N.I. Vozdejstvie vakuumnogo ul'trafioleta i kislorodnoj plazmy na strukturu i ustojchivost' polistirol'nogo kompozita s organosiloksanovym napolnitelem: avtoreferat dis. ... kandidata tehniceskikh nauk: 01.04.07 / Belgorodskij gosudarstvennyj nacional'nyj issledovatel'skij universitet. Belgorod, 2013. [In Russian]
29. Cherkashina N.I. Ustojchivost' termoregulirujushhih pokrytij na osnove polimernyh kompozitov k mikrometeoritnomu vozdejstvu // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal, 2016. – № 6-2 (48). – S. 165–170. [In Russian]
30. Cherkashina N.I. Vozdejstvie vakuumnogo ul'trafioleta na polimernye kompozity termoregulirujushhego naznachenija // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal, 2016. – № 7-4 (49). – S. 72–77. [In Russian]

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHYSICS AND MATHEMATICS**

DOI: 10.18454/IRJ.2016.51.072

Бойко Ю.С.

<sup>1</sup>ORCID: 0000-0001-6804-3486, Аспирант,Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»**ПРОВЕДЕНИЕ РАСЧЕТОВ ШУМА ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ПОЕЗДОВ****Аннотация**

Приведены основные формулы для расчета шума от высокоскоростных поездов, включающие в себя формулы для расчета шума пантографа, корпуса, носовой и ходовой части поезда. Описана методика расчета единой шумовой характеристики высокоскоростного поезда на высоте 3,5 м над уровнем головки рельса. Показаны изменения, которые были внесены в методику, опубликованную в более ранних работах автора. Основные результаты научной работы были применены при разработке специальных технических условий и своде правил, посвященных расчету шума от высокоскоростных поездов.

**Ключевые слова:** шум, загрязнение, окружающая среда, высокоскоростной поезд.

Boiko I.S.

ORCID: 0000-0001-6804-3486, Postgraduate student,

Baltic State Technical University "VOENMEH" named after D.F. Ustinov

**REALIZATION THE HIGH-SPEED RAILWAYS NOISE CALCULATION****Abstract**

The article contains the basic formulas for calculating of noise from high-speed trains, including the formula for calculating noise of pantograph, body, nose and noise from wheel and rail. The article shows the method for calculating the noise characteristics of high-speed train at a height of 3.5 m above the railhead. Author indicates the changes that were made to the methodology published in the earlier works. The main results of scientific work have been applied in the development of special technical conditions and a set of rules dealing with the calculation of noise from high-speed trains.

**Keywords:** noise, pollution, environmental, high-speed train.

В современном мире активно развивается транспортная инфраструктура, обеспечивая быстрое и безопасное передвижение пассажиров как внутри страны, так и на международном уровне. Конкурируя с самолетами, высокоскоростные поезда, достигающие скорости в 400 км/ч, приобретают все большую популярность, в том числе по причине отсутствия длительной процедуры подготовки к рейсу, а также строгих ограничений к весу багажа.

Однако, такое развитие технологий не должно ухудшать условия жизни человека с точки зрения соблюдения требований безопасности и санитарно-гигиенических нормативов. Железные дороги, в том числе и высокоскоростные, являются протяженным источником шумового и вибрационного излучения и оказывают негативное воздействие на обширные площади. Для обеспечения акустической безопасности жителей селитебных территорий, прилегающих к железным дорогам, необходимо проектировать шумозащитные мероприятия: эксплуатировать малозумные поезда, конструировать и устанавливать шумозащитные экраны, соблюдать скоростной режим, устраивать полосы зеленых насаждений и другое.

Для правильной разработки данных мероприятий необходимо иметь максимально-достоверные исходные сведения об уровнях шумового воздействия при тех или иных условиях. Для этого специалистами БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова и Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I была разработана методика расчета шумовых характеристик высокоскоростных поездов, по которой были разработаны технические документы в виде свода правил и специальных технических условий.

В работе [1] была опубликована первоначальная методика расчета, в которую в дальнейшем был внесен ряд изменений и уточнений.

Так, разделение на три диапазона скоростей было исключено, оставив лишь два диапазона, перечень применяемых поправок расширен, при расчете эквивалентных уровней звука отдельно произведен учет времени движения поезда мимо точки наблюдения и другое.

А результатом проведенной научной работы эквивалентный уровень звука на расстоянии 25 м от оси железнодорожного пути и на высоте 3,5 м над уровнем головки рельса (далее – УГР) предлагается вычислять по формуле:

$$L_{AeqTp25, j}^{train} = 54,6 \lg v_j - 10 \lg \left\{ \arctg \left( \frac{l_j}{25} \right) \right\} - 10 \lg \left( \frac{T_{pl_j}}{T_{p200}} \right) - 42,8 \quad (1)$$

где  $v_j$  – скорость движения  $j$ -ого высокоскоростного поезда, км/ч,  $v_j \in [250; 400]$ ;

$l_j$  – длина  $j$ -ого высокоскоростного поезда, м;

$T_{pl_j}$  – время прохождения, с,  $j$ -ого высокоскоростного поезда длиной  $l_j$  со скоростью  $v_j$  мимо точки наблюдения, определяется по формуле (2);

$T_{p200}$  – время прохождения, с, эталонного высокоскоростного поезда длиной 200 м со скоростью  $v_j$  мимо точки наблюдения, определяется по формуле (3).

$$T_{plj} = \frac{l_j}{v_j} \cdot 3,6 \quad (2)$$

где  $v_j, l_j$  – то же, что в формуле (1);

3,6 – коэффициент пересчета единиц измерения скорости  $v_j$ , (километров в час в метры в секунду).

$$T_{p200} = \frac{720}{v_j} \quad (3)$$

где  $v_j$  – то же, что в формуле (1);

720 – коэффициент, полученный путем умножения длины эталонного поезда, равной 200 м, на 3,6 (коэффициент пересчета единиц измерения скорости).

Ниже приведены формулы, которые позволяют из общей шумовой характеристики поезда на высоте 3,5 м выделить шум отдельных источников шума на собственной высоте для двух различных диапазонов скоростей.

**Шум пантографа на высоте 5,0 м**

250-320 км/ч (включая 320 км/ч)

$$L_{AeqTp25, j}^{pan} = 10^{\lg L_{AeqTp25, j}^{train} - 0.018} \quad (4.1)$$

320-400 км/ч

$$L_{AeqTp25, j}^{pan} = 10^{\lg L_{AeqTp25, j}^{train} - 0.014} \quad (4.2)$$

**Шум корпуса и носовой части поезда на высоте 2,0 м**

250-320 км/ч (включая 320 км/ч)

$$L_{AeqTp25, j}^{body} = 10^{\lg L_{AeqTp25, j}^{train} - 0.022} \quad (5.1)$$

320-400 км/ч

$$L_{AeqTp25, j}^{body} = 10^{\lg L_{AeqTp25, j}^{train} - 0.018} \quad (5.2)$$

**Шум качения на высоте 0,5 м**

250-320 км/ч (включая 320 км/ч)

$$L_{AeqTp25, j}^{w/s} = 10^{\lg L_{AeqTp25, j}^{train} - 0.017} \quad (6.1)$$

320-400 км/ч

$$L_{AeqTp25, j}^{w/s} = 10^{\lg L_{AeqTp25, j}^{train} - 0.029} \quad (6.2)$$

где  $L_{AeqTp25, j}^{train}$  – эквивалентный уровень звука  $j$ -ого высокоскоростного поезда на расстоянии 25 м оси ближнего магистрального железнодорожного пути и на высоте 3,5 м над УГР, определяемый по формуле (1), дБА.

Разработанная методика позволяет учитывать конструкционные особенности поезда за счет введения дополнительных расчетных поправок. Так, например, эквивалентные уровни звука отдельных источников шума, предлагается рассчитывать с учетом коррекций по следующим формулам:

**Шум пантографа на высоте 5,0 м**

$$L_{AeqTp25, j}^{pan\ train} = L_{AeqTp25, j}^{pan} - K^{pan} \quad (7)$$

**Шум корпуса и носовой части поезда на высоте 2,0 м**

$$L_{AeqTp25, j}^{body\ train} = L_{AeqTp25, j}^{body} - K^{nose} - K^{space} - K^{equip} \quad (8)$$

**Шум качения на высоте 0,5 м**

$$L_{AeqTp25, j}^{w/s\ train} = L_{AeqTp25, j}^{w/s} + K^{w/s} - K^{space} - K^{layer} \quad (9)$$

где  $L_{AeqTp25, j}^{pan}, L_{AeqTp25, j}^{body}, L_{AeqTp25, j}^{w/s}$  – эквивалентные уровни звука, дБА, каждого отдельного источника шума  $j$ -ого высокоскоростного поезда, определяемые по формулам (4.1)-(6.2);

$K^{pan}$  – коррекция, учитывающая тип пантографа, принимаемая согласно [таблица 3, 1], дБА; дополнительно введена коррекция на комплекс из малошумного пантографа и локальных экранов на крыше поезда, равная 10 дБА;

$K^{nose}$  – коррекция, учитывающая форму носовой части поезда, принимаемая согласно [таблица 4, 1], дБА;

$K^{space}$  – коррекция, учитывающая тип межвагонного и подвагонного пространств, принимаемая согласно [таблица 5, 1], дБА;

$K^{w/s}$  – коррекция, учитывающая конструкцию верхнего строения пути, принимаемая согласно [таблица 6, 1], дБА; дополнительно введена коррекция на наличие искусственного сооружения (стальная конструкция, путь без балластного слоя – 10 дБА; стальная конструкция, путь с балластным слоем или железобетонная конструкция, путь без балластного слоя – 5 дБА; железобетонная конструкция, путь с балластным слоем – 3 дБА). При укладке подбалластного мата к коррекциям, представленным для искусственным сооружениям, вычитается поправка, равная 2 дБА;

$K^{equip}$  – коррекция, учитывающая конструкцию и расположение вспомогательного оборудования (вент. установок и др.), дБА; в случае, если оборудование в шумозащитном исполнении в кожухе или расположено в закрытом отсеке, поправка принимает значение, равное 5 дБА, в противном случае поправка равна нулю (в работе [1] не была учтена);

$K^{layer}$  – коррекция, учитывающая наличие шумопоглощающей облицовки на фальшбортах и на дне поезда, дБА; в случае, если облицовка выполнена, поправка принимает значение, равное 3 дБА, в противном случае поправка равна нулю (в работе [1] не была учтена).

Максимальный уровень звука на расстоянии 25 м от оси железнодорожного пути и на высоте 3,5 м над УГР предлагается вычислять по формуле:

$$L_{A \max Tp25, j}^{train} = 62 \lg v_j - 10 \lg \left\{ \arctg \left( \frac{l_j}{25} \right) \right\} - 60,6 \quad (10)$$

где  $v_j$  – скорость движения  $j$ -ого высокоскоростного поезда, км/ч,  $v_j \in [250; 400]$ ,

$l_j$  – длина  $j$ -ого высокоскоростного поезда, м.

Максимальный уровень звука отдельных источников звука вычисляется аналогичным эквивалентному уровню звука образом, путем замены  $L_{AeqTp25, j}^{train}$  на  $L_{A \max Tp25, j}^{train}$ .

Максимальные уровни звука, учитывающие конструкционные особенности поезда, вычисляются аналогичным эквивалентному уровню звука образом, путем замены  $L_{AeqTp25, j}^{pan}$ ,  $L_{AeqTp25, j}^{body}$ ,  $L_{AeqTp25, j}^{w/s}$  на  $L_{A \max Tp25, j}^{pan}$ ,  $L_{A \max Tp25, j}^{body}$ ,  $L_{A \max Tp25, j}^{w/s}$ .

Разработанная методика позволяет рассчитать шумовые характеристики отдельных источников шума высокоскоростного поезда, что крайне важно при проектировании шумозащитных экранов, т.к. позволяет учесть их расположение относительно уровня головки рельса, а, следовательно, определить эффективность работы шумозащитного экрана для каждого из них.

Это имеет особенно важное значение для пантографа, как наиболее высокого источника шума высокоскоростного поезда.

Автор благодарит своего научного руководителя, профессора Иванова Н.И. и руководителя разработки научно-технической документации, кандидата технических наук Шашурина А.Е. за предоставление возможности участия в таких интересных проектах, как разработка свода правил и специальных технических условий, посвященных вопросам шумообразования и защиты от шума высокоскоростных поездов, неоценимые наставничество, обучение и опыт.

### Литература

1. Иванов Н.И., Бойко Ю.С., Шашурин А.Е. Расчет шума высокоскоростных поездов // Бюллетень строительной техники. – 2016. №6. С. 27–29.
2. СП XXX.1325800.2016. Защита от шума для высокоскоростных железнодорожных линий. Правила проектирования и строительства (проект). – Санкт-Петербург, 2016 – 130 с.
3. Специальные технические условия. Шумозащитные мероприятия для участка Москва – Казань высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва – Казань – Екатеринбург. Технические нормы и требования к проектированию и строительству – Санкт-Петербург: ФГБОУ ПГУПС, 2016 – 127 с.

### References

1. Ivanov N.I., Boiko I.S., Shashurin A.E. Raschet shuma vysokoskorostnyh poezdov [High-speed railways noise calculation]// Bjulleten' stroitel'noj tehniki. – 2016. №6. S. 27–29. [in Russian].
2. SP XXX.1325800.2016. Zashhita ot shuma dlja vysokoskorostnyh zheleznodorozhnyh linij. Pravila proektirovanija i stroitel'stva (proekt). [High-speed railways noise protection. Design and construction regulations (project)] – Sankt-Peterburg, 2016 – 130 s. [in Russian].
3. Special'nye tehicheskie uslovija. Shumozashhitnye meroprijatija dlja uchastka Moskva – Kazan' vysokoskorostnoj zheleznodorozhnoj magistrali Moskva – Kazan' – Ekaterinburg. Tehicheskie normy i trebovanija k proektirovaniju i stroitel'stvu [Noise protection for sector Moscow – Kazan of hifg-speed railway Moscow – Kazan – Ekaterinburg. Design and construction regulations] – Sankt-Peterburg: FGBOU PGUPS, 2016 – 127 s. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.51.076

Гневко А.И.<sup>1</sup>, Соловов С.Н.<sup>2</sup>, Янушкевич В.А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Доктор технических наук, профессор, <sup>2</sup>кандидат технических наук, доцент,

<sup>3</sup>доктор физико-математических наук, профессор,

ВА РВСН им. Петра Великого.

**ГРАВИТАЦИОННОЕ ПРИТЯЖЕНИЕ К ЦЕНТРУ ПОЛОСТИ ШАРОВОГО СЛОЯ ВЕЩЕСТВА**

*Аннотация*

На основе модели сжатого вакуума, подобного твёрдому телу, предложено объяснение высоких скоростей звёзд в центральных областях галактик. Отличие от известных представлений заключается в преобладании гравитации, возникающей за счёт усиления продольных волн в вакууме при прохождении через микрочастицы вещества большого шарового слоя. Образуются лучи, подобные лазерным. Количество лучей, проходящих через точку, определяет центростремительные силы в шаровой полости.

**Ключевые слова:** гравитация, шаровый слой вещества, галактика, сжатый вакуум, твердотельная модель.

Gnevko A.I.<sup>1</sup>, Solovov S.N.<sup>2</sup>, Yanushkevich V.A.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>PhD in Engineering, professor, <sup>2</sup>PhD in Engineering, associate professor, <sup>3</sup>PhD in Physics and Mathematics, professor,

Peter the Great Strategic Missile Troops Academy.

**GRAVITATIONAL ATTRACTION TO THE CENTER OF CAVITY OF SPHERICAL LAYER OF SUBSTANCE**

*Abstract*

Explanation of high velocities of stars in central regions of galaxies is suggested on the basis of model of squeezed vacuum, similar to solid body. The difference from known perceptions lies in predominance of gravitation occurring due to strengthening of longitudinal waves in vacuum when passing through micro-particles of a substance of a big spherical layer. Beams, similar to laser, are generated. The number of beams passing through the point determines circular force in the spherical cavity.

**Keywords:** gravitation, spherical layer of substance, galaxy, squeezed vacuum, solid body model.

Известно, что в соответствии с законами Ньютона внутри полого шарового слоя, состоящего из рассеянного вещества, сумма гравитационных сил равна нулю. Вместе с тем, результаты наблюдений за ядрами галактик и образованием звёзд, имеющих планетные системы, дают основания предполагать существование центростремительных сил внутри таких полостей. Одной из важных особенностей наблюдений за ядрами галактик является высокая скорость движения звёзд около некоторого центра, что позволяет предполагать существование в этих центрах чёрных дыр. Причем скорость звёзд тем выше, чем крупнее галактика. Природа высоких скоростей звёзд в центрах галактик может быть объяснена с помощью модели МСВ (модель сжатого вакуума) [1].

Отличительной особенностью модели МСВ является предположение о том, что продольные упругие волны, распространяющиеся в физическом вакууме, усиливаются при прохождении микрочастиц вещества. Физический вакуум сжат, что обеспечивает необходимую энергию для усиления. Усиление приводит к тому, что при расположении микрочастиц в ряд вдоль распространения продольной волны реализуется некоторое подобие лазера. Луч продольных волн расходится с увеличением расстояния меньше, чем в случае хаотичного расположения микрочастиц (рис. 1).

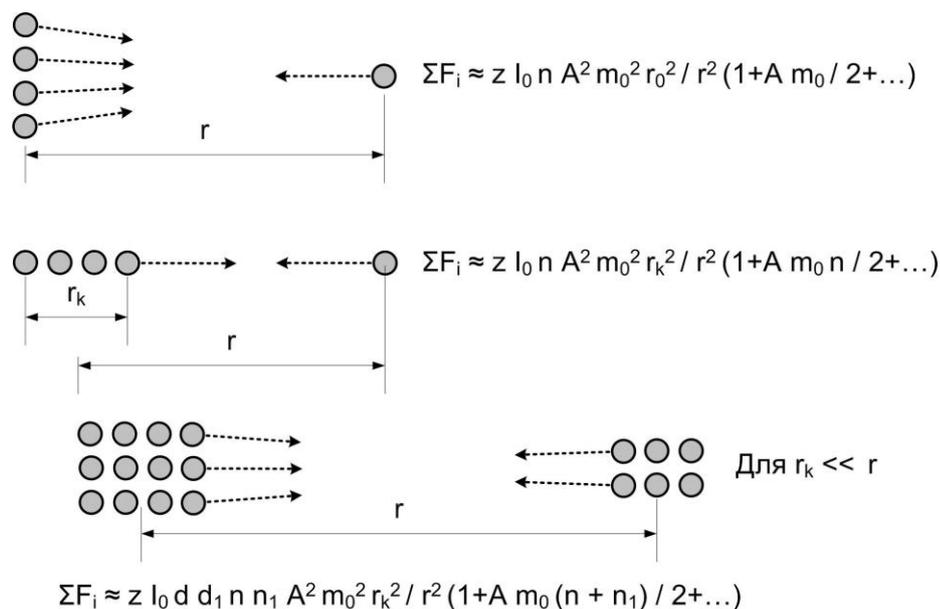


Рис. 1 – Гравитационное взаимодействие нуклонов при основных видах их расположения

$I_0$  – интенсивность продольных волн, Н;  $z$  – параметр, учитывающий пространственное распределение излучения;  $d, d_1$  – количество рядов во взаимодействующих телах;  $n, n_1$  – количество нуклонов в рядах;  $A$  – коэффициент усиления продольных волн,  $кг^{-1}$ ;  $m_0$  – масса нуклона, кг;  $r$  – расстояние между взаимодействующими телами;  $r_0$  – радиус нуклона, м;  $r_k$  – длина рядов, м;  $\Sigma F_i$  – сила гравитационного взаимодействия тел, Н.

Кроме того, усиление волн при прохождении вдоль ряда микрочастиц больше, чем усиление при хаотичном расположении частиц. Поэтому с увеличением длины рядов гравитация начинает определяться числом нуклонов в ряду, длиной и количеством рядов, проходящих через данную точку пространства. По современным представлениям основная масса видимого вещества в нашей Вселенной сосредоточена в настоящее время в виде нейтронов и протонов (нуклонов). Попытки связать тёмную материю с микрочастицами пока безуспешны. Размеры нуклонов определяют число и распределение возможных рядов, а, следовательно, и распределение гравитационных сил в пространстве (рис. 2). Согласно МСВ, с ростом плотности рядов, гравитационные силы, определяемые рядами, начинают существенно превосходить силы гравитации по Ньютону. В соответствии с моделью Ньютона силы гравитации определяются простым суммированием гравитационного действия каждой из микрочастиц вещества. Силы аддитивны и не учитывают дополнительного усиления продольных волн при прохождении через вещество. Следует отметить, что ОТО (общая теория относительности Эйнштейна), как и МСВ считает гравитационные силы, отличающимися от сил Ньютона [3].

Если размеры (толщина) шарового слоя существенно превосходят размеры шаровой полости, то расстояния внутри полости, согласно МСВ, практически не влияют на величину гравитационных сил, определяемых длиной и концентрацией массы в рядах. В то же время при перемещении от центра полости к её границе возникает центростремительная сила гравитации в связи с увеличением области  $S_B > S_A$  шарового слоя, притягивающей к центру (рис. 2). При этом сила в центре полости равна нулю, как и сила Ньютона, а внутри полости гравитационная сила растёт по мере удаления от центра. Но, согласно Ньютону, увеличение области шарового слоя, притягивающей к центру, компенсируется увеличением расстояния от точки полости до притягивающей к центру массы.

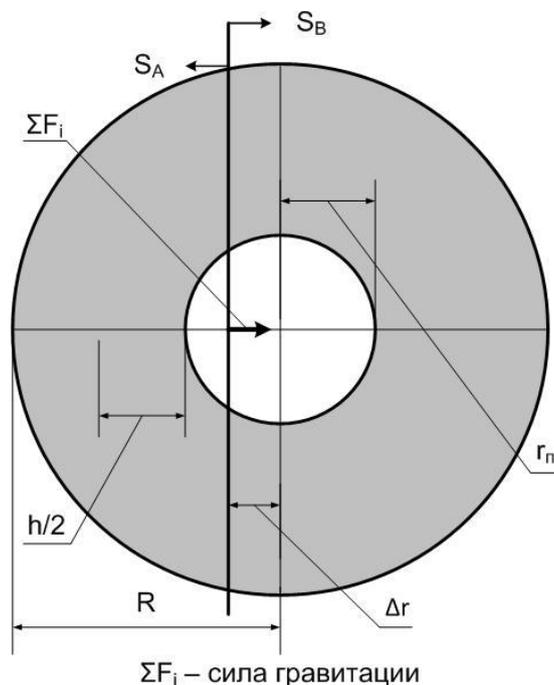


Рис. 2 – Схема шарового слоя с внутренней полостью.

В отличие от модели Ньютона по МСВ компенсация с расстоянием может быть существенно меньше с увеличением толщины шарового слоя. С ростом толщины шарового слоя проявляется аддитивность гравитации по Ньютону. Вместе с тем, с ростом толщины шарового слоя по МСВ должно наблюдаться действие дополнительных гравитационных сил, вызванное усилением продольных волн при прохождении вещества. Естественно, что по мере увеличения толщины шарового слоя, согласно МСВ, растёт и величина центростремительной силы внутри полости, в отличие от отсутствия гравитационных сил внутри полости по Ньютону.

Для гравитации по Ньютону внутри тонкого шарового слоя при удалении от центра на расстоянии  $\Delta r$  силы, направленные от центра и к центру, за счёт изменения площади поверхности относятся как  $(r_n - \Delta r)^2 / (r_n + \Delta r)^2$ , где  $r_n$  – радиус полости. В тоже время силы, направленные от центра и к центру, за счёт приближения к массам на границе слоя и удаления на противоположной стороне относятся как  $(r_n + \Delta r)^2 / (r_n - \Delta r)^2$ . Таким образом, влияние на гравитационные силы изменения площади поверхности компенсируется влиянием изменения расстояния. Поэтому в любой точке полости гравитационные силы, направленные к центру и от центра, равны и их сумма равна нулю для тонкого шарового слоя. Но шаровый слой любой толщины можно представить как сумму тонких шаровых слоёв. По Ньютону гравитационное действие тонких шаровых слоёв определяется простым суммированием. Поэтому в полости шарового слоя любой толщины сумма гравитационных сил равна нулю.

Для гравитации по МСВ преобладающую роль играют ряды, а не отдельные нуклоны. Поэтому для шарового слоя большой величины равенство нулю суммы гравитационных сил в полости нарушается. Преобладают центростремительные силы. Соотношение между силами за счёт изменения площади поверхности сохраняется. Но соотношение между силами за счёт изменения расстояния иное  $(r_p/2 + \Delta r)^2 / (r_p/2 - \Delta r)^2$ , где  $r_p$  – длина ряда, которая равна толщине шарового слоя  $h$  (приблизительно равна радиусу шара  $R$ ).  $r_p/2$  соответствует средней длине всех

возможных рядов, которые могут быть образованы в пределах всего ряда (по аналогии с лазером). Поскольку для шарового слоя большой толщины  $r_p/2 \gg r_n > \Delta r$ , отношение  $(r_p/2 + \Delta r)^2 / (r_p/2 - \Delta r)^2$  приближённо равно единице (отличие может быть сколь угодно малым с ростом размеров шара) и внутри полости действуют центростремительные гравитационные силы. Так как  $(r_n - \Delta r)^2 / (r_n + \Delta r)^2$  меньше единицы, центростремительные силы больше, чем центробежные, если  $\Delta r$  больше нуля.

Рассмотрение интенсивности продольных волн даёт основания считать, что в центре полости фон максимален. При рассмотрении учитывались все возможные расположения лучей. В соответствии с максимумом фона продольных волн двигающиеся вещественные объекты приобретают с течением времени максимальные приращения скорости (ускорения) [1]. Ускорения тем больше, чем ближе к центру полости расположено двигающееся тело и больше масса шарового слоя.

Представляет интерес, что постоянная гравитационного взаимодействия в связи с ростом фона продольных волн внутри полости также должна возрастать. Поэтому возрастает и скорость движения звёзд в районе центральных частей галактик.

При движении вещества часть микрочастиц в ходе столкновений приобретает нулевую скорость, превращая энергию движения в энергию электромагнитного излучения и нагрев. Поэтому в центре полости скапливаются некоторые количества относительно неподвижного вещества. Высокая интенсивность продольных волн в центре полости приводит к относительному росту гравитационных сил, что приводит к формированию сверхмасс (чёрных дыр) в центрах галактик [1].

Отмеченный процесс характерен для формирования звезд и планетных систем из туманностей не только в центрах галактик, но и в других полостях, располагающихся в галактиках, например солнечной системы. Соплассуется с отмеченными представлениями явление ускоренного звездообразования при столкновениях галактик [2].

#### Литература

1. Гневко А. И. О моделировании гравитации и некоторых явлений с нераскрытой природой. Возможности объединенного представления классической механики, релятивизма, квантования на основе аналогий в поведении физического вакуума и вязкоупругого твердого тела. – М.: Компания Спутник +, 2007. 77 с.
2. Ерошенко Ю. Н. Столкновение галактик. “Новости физики в сети Internet (по материалам электронных препринтов)”, *УФН*, том 172, номер 6 (2002), 700, URL: <http://ufn.ru/ru/articles/2002/6/e/> (дата обращения 20.07.2016).
3. Зельманов А. Л., Агаков В. Г. Элементы общей теории относительности. – М.: Наука, Глав. Ред. физ-мат. лит., 1989. – 240 с.

#### References

1. Gnevko A. I. O modelirovanii gravitacii i nekotoryh javlenij s neraskrytoj prirodoj. *Vozmozhnosti ob#edinennogo predstavlenija klassicheskoj mehaniki, reljativizma, kvantovaniya na osnove analogij v povedenii fizicheskogo vakuuma i vjzkouprugogo tverdogo tela* [Modeling of gravity and some phenomena with untapped nature. The possibility of the unified presentation of classical mechanics, relativity, quantization on the basis of analogies in the behavior of the physical vacuum and viscoelastic solids]. – М.: Kompanija Sputnik +, 2007. 77 s. [in Russian]
2. Eroshenko Ju. N. Stolknovenie galaktik. “Novosti fiziki v seti Internet (po materialam jelektronnyh preprintov)” [The collision of galaxies. “Physics news on the Internet (based on electronic preprints)”], *UFN*, tom 172, nomer 6 (2002), 700, URL: <http://ufn.ru/ru/articles/2002/6/e/> (data obrashhenija 20.07.2016). [in Russian]
3. Zel'manov A. L., Agakov V. G. Jelementy obshhej teorii otноситel'nosti [Elements of the General theory of relativity]. – М.: Nauka, Glav. Red. fiz-mat. lit., 1989. – 240 s. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.51.161

Икрамов Р.Д.<sup>1</sup>, Мустафина С.А.<sup>2</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0003-0325-7859, Аспирант, <sup>2</sup>Доктор физико-математических наук,

Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета

**ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ РАСШИРЕННОЙ МОДЕЛИ РЕАКЦИИ БЕЛОУСОВА-ЖАБОТИНСКОГО****Аннотация**

*В статье рассмотрена одна из моделей колебательной реакции Белоусова-Жаботинского – 6-ти стадийная модель Орегонатора. При проведении численного исследования использован L-устойчивый метод на основе ABC-схемы с действительными коэффициентами, подходящий для решения систем дифференциальных уравнений с высоким коэффициентом жесткости. Для модели Орегонатора проведен анализ колебаний, найдены периоды колебаний. Реакция Белоусова-Жаботинского является ярким примером колебательных химических реакций.*

**Ключевые слова:** реакция Белоусова-Жаботинского, Орегонатор, колебания, осцилляции.

Ikramov R.D.<sup>1</sup>, Mustafina S.A.<sup>2</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0003-0325-7859, Postgraduate student, <sup>2</sup>PhD in Physics and Mathematics,

Sterlitamak Branch of Bashkir State University

**NUMERICAL INVESTIGATION OF DYNAMICS OF THE EXTENDED MODEL OF THE BELOUSOV-ZHABOTINSKI REACTION****Abstract**

*6-stage Oregonator model, one of the models of the oscillating Belousov-Zhabotinski reaction, was considered in the article. L-stable method based on ABC-scheme with real coefficients is used for solving differential equations system. Method is appropriate for systems with high stiffness coefficient. Article considered analysis of oscillations, values of the periods of oscillations. Belousov-Zhabotinski's reaction is the one of the greatest chemical oscillating reaction.*

**Keywords:** Belousov-Zhabotinski's reaction, Oregonator, oscillations.

Большинство химических превращений протекает через огромное количество элементарных стадий с большим числом различных интермедиантов, которые могут включать атомы и радикалы. При этом их концентрации не всегда описываются возрастающими или убывающими кривыми. При этом стоит учитывать трудность экспериментальной регистрации малых концентраций промежуточных веществ, а большое количество перекрестных взаимодействий между веществами лишь усложняет исследование реакции.

Колебательными называются реакции, в которых происходит периодическое изменение концентраций веществ, участвующих в самой реакции.

Колебательные процессы играют важную роль не только в химии, но также и биологии, биохимии и в других отраслях наук. Моделирование колебательных процессов позволяет понять, как протекают те или иные явления, происходящие в организме человека (колебания сердечной мышцы, биоритмы), в каталитических реакциях и т.д. Таким образом, исследование колебательных процессов и реакций является на сегодняшний день актуальной задачей.

Основная трудность при решении задач, описывающих колебательные процессы, заключается в необходимости обеспечения правильных значений амплитуд и фаз на протяжении многих периодов. Основная причина этому заключается в большом значении коэффициента жесткости и высокой размерности системы дифференциальных уравнений (СДУ) математических моделей. Поскольку характер поведения и тип СДУ может меняться в ходе интегрирования, то подбор численного метода интегрирования является важным этапом в процессе исследования колебательных процессов.

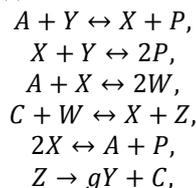
В начале XXI-го века в связи с бурным развитием компьютерных и информационных технологий вновь возник интерес к нестационарным и нелинейным явлениям в химической кинетике, называемых критическими [1]. Они характеризуются, в основном, множественностью стационарных состояний и автоколебаниями. Автоколебательными системами, в свою очередь, называются такие системы, проявляющиеся, во-первых, в незатухающих колебаниях вне зависимости от начальных условий, во-вторых, в их устойчивости по отношению к отклонениям от стационарного режима. Таким образом, в автоколебательной системе устанавливаются и поддерживаются незатухающие колебания за счет сил, зависящих от состояния системы [2].

Наиболее известной автоколебательной гомогенной реакцией считается реакция Белоусова-Жаботинского, в гетерогенных реакциях автоколебания были найдены Г.К. Боресковым и М.Г. Слинько.

В 1951 году Б.П. Белоусов открыл и экспериментально исследовал химическую реакцию окисления лимонной кислоты броматом, катализируемой ионами металлов в кислой среде. Возникающий в реакции колебательный режим с периодической сменой окраски стал классическим примером колебательных реакций [4]. Таким образом, Б.П. Белоусов внес основной вклад в открытие колебательных химических реакций. Позднее в 1955 г. И.Р. Пригожин доказал возможность существования в открытой системе химических колебаний около стационарного состояния, достаточно удаленного от термодинамического равновесия.

Механизм реакции Белоусова-Жаботинского насчитывает более 80 стадий, очевидно, что исследование закономерностей, а также решение прямой, обратной, оптимизационной задач не является возможным. Ученые из штата Орегон Р. Филд, Е. Керреш, Р. Нойес предложили механизм реакции Белоусова-Жаботинского, состоящий из 11 реакций между 15 различными соединениями, причем концентрации соединений достаточно сильно изменяются в ходе колебательного цикла [5]. Поэтому кинетика реакции может быть описана системой нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка, полученных применением закона действующих масс к каждой стадии, чаще всего решаемых численно. Для исследования колебаний, бистабильности и бегущих волн аналитически необходимо сведение полной модели к более простой. Р. Филд и Р. Нойес первыми показали, что механизм Филда-

Кереша-Нойеса может быть упрощен до поддающейся анализу математической модели. Поэтому авторами работы [6] была предложена абстрактная и простая модель реакции Белоусова-Жаботинского под названием «Орегонатор», которую впоследствии расширили [7] до шести стадий:



где  $A = BrO_3^-$  (бромат-ион),  $C = M(n)$  – ион металла катализатора,  $P = HOBr$  (бромноватистая кислота),  $W = BrO_2$  (диоксид брома),  $X = HBrO_2$  (бромистая кислота),  $Y = Br^-$  (бромид-ион),  $Z = M(n+1)$  – окисленная форма иона металла катализатора,  $g$  – стехиометрический множитель.

Математическая модель Орегонатора, дающего сложный предельный цикл, имеет вид [8]:

$$\begin{aligned} c_1' &= -v_1 - v_3 + v_4 \\ c_2' &= -v_1 - v_2 + 0.462v_6 \\ c_3' &= -v_4 + v_6 \\ c_4' &= v_1 - v_2 - v_3 + v_4 - 2v_5 \\ c_5' &= v_1 + 2v_2 + v_5 \\ c_6' &= 2v_3 - v_4 \\ c_7' &= v_4 - v_6 \end{aligned} \quad (1)$$

где  $v_1, \dots, v_6$  задаются следующими соотношениями:

$$\begin{aligned} v_1 &= k_1 c_1 c_2 - k_{-1} c_4 c_5, \\ v_2 &= k_2 c_2 c_4 - k_{-2} c_5 c_5, \\ v_3 &= k_3 c_1 c_4 - k_{-3} c_6 c_6, \\ v_4 &= k_4 c_3 c_6 - k_{-4} c_4 c_7, \\ v_5 &= k_5 c_4 c_4 - k_{-5} c_4 c_5, \\ v_6 &= k_6 c_7. \end{aligned}$$

Концентрации реагентов обозначены следующим образом:  $c_1 = [BrO_3^-]$ ,  $c_2 = [Br^-]$ ,  $c_3 = [M(n)]$ ,  $c_4 = [HBrO_2]$ ,  $c_5 = [HOBr]$ ,  $c_6 = [BrO_2]$ ,  $c_7 = [M(n+1)]$ .

Константы скорости принимают следующие значения ( $M^{-1}c^{-1}$ ):

$$\begin{aligned} k_1 &= 0.084, k_{-1} = 10^4, \\ k_2 &= 4 \cdot 10^8, k_{-2} = 5 \cdot 10^{-5}, \\ k_3 &= 2 \cdot 10^3, k_{-3} = 2 \cdot 10^7, \\ k_4 &= 1.3 \cdot 10^5, k_{-4} = 2.4 \cdot 10^7, \\ k_5 &= 4 \cdot 10^4, k_{-5} = 4 \cdot 10^{-11}, \\ k_6 &= 0.65c^{-1}. \end{aligned}$$

Основная трудность в моделировании колебательных химических реакций заключается в разработке численных алгоритмов, достаточно точных и устойчивых для получения адекватных и качественно точных результатов [9]. Так как константы скорости различаются между собой на многие порядки, то коэффициент жесткости системы (1) принимает большое значение [10]. В силу этого, использование явных численных схем не представляется возможным. Для численного исследования модели (1) использовалась явно- неявная АВС-схема с действительными коэффициентами [11]:

$$\left[ E - h \cdot f_y + \frac{h^2}{2} \cdot f_y^2 \right] [c(t+h) - c(t)] = \left[ E - \frac{h}{2} \cdot f_y \right] h \cdot f, \quad (2)$$

где  $c(t)$  – численное решение системы (1) на шаге интегрирования в момент времени  $t$  с шагом  $h$ ,  $f_y$  – матрица Якоби системы дифференциальных уравнений (1),  $E$  – единичная матрица. Данная схема является L-устойчивой и обладает вторым порядком точности.

Результаты интегрирования системы (1) при начальных условиях (М):  $c_1 = 0.1387$ ,  $c_2 = 1.534 \cdot 10^{-7}$ ,  $c_3 = 1.176 \cdot 10^{-4}$ ,  $c_4 = 3.165 \cdot 10^{-8}$ ,  $c_5 = 1.956 \cdot 10^{-4}$ ,  $c_6 = 5.814 \cdot 10^{-7}$ ,  $c_7 = 6.31 \cdot 10^{-6}$  представлены на рис.1 (а-ж). Шаг интегрирования  $h = 10^{-3}$ .

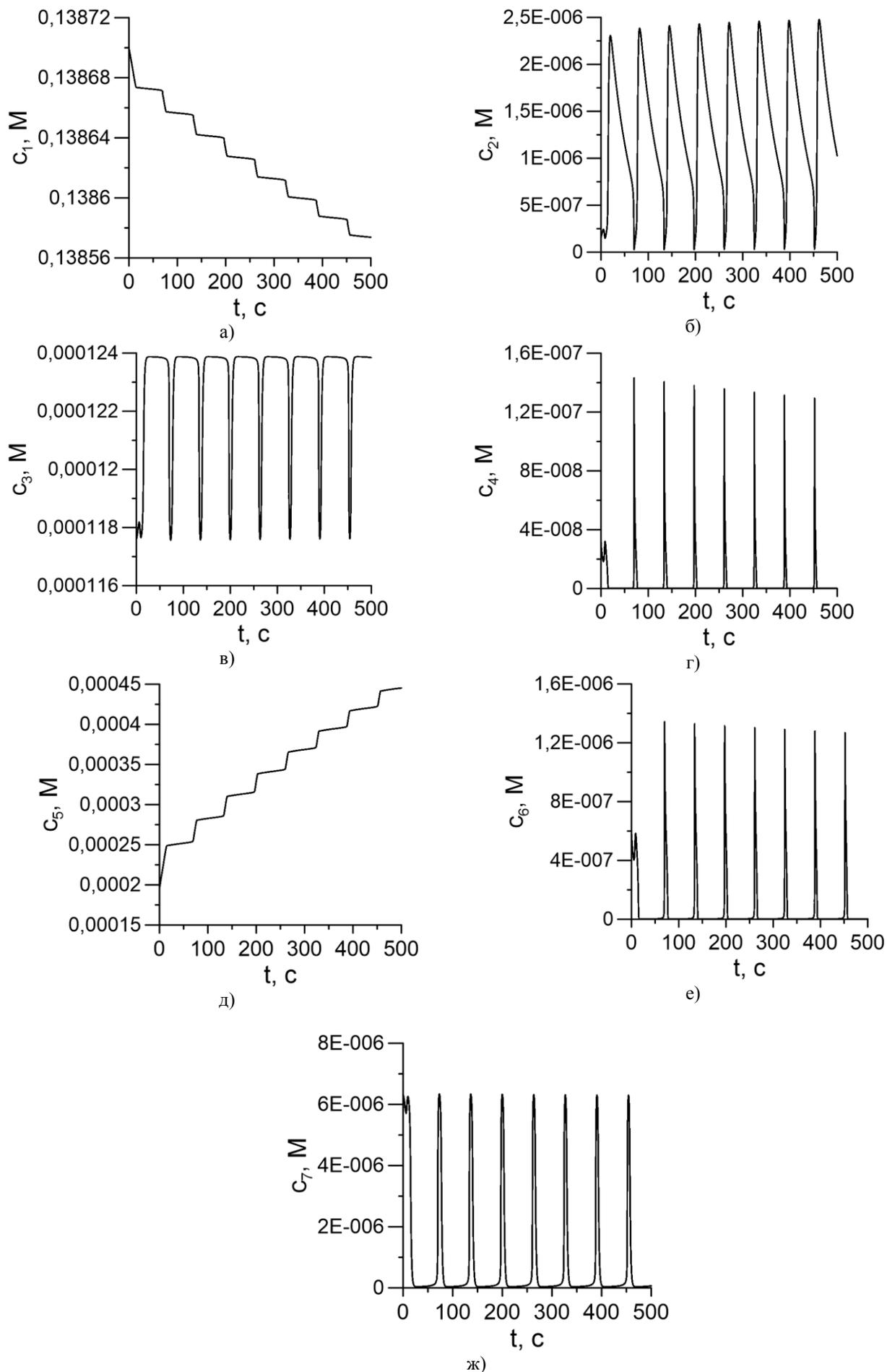


Рис. 1 – Колебания значений концентрации реагентов в зависимости от времени в модели (1): а)  $[BrO_3^-]$ , б)  $[Br^-]$ , в)  $[M(n)]$ , г)  $[HBrO_2]$ , д)  $[HOBr]$ , е)  $[BrO_2]$ , ж)  $[M(n + 1)]$ .

По рис. 1 видно, что модель Орегонатора (1) характеризуется длительными постепенно затухающими колебаниями. Реагент  $[BrO_3^-]$  характеризуется постепенным периодическим уменьшением своей концентрации, поскольку является исходным реагентом. Реагент  $[HOBr]$  характеризуется постепенным увеличением своей концентрации, накапливаясь как продукт реакции. Остальные компоненты системы характеризуются релаксационными режимами колебаний с быстрыми скачками. Период скачков составляет  $T \approx 63.5$  сек и постепенно увеличивается [12]. Суммарная концентрация катализатора и его иона остается постоянной, что подтверждает адекватность данной модели.

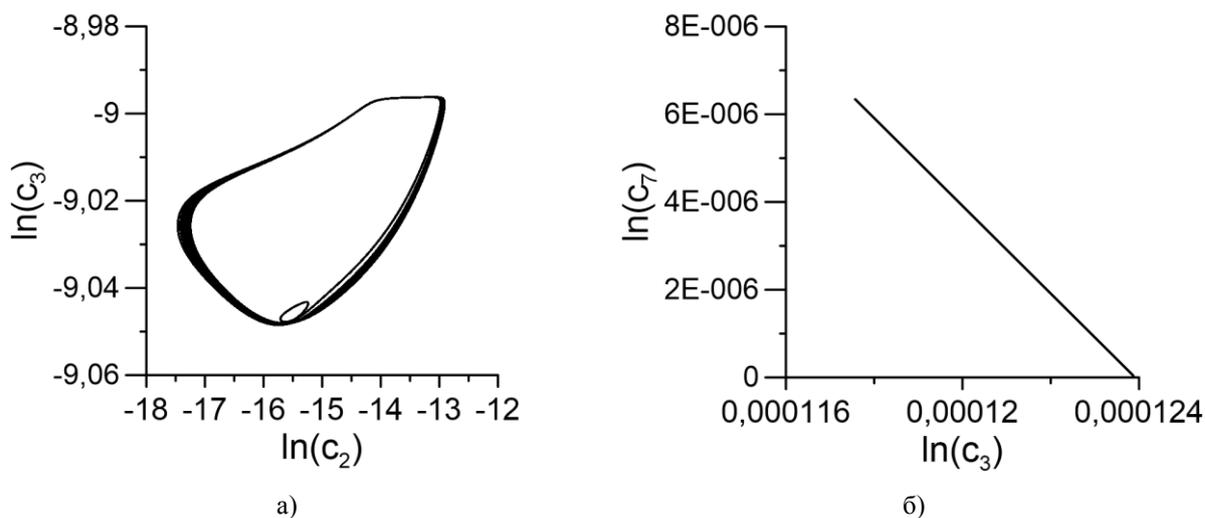


Рис. 2 – Фазовые портреты модели (1): а) зависимость концентрации  $[M(n)]$  от  $[Br^-]$ , б)  $[M(n+1)]$  от  $[M(n)]$ .

На рис. 2 представлены фазовые портреты в логарифмической плоскости, представляющие собой зависимости значений концентраций одного реагента от другого. На рис. 2а представлена зависимости концентрации металла катализатора от концентрации бромид-иона. Фазовый портрет представляет собой предельный цикл, замкнутые круговые области, что говорит, что в данной системе наблюдаются автоколебания. На рис. 2б представлен предельный цикл, вырожденный в прямую линию, что говорит о логарифмической зависимости между концентрациями катализатора и его иона.

#### Литература

1. Быков В. И. Моделирование критических явлений в химической кинетике. М.: Наука, 1988. 345 с.
2. Рубин А. Б., Пытьева Н. Ф., Ризниченко Г.Ю. Кинетика биологических процессов. Учебное пособие. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1977. 330 с.
3. Lotka A. J. Elements of Physical Biology. Baltimore: Williams & Wilkins Company, 1925. 460 p.
4. Жаботинский А.М. Концентрационные колебания. М.: Наука, 1974. 179 с.
5. Жаботинский А.М., Отмер Х., Филд Р. Колебания и бегущие волны в химических системах. М.: Мир, 1988. 720 с.
6. Field R.J., Koros E., Noyes R.M. Oscillations in chemical systems. IV. Limit cycle Behavior in a model of real chemical reaction // J. Chem. Phys. – 1974. – Vol. 60. – P. 1877-1884.
7. Showalter K., Noyes R.M., Ber-eli K. A modified Oregonator exhibiting complicated limit cycle behavior in a flow system // J. Chem. Phys. – 1978. – Vol. 69. – P. 2514-2524.
8. Икрамов Р.Д., Мустафина С.А. Численное исследование моделей реакции Белоусова-Жаботинского на основе двухстадийного метода Розенброка с комплексными коэффициентами // Системы управления и информационные технологии. – 2014. - №2. – С. 11-14.
9. Икрамов Р.Д., Мустафина С.А. Численное исследование колебательных реакций с помощью метода Розенброка с действительными коэффициентами // Журнал Средневолжского математического общества. – 2014. – Т.16. - №1. – С.71-75.
10. Икрамов Р.Д., Мустафина С.А. Численное исследование моделей Орегонатора с использованием двухстадийного метода Розенброка с комплексными коэффициентами // Информационные технологии моделирования и управления. – 2014. - №6. – С. 211-217.
11. Булатов М.В., Тыглиян А.В., Филиппов С.С. Об одном классе одношаговых одностадийных методов для жестких систем обыкновенных дифференциальных уравнений // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2011. – Т.51. - №7. – С.1251-1265.
12. Икрамов Р. Д. Моделирование и численное исследование динамики колебательных химических реакций полуневяными методами: Автореф. дис. канд. физ.-мат. наук. – Уфа, 2016. – 24 с.

#### References

1. Bykov V. I. Modelirovanie kriticheskikh javlenij v himicheskoy kinetike. M.: Nauka, 1988. 345 s.
2. Rubin A. B., Pyt'eva N. F., Riznichenko G.Ju. Kinetika biologicheskikh processov. Uchebnoe posobie. M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 1977. 330 s.
3. Lotka A. J. Elements of Physical Biology. Baltimore: Williams & Wilkins Company, 1925. 460 p.
4. Zhabotinskij A.M. Koncentracionnye kolebanija. M.: Nauka, 1974. 179 s.
5. Zhabotinskij A.M., Otmer H., Fild R. Kolebanija i begushhie volny v himicheskikh sistemah. M.: Mir, 1988. 720 s.

6. Field R.J., Koros E., Noyes R.M. Oscillations in chemical systems. IV. Limit cycle Behavior in a model of real chemical reaction // J. Chem. Phys. – 1974. – Vol. 60. – P. 1877-1884.

7. Showalter K., Noyes R.M., Ber-eli K. A modified Oregonator exhibiting complicated limit cycle behavior in a flow system // J. Chem. Phys. – 1978. – Vol. 69. – P. 2514-2524.

8. Ikramov R.D., Mustafina S.A. Chislennoe issledovanie modelej reakcii Belousova-Zhabotinskogo na osnove dvuhstadijnogo metoda Rozenbroka s kompleksnymi koeficientami // Sistemy upravlenija i informacionnye tehnologii. – 2014. - №2. – S. 11-14.

9. Ikramov R.D., Mustafina S.A. Chislennoe issledovanie kolebatel'nyh reakcij s pomoshh'ju metoda Rozenbroka s dejstvitel'nymi koeficientami // Zhurnal Srednevolzhskogo matematicheskogo obshhestva. – 2014. – T.16. - №1. – S.71-75.

10. Ikramov R.D., Mustafina S.A. Chislennoe issledovanie modelej Oregonatora s ispol'zovaniem dvuhstadijnogo metoda Rozenbroka s kompleksnymi koeficientami // Informacionnye tehnologii modelirovaniya i upravlenija. – 2014. - №6. – S. 211-217.

11. Bulatov M.V., Tyglijan A.V., Filippov S.S. Ob odnom klasse odnoshagovyh odnostadijnyh metodov dlja zhestkih sistem obyknovennyh differencial'nyh uravnenij // Zhurnal vychislitel'noj matematiki i matematicheskoy fiziki. – 2011. – T.51. - №7. – S.1251-1265.

12. Ikramov R. D. Modelirovanie i chislennoe issledovanie dinamiki kolebatel'nyh himicheskikh reakcij polunejavnymi metodami: Avtoref. dis. kand. fiz.-mat. nauk. – Ufa, 2016. – 24 s.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.51.139

Магомедов А.М.

Доктор физико-математических наук, профессор,  
Дагестанский государственный университет

Работа выполнена при поддержке проекта № 2588 в рамках базовой части государственного задания  
Минобрнауки РФ и Отдела математики и информатики ДНЦ РАН

### О РАСКРАШИВАЕМОСТИ ДВУДОЛЬНЫХ ГРАФОВ СПЕЦИАЛЬНОГО ВИДА

*Аннотация*

A. S. Asratyan и C. J. Casselgren доказали, что задача об интервальной реберной раскраске бирегулярного двудольного графа со степенями 6 и 3 соответственно («(6,3)-граф») NP-полна. В статье показано, что минимальная мощность  $n$  вершин, при которой (6,3)-граф не допускает раскраски требуемого вида, равна 18: любой (6,3)-граф с  $n < 18$  допускает интервальную реберную раскраску; для каждого  $n$ , не меньшего, чем 18 (и кратного 3), существует (6,3)-граф с  $n$  вершинами, для которого такая раскраска невозможна. Результаты находят применение в вопросах построения оптимальных расписаний учебных занятий.

**Ключевые слова:** граф, двудольный, раскраска.

Magomedov A.M.

PhD in Physics and Mathematics, Professor,  
Dagestan State University

### THE COLORING OF SPECIAL KIND BIPARTITE GRAPHS

*Abstract*

A. S. Asratyan and C. J. Casselgren proved that the problem of the interval edge-coloring of biregular bipartite graph with degrees 6 and 3 respectively («(6,3)-graph») is NP-complete. The article shows that the minimum capacity of vertices  $n$  such that (6,3)-graph prevents coloring of the required form equal to 18: any (6,3)-graph with  $n < 18$  allows interval edge-coloring; for each  $n$  not less than 18 (and divided by 3) there is (6,3)-graph with  $n$  vertices, for which a coloring impossible. The results are used for constructing an optimal schedules training sessions.

**Keywords:** graph, bipartite, coloring.

#### 1. Введение

В статье использованы обозначения и определения из книги [1]. Интервальной реберной раскраской графа  $t$  цветами будем называть отображение множества ребер графа в множество  $\{1, 2, \dots, t\}$ , такое, что: 1) для каждого  $i$ ,  $1 \leq i \leq t$ , найдется ребро, раскрашенное в цвет  $i$ , 2) в каждой вершине графа все представленные в ней цвета попарно различны и образуют целочисленный интервал.

Двудольный граф  $G = (X, Y, E)$ , в котором степени всех вершин  $X$  равны 6, а степени всех вершин  $Y$  равны 3, будем называть (6,3)-бирегулярным или, кратко, (6,3)-графом. При  $|X| = n$  (6,3)-граф  $G = (X, Y, E)$  будем называть (6,3) $_n$ -графом. Будем называть (6,3)-граф раскрашиваемым или нераскрашиваемым в зависимости от того, допускает ли он интервальную реберную раскраску шестью цветами или нет.

В [2] показана NP-полнота задачи о раскрашиваемости (6,3)-графа. Пример нераскрашиваемого (6,3) $_{20}$ -графа был построен еще в 1991 г. [3], в 2015 г. пример нераскрашиваемого (6,3) $_7$ -графа опубликован в [4].

Сформулируем основной результат статьи.

**Теорема 1.** При  $n \leq 5$  каждый (6,3) $_n$ -граф раскрашиваем, для любого  $n \geq 6$  найдется нераскрашиваемый (6,3) $_n$ -граф.

#### 2. Нераскрашиваемые (6,3) $_n$ -графы

Отображение множества ребер  $E$  (6,3)-графа  $G = (X, Y, E)$  в множество из двух цветов, такое, что в каждой вершине  $y \in Y$  цвета всех трех ребер, инцидентных  $y$ , одинаковы, а каждой вершине  $x \in X$  инцидентны три ребра каждого из

двух цветов, будем называть *гармонической раскраской графа G*; значения цветов гармонической раскраски условимся обозначать -1 и +1. Следующая лемма доказана независимо (и в разной терминологии) в [2] и [3].

**Лемма 1.** Для раскрашиваемости (6,3)-графа *G* необходимо и достаточно существование гармонической раскраски графа *G*.

Нетрудно заметить бесперспективность проверки существования нераскрашиваемого (6,3)<sub>n</sub> – графа путем полного перебора даже при *n* = 6. Справедливость следующей леммы очевидна.

**Лемма 2.** При гармонической раскраске (6,3)-графа для любой вершины *x* ∈ *X* сумма цветов ребер, инцидентных *x*, равна нулю (*свойство гармоничности для вершины x*).

**Следствие.** При гармонической раскраске (6,3)-графа сумма цветов всех ребер графа равна нулю.

Двудольный граф *G*\* = (*X*\*, *Y*\*, *E*\*), где *X*\* = {*x*<sub>0</sub>, *x*<sub>1</sub>, *x*<sub>2</sub>}, *Y*\* = {*y*<sub>0</sub>, ..., *y*<sub>11</sub>}, а множество ребер *E*\* задано списками смежности вершин множества *X*\*: *x*<sub>0</sub>(*y*<sub>0</sub>, *y*<sub>1</sub>, *y*<sub>2</sub>, *y*<sub>3</sub>, *y*<sub>4</sub>, *y*<sub>5</sub>), *x*<sub>1</sub>(*y*<sub>0</sub>, *y*<sub>1</sub>, *y*<sub>2</sub>, *y*<sub>6</sub>, *y*<sub>7</sub>, *y*<sub>8</sub>), *x*<sub>2</sub>(*y*<sub>0</sub>, *y*<sub>1</sub>, *y*<sub>2</sub>, *y*<sub>9</sub>, *y*<sub>10</sub>, *y*<sub>11</sub>), будем называть *базисным*.

**Теорема 2.** Если (6,3)<sub>6</sub>-граф *G* = (*X*, *Y*, *E*) является надграфом для базисного графа, то *G* не допускает гармонической раскраски.

**Доказательство.** Допустим противное: пусть существует некоторая гармоническая раскраска *c* графа *G*, являющегося надграфом для базисного графа. Цвет ребер, инцидентных вершине *y*<sub>*i*</sub> ∈ *Y*, будем обозначать через *c*<sub>*i*</sub>, 0 ≤ *i* ≤ 11. Выполнив почленное сложение равенств, выражающих свойство гармоничности для вершин *x*<sub>0</sub>, *x*<sub>1</sub> и *x*<sub>2</sub> соответственно:

$$\begin{aligned} c_0 + c_1 + c_2 + c_3 + c_4 + c_5 &= 0, \\ c_0 + c_1 + c_2 + c_6 + c_7 + c_8 &= 0, \\ c_0 + c_1 + c_2 + c_9 + c_{10} + c_{11} &= 0, \end{aligned}$$

получим: (*c*<sub>0</sub> + ... + *c*<sub>11</sub>) + 2(*c*<sub>0</sub> + *c*<sub>1</sub> + *c*<sub>2</sub>) = 0.

Согласно следствию Леммы 2, *c*<sub>0</sub> + ... + *c*<sub>11</sub> = 0. Отсюда *c*<sub>0</sub> + *c*<sub>1</sub> + *c*<sub>2</sub> = 0, что невозможно для *c*<sub>0</sub>, *c*<sub>1</sub>, *c*<sub>2</sub> ∈ {-1, +1}. Полученное противоречие доказывает, что гармоническая раскраска графа *G* не существует. Теорема доказана.

Пусть *n* – целое положительное, *n* ≥ 6. Любой двудольный граф *G*' = (*X*', *Y*', *E*'), где *X*' = {*x*<sub>3</sub>, *x*<sub>4</sub>, ..., *x*<sub>*n*-1</sub>}, *Y*' = {*y*<sub>3</sub>, *y*<sub>4</sub>, ..., *y*<sub>2*n*-1</sub>}, степени вершин:

$$d(y_3) = \dots = d(y_{11}) = 2, d(y_{12}) = \dots = d(y_{2n-1}) = 3, d(x_3) = \dots = d(x_{n-1}) = 6, \quad (1)$$

будем называть *n*-*дополнением* базисного графа или, кратко, *n*-*дополнением*.

В описанном ниже алгоритме построения *n*-дополнения *текущие значения* степеней вершин *v* обозначены через *D*(*v*), разности *d*(*v*) – *D*(*v*) названы *дефицитами* вершин *v*, а вершины с дефицитами, равными нулю (отличными от нуля), названы *насыщенными* (соответственно – *не насыщенными*).

Алгоритм 1. Построение *n*-дополнения

**Вход:** целое положительное *n*, *n* ≥ 6; списки со значениями элементов, заданными в (1): *d*(*y*<sub>3</sub>), ..., *d*(*y*<sub>2*n*-1</sub>) и *d*(*x*<sub>3</sub>), ..., *d*(*x*<sub>*n*-1</sub>).

**Комментарии:** элементы этих списков приобретут смысл степеней соответствующих вершин лишь после завершения алгоритма.

**Выход:** *n*-дополнение для базисного графа.

1. Инициализация: *X*' = {*x*<sub>3</sub>, *x*<sub>4</sub>, ..., *x*<sub>*n*-1</sub>} ; *Y*' = {*y*<sub>3</sub>, *y*<sub>4</sub>, ..., *y*<sub>2*n*-1</sub>} ; *D*(*v*) := 0 для всех *v* ∈ *X*' ∪ *Y*' ;

**Комментарии:** после инициализации сумма дефицитов вершин каждого из множеств *X*' и *Y*' равна 6*n* – 18, а разность любых двух элементов следующего списка:

$$d(y_3) - D(y_3), \dots, d(y_{2n-1}) - D(y_{2n-1}) \quad (2)$$

равна -1, 0 или 1 («свойство близости элементов списка»).

2. **пока** в множестве *X*' имеется ненасыщенная вершина *x*, соединить *x* рёбрами с каждой из шести вершин множества *Y*', имеющих наибольшие значения дефицитов.

**Комментарии:** добавление ребра сопровождается увеличением текущих степеней его концевых вершин на единицу.

**Конец алгоритма 1.**

Справедливость следующей леммы очевидна.

**Лемма 3.** Для любого заданного целого положительного *n*, *n* ≥ 6, алгоритм 1 генерирует *n*-дополнение *G*' = (*X*', *Y*', *E*').

**Теорема 3.** Для любого *n* ≥ 6 существует (6,3)<sub>n</sub>-граф *G* = (*X*, *Y*, *E*), не допускающий гармонической раскраски.

**Доказательство.** В качестве графа *G* можно взять объединение базисного графа и его *n*-дополнения. Теорема доказана.

**Следствие.** Для любого *n* ≥ 6 существует 6-нераскрашиваемый (6,3)<sub>n</sub>-граф *G* = (*X*, *Y*, *E*).

В качестве примера 6-дополнения укажем граф *G*' = (*X*', *Y*', *E*'), где *X*' = {*x*<sub>3</sub>, *x*<sub>4</sub>, *x*<sub>5</sub>}, *Y*' = {*y*<sub>3</sub>, *y*<sub>4</sub>, *y*<sub>5</sub>, *y*<sub>6</sub>, *y*<sub>7</sub>, *y*<sub>8</sub>, *y*<sub>9</sub>, *y*<sub>10</sub>, *y*<sub>11</sub>}, а множество ребер *E*' задано списками смежности вершин множества *X*' : *x*<sub>3</sub>(*y*<sub>3</sub>, *y*<sub>4</sub>, *y*<sub>5</sub>, *y*<sub>6</sub>, *y*<sub>7</sub>, *y*<sub>8</sub>), *x*<sub>4</sub>(*y*<sub>3</sub>, *y*<sub>4</sub>, *y*<sub>5</sub>, *y*<sub>9</sub>, *y*<sub>10</sub>, *y*<sub>11</sub>), *x*<sub>5</sub>(*y*<sub>6</sub>, *y*<sub>7</sub>, *y*<sub>8</sub>, *y*<sub>9</sub>, *y*<sub>10</sub>, *y*<sub>11</sub>).

Легко видеть, что граф *G*'\*, полученный объединением графов *G*\* и *G*'\*, является (6,3)<sub>6</sub>-графом. Согласно теореме 2, *G*'\* не допускает гармонической раскраски, поэтому (по лемме 1) граф *G*\* нераскрашиваем.

Мы доказали вторую часть теоремы 1. Первая часть теоремы 1 всецело получена «компьютерным» путем; изложим принятый нами подход. Для фиксированного *n* обозначим множество всех (6,3)<sub>n</sub>-графов через *M*. Ранее уже упоминалось о сложности полного перебора множества *M* при *n* = 6; проблема перебора сохраняет остроту и для *n* = 5, хотя вычислительные трудности не столь велики, как в случае *n* = 6.

Наша цель – построить подмножество  $M_0 \in M$ , такое, что утверждение о нераскрашиваемости всех  $(6,3)_n$ -графов – элементов множества  $M$  – справедливо тогда и только тогда, когда аналогичное утверждение справедливо для всех элементов подмножества  $M_0$ . Любое подмножество  $M_0$ , обладающее такими свойствами, будем называть *характеристическим*.

Отношение изоморфизма разбивает множество  $M$  на классы эквивалентности и, на первый взгляд, естественным представляется выбрать в качестве  $M_0$  подмножество, включающее точно одного представителя из каждого класса эквивалентности. Однако такое построение затруднительно: задача об изоморфизме графов была опубликована [5] еще в 1972 г. как «открытая» задача, относительно которой неизвестно, является ли она NP-полной (насколько автору известно, за истекшие десятилетия успех в решении проблемы не достигнут). Поэтому ограничимся целью построить характеристическое множество  $M_0$ , включающее столь мало представителей (но не менее одного) из каждого класса эквивалентности, что мощность  $M_0$  не будет представлять трудности для «компьютерного перебора».

Введем обозначения:  $X = \{x_0, x_1, \dots, x_{n-1}\}$ ,  $Y = \{y_0, y_1, \dots, y_{2n-1}\}$ ;

$X_i = \{x_0, x_1, \dots, x_i\}$ ,  $0 \leq i \leq n-1$ ;  $Y_j = \{y_0, y_1, \dots, y_j\}$ ,  $0 \leq j \leq 2n-1$ .

Построение множества  $M_0$  удобно изложить в виде построения корневого дерева  $T$  глубины  $n-1$ , все узлы которого представлены двудольными графами (далее в тексте – «узловые графы»), а узловые графы, представляющие узлы последнего,  $(n-1)$ -го уровня, являются  $(6,3)_n$ -графами и образуют множество  $M_0$ ; при этом каждый узел  $v$  уровня  $i$ , принадлежащий пути от корня к некоторой вершине  $V$  последнего уровня  $n-1$ , будет представлен некоторым порожденным на множестве вершин  $X_i \cup Y$  подграфом  $G_i^{(v)} = (X_i, Y, E_i^v)$  графа  $G_{n-1}^{(V)}$ .

Алгоритм 2. Построение характеристического множества

**Вход:** целое положительное  $n$ ,  $n \leq 6$ .

**Выход:** «слабо-избыточное» характеристическое множество  $M_0$  – множество узловых графов последнего уровня дерева  $T$ .

1. В качестве узлового графа для узла 0-го уровня (корня дерева  $T$ ) выбрать двудольный граф  $G_0 = (X_0, Y, E_0)$ , где  $E_0 = \{(x_0, y_0), \dots, (x_0, y_5)\}$ .

$R := 1$  ( $R$  – количество узлов в дереве  $T$ ).

2. Для каждого  $i = 1, 2, \dots, n-1$  выполнить:

для узлового графа  $G_{i-1}^{(v)} = (X_{i-1}, Y, E_{i-1}^v)$  каждого узла  $v$  уровня  $i-1$  выполнить:

**Begin\_1**

2.1. Разбить множество  $Y$  графа  $G_{i-1}^{(v)}$  на поля, где каждое поле представляет собой набор всех таких вершин степени  $< 3$ , которые обладают одним и тем же списком смежности. Количество полей обозначить через  $N$ , поля – через  $F_1, \dots, F_N$ , их мощности – через  $l_1, \dots, l_N$ , индексы первых элементов полей – через  $s_1, \dots, s_N$ .

2.2. Для каждого неупорядоченного набора целых неотрицательных  $a_1, \dots, a_N$ , удовлетворяющих условиям:

$$a_1 + \dots + a_N = 6 \quad \text{и} \quad 0 \leq a_k \leq l_k; \quad k = 1, \dots, N. \quad (*)$$

выполнить:

**Begin\_2**

2.2.1.  $G' :=$  двудольный граф, полученный из  $G_{i-1}^{(v)}$  добавлением вершины  $x_i$ , список смежности которого содержит точно  $a_k$  начальных вершин поля  $F_k$ ,  $k = 1, \dots, N$ ;

2.2.1.1. **если** а) список смежности вершины  $x_i$  в графе  $G'$  содержит не более общих вершин с  $Y_5$ , чем список смежности вершины  $x_{i-1}$  в  $G_{i-1}^{(v)}$  **и**

б) граф  $G'$  содержит  $\geq 6$  вершин множества  $Y$ , степени которых  $< 3$ ,

**то**

добавить  $G'$  в дерево  $T$  в качестве потомка вершины  $v$ , для чего:  $R := R + 1$  и узлу с номером  $R$  приписать граф  $G'$  (в подробной компьютерной реализации рекомендуется выполнить и следующие действия сопроводительного характера: в соответствующие массивы занести с позиции  $R$  значения  $i$ ,  $N$ , номер родительского узла  $v$  и векторы  $a$ ,  $l$  и  $s$ ).

**End\_2**

**End\_1**

**Конец алгоритма 2.**

Заметим, что  $s_1, \dots, s_N$  не принимают видимого участия в алгоритме, но их присутствие оправдано вычислительными целями (для удобства вычисления полей узла-потомка).

Для генерации наборов целых неотрицательных  $a_1, \dots, a_N$ , удовлетворяющих условиям (\*), применяется рекурсивная процедура AddSplit ( $value, k, l, s, N; a, AddVertex$ ), где  $a$  и  $l$  – векторы из  $N$  целых неотрицательных и целых положительных чисел соответственно: по заданным  $value, N, l, s$  и  $k$  процедура генерирует все разбиения заданного целого положительного  $value$  на неупорядоченные целые неотрицательные слагаемые:  $value = a_k + \dots + a_N$ , не превышающие соответствующие  $l_k, \dots, l_N$ . Процедура содержит вложенный вызов процедуры AddVertex, действие которой равносильно выполнению фрагмента Begin\_2 ... End\_2 алгоритма 2 по добавлению в дерево  $T$  нового узла – потомка узла  $v$ . Приведем подробное описание.

Процедура AddSplit ( $value, k, l, s, N; a, AddVertex$ )

**Если**  $k = N$ , **то**  $a_k := value$ ; AddVertex **end**

**иначе**

**для**  $j$  **от**  $\max(0, value - (a_{k+1} + \dots + a_N))$  **до**  $\min(value, l_k)$  **выполнить:**

**Begin\_1**  $a_k := j$ ; AddSplit ( $value - j, k + 1, l, s, N; a, AddVertex$ ) **End\_1**

**Комментарии:** перед вызовом процедуры выполняются присваивания:  $value := 6$  и  $k := 1$ .

**Конец процедуры**

Как видно из описания процедуры, память на хранение наборов  $a_1, \dots, a_N$ , удовлетворяющих условиям (\*), не расходует: для каждого очередного набора немедленно после его генерации выполняется фрагмент `Begin_2 ... End_2`.

**Теорема 4.** Алгоритм 2 вычисляет характеристическое множество.

**Доказательство.** Требуется показать, что для каждого  $(6,3)_n$ -графа – элемента множества  $M$  – среди узловых графов последнего уровня дерева  $T$  найдется изоморфный ему граф (назовем это условие кратко: *принцип достаточности*). Отличия алгоритма 2 от алгоритма полного перебора начинаются с выбора (в пункте 1) единственного узлового графа для корня, остальные отличия сводятся к выбору (в пункте 2.2.1.1) не более одного потомка для узла  $v$  уровня  $i-1$  из каждого множества графов, соответствующего сгенерированному разбиению  $(a_1, \dots, a_N)$  числа 6 на целые положительные слагаемые.

Во-первых, выбор для вершины  $x_0$  любого иного списка смежности приводит к графу, изоморфному  $G_0$ . В самом деле, пусть для вершины  $x_0$  выбран произвольный список смежности  $y_{i_0}, \dots, y_{i_5}$ . Тогда любая биекция  $\{y_{i_0}, \dots, y_{i_5}\} \rightarrow \{y_0, \dots, y_5\}$  приводит к (изоморфному) графу  $G_0$  с сохранением принципа достаточности.

Во-вторых, требование (см. 2.2.1.1a) «список смежности вершины  $x_i$  в графе  $G'$  имеет не более общих вершин с  $Y_5$ , чем список смежности вершины  $x_{i-1}$  в  $G_{i-1}^{(v)}$ » равносильно требованию упорядочить вершины  $x_0, \dots, x_{n-1}$  по принципу невозрастания в их списках смежности количеств вершин, принадлежащих  $Y_5$ ; такое упорядочение соответствует принципу достаточности. Наконец, если (см. 2.2.1.1b) граф  $G'$  содержит менее шести вершин множества  $Y$  степени меньше, чем три, то, очевидно, достроить граф  $G'$  до  $(6,3)_n$ -графа невозможно. Теорема доказана.

Как показали компьютерные расчеты, при  $n = 6$  алгоритм 2 генерирует дерево  $T$  из 11645 узлов, из которых 2485 узлов относятся к последнему уровню, образуя искомое множество  $M_0$   $(6,3)_6$  – графов. Проверка существования гармонической раскраски у каждого графа из  $M_0$  путем обычного перебора не представляет трудности; среди них обнаружены точно 62 нераскрашиваемых графа (в том числе – изоморфные между собой), включая рассмотренный выше граф  $G_*$ . Для каждого  $n \leq 5$  компьютерные расчеты подтвердили существование гармонической раскраски у всех графов характеристического множества, следовательно, их раскрашиваемость (лемма 1). Тем самым доказано и первое утверждение теоремы 1.

**3. Заключение**

Область практического применения – построение «безоконного» расписания. Пусть рассматривается задача построения однодневного расписания учебных занятий:  $X$  – множество классов,  $Y$  – множество учителей, исходные данные к расписанию заданы  $(6,3)$ -графом  $G = (X, Y, E)$ , где каждому классу запланированы шесть уроков, а каждому учителю – три урока. Если цвету  $t \in \{1, \dots, 6\}$  каждого ребра  $(x_i, y_j) \in E$  соотнести номер академического часа – урока учителя  $j$  в классе  $i$ , то задача о раскрашиваемости графа  $G$  преобразуется в задачу о существовании расписания длительностью в шесть уроков без «окон» у учителей и классов.

**Литература**

1. Swamy M. N. and Thulasiraman K. Graphs, Networks and Algorithms, Wiley-Inter-science, 1981. – 455 P.
2. Casselgren C. J. On Some Graph Coloring Problems // Doctoral Thesis No. 48. Department of Mathematics and Mathematical Statistics Umea University, 2011.
3. Магомедов А. М. К вопросу об условиях уплотнимости матрицы из 6 столбцов // Деп. в ВИНТИ, 1991.
4. Magomedov A. M. On interval  $\Delta$ -coloring bipartite graphs // ISSN 0005-1179, Automation and Remote Control, 2015, Vol. 76, No. 1, pp. 80–87.
5. Karp R. M. Reducibility among combinatorial problems // in R. E. Miller and J. W. Thatcher (eds.), Complexity of Computer Computations, Plenum Press, New York, 1972. P. 85-103.

**References**

1. Swamy M. N. and Thulasiraman K. Graphs, Networks and Algorithms, Wiley-Inter-science, 1981. – 455 P.
2. Casselgren C. J. On Some Graph Coloring Problems // Doctoral Thesis No. 48. Department of Mathematics and Mathematical Statistics Umea University, 2011.
3. Magomedov A. M. K voprosu ob uslovijah uplotnimosti matricy iz 6 stolbcov // Dep. v VINITI, 1991.
4. Magomedov A. M. On interval  $\Delta$ -coloring bipartite graphs // ISSN 0005-1179, Automation and Remote Control, 2015, Vol. 76, No. 1, pp. 80–87.
5. Karp R. M. Reducibility among combinatorial problems // in R. E. Miller and J. W. Thatcher (eds.), Complexity of Computer Computations, Plenum Press, New York, 1972. P. 85-103.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.51.061

Филимонова А.П.<sup>1</sup>, Юрьева Т.А.<sup>2</sup><sup>1</sup>Кандидат физико-математических наук, доцент, <sup>2</sup>кандидат педагогических наук,

Амурский государственный университет

**АПРИОРНЫЕ ОЦЕНКИ РЕШЕНИЯ В МЕТРИКЕ  $C^0(S_1^2)$  УРАВНЕНИЯ ТИПА МОНЖА-АМПЕРА НА СФЕРЕ КАК ДВУМЕРНОМ МНОГООБРАЗИИ В ПРОСТРАНСТВЕ ПОСТОЯННОЙ КРИВИЗНЫ****Аннотация**

В статье приводится решение задачи о нахождении достаточных условий однозначной разрешимости дифференциального уравнения Монжа-Ампера на сфере как двумерном многообразии в пространствах постоянной кривизны, в частности в трехмерном пространстве Лобачевского. Рассматриваемая задача связана с восстановлением поверхностей, гомеоморфных сфере, с заданной функцией гауссовой кривизны. В ходе доказательства теоремы получены априорные оценки решения уравнения типа Монжа-Ампера в метрике  $C^0(S_1^2)$ . Приведены следствия для частных видов уравнений Монжа-Ампера в трехмерном пространстве Лобачевского и в трехмерном евклидовом пространстве.

**Ключевые слова:** уравнение Монжа-Ампера, двумерное многообразие, априорные оценки, гауссова кривизна.

Filimonova A.P.<sup>1</sup>, Yuryeva T.A.<sup>2</sup><sup>1</sup>PhD in Physics and Mathematics, <sup>2</sup>PhD in Pedagogy,

The Amur State University

**PRIORI ESTIMATES OF SOLUTIONS IN THE METRIC  $C^0(S_1^2)$  EQUATIONS OF MONGE-AMPERE ON THE SPHERE AS A TWO-DIMENSIONAL MANIFOLDS IN SPACES OF CONSTANT CURVATURE****Abstract**

The article provides a solution to the problem of finding sufficient conditions for the unique solvability of a differential equation of the Monge-Ampere equation on the sphere as a two-dimensional manifold in spaces of constant curvature, in particular three-dimensional Lobachevskii space. This problem is connected with the restoration of the surfaces, homeomorphic to a sphere with a predetermined function of the Gaussian curvature. In the course of the proof, a priori estimates of solutions of equations of the Monge-Ampere equation in the metric  $C^0(S_1^2)$ . Results investigation for particular types of Monge-Ampere equations in three-dimensional Lobachevskii space, in three-dimensional Euclidean space.

**Keywords:** Monge-Ampere equation, two-dimensional manifold, a priori estimates, the Gaussian curvature.

Рассмотрим следующую геометрическую задачу.

Пусть в трехмерном пространстве постоянной отрицательной кривизны (гиперболическом пространстве Лобачевского)  $H^3$  фиксирована некоторая точка  $O$ . Пусть, далее,  $S_1^2$  – сфера единичного радиуса с центром в этой точке  $O$ . Будем рассматривать класс регулярных выпуклых гомеоморфных сфере  $S_1^2$  поверхностей, звездных относительно точки  $O$ . Произвольная поверхность  $F$  этого класса можно задать аналитически уравнением:  $F: \rho = \rho(u, v)$ , где  $\rho, u, v$  – сферические координаты в пространстве  $H^3$ .

Рассмотрим сферу  $S_1^2$  как двумерное многообразие и выберем атлас так, чтобы в локальных координатах  $u, v$  каждой карты выполнялось неравенство:  $\cos v \geq x > 0$ .

Пусть в  $H^3 \setminus \{O\}$  определена некоторая функция  $K_{\text{int}}(u, v, \rho) = K_{\text{int}}$ . Тогда задача о восстановлении поверхности  $F: \rho = \rho(u, v)$  в гиперболическом трехмерном пространстве  $H^3$ , гауссова (внутренняя) кривизна которой в каждой точке равна значению функции  $K_{\text{int}}$  в той же точке, сводится к нахождению достаточных условий однозначной разрешимости дифференциального уравнения типа Монжа-Ампера, которое на сфере  $S_1^2$  как двумерном многообразии имеет следующий вид [2]:

$$\begin{aligned} & \rho_{11}\rho_{22} - \rho_{12}^2 (2\text{cth}\rho \cdot \rho_v^2 + \text{sh}\rho \cdot \text{ch}\rho) + 2\rho_{12} \cdot 2\rho_u \rho_v \cdot \text{cth}\rho - \rho_{22} \cdot \\ & \cdot (2\text{cth}\rho \cdot \rho_u^2 + \text{sh}\rho \text{ch}\rho \cos^2 v) - \left( \rho_v^2 \cos v + \frac{\rho_u^2}{\cos v} \right)^2 + 2\rho_u^2 + 2\rho_v^2 \cos^2 v + \text{sh}^2 \rho \cos^2 v = \\ & = K_{\text{int}}(u, v, \rho) \cdot \frac{(\rho_v^2 \cos^2 v + \rho_u^2 + \text{sh}^2 \rho \cos^2 v)^2}{\cos^2 v}. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь  $\rho_{ij}$  ( $i, j \in \{1, 2\}$ ) – вторые ковариантные производные функции  $\rho = \rho(u, v)$  относительно метрики единичной сферы  $S_1^2$ .

В работе [2] показано, что уравнение (1) является отрицательно эллиптическим уравнением Монжа-Ампера при условии, что функция  $K_{\text{int}}(u, v, \rho) > -1$  ( $K_{\text{ext}}(u, v, \rho) > 0$ ). Это означает, что если  $\rho = \rho(u, v)$  есть решение уравнения  $\Phi(u, v, \rho, \rho_u, \rho_v, \rho_{uu}, \rho_{uv}, \rho_{vv}) = 0$ , то квадратичная форма  $T(\Phi, \rho) = \frac{\partial \Phi}{\partial \rho_{uu}}(\rho) \alpha^2 + \frac{\partial \Phi}{\partial \rho_{uv}}(\rho) \alpha \beta + \frac{\partial \Phi}{\partial \rho_{vv}}(\rho) \beta^2$  ( $\alpha, \beta \in R$ ) отрицательно определена.

В [2] также доказана теорема о расположении поверхности  $F: \rho = \rho(u, v)$  ( $\rho = \rho(u, v)$  – решение уравнения (1)) при некоторых ограничениях на функцию  $K_{\text{int}}(u, v, \rho)$ .

**Теорема 1.** Пусть в трехмерном гиперболическом пространстве  $H^3$  фиксированы две концентрические сферы  $S_{\rho_1}^2$  и  $S_{\rho_2}^2$  с центром в точке  $O$  и радиусами  $\rho_1$  и  $\rho_2$  ( $\rho_1 < \rho_2$ ) соответственно.

Пусть функция  $K_{\text{int}}(u, v, \rho)$ , определенная в  $S_1^2 \times R^+$  ( $R^+$  – множество положительных действительных чисел), удовлетворяет следующим условиям:

- 1)  $K_{\text{int}}(u, v, \rho) > -1$ ;
- 2)  $K_{\text{int}}(u, v, \rho) = \frac{1}{sh^2 \rho} + h(u, v, \rho)$ , где  $h(u, v, \rho) > 0$  внутри сферы  $S_{\rho_1}^2$  и  $h(u, v, \rho) < 0$  вне сферы  $S_{\rho_2}^2$ .

Тогда любое решение  $\rho = \rho(u, v)$  дифференциального уравнения (1) задает поверхность  $F: \rho = \rho(u, v)$ , лежащую между сферами  $S_{\rho_1}^2$  и  $S_{\rho_2}^2$ .

Аналитически результат теоремы означает, что при наложении условий теоремы 1 на функцию  $K_{\text{int}} = K_{\text{int}}(u, v, \rho)$  имеем априорные оценки решения дифференциального уравнения (1) в метрике  $C^0(S_1^2)$ :  $\rho_1 \leq \rho \leq \rho_2$ .

Рассмотрим теперь обобщенное дифференциальное уравнение типа Монжа-Ампера на сфере  $S_1^2$  как двумерном многообразии [3]:

$$\begin{aligned} & \rho_{11}\rho_{22} - \rho_{12}^2 - \rho_{11} [f(\rho) \cdot \rho_v^2 + \phi(\rho) \cdot \phi_1(u, v)] + 2\rho_{12} \cdot f(\rho) \rho_u \rho_v - \rho_{22} \cdot \\ & \cdot [f(\rho) \cdot \rho_u^2 + \phi(\rho) \cdot \phi_2(u, v)] + D(u, v, \rho, \rho_u, \rho_v) = \psi(u, v, \rho) \cdot D_1(u, v, \rho, \rho_u, \rho_v). \end{aligned} \quad (2)$$

В уравнении (2)  $\rho_{ij}$  ( $i, j \in \{1, 2\}$ ) – вторые ковариантные производные функции  $\rho(u, v)$  относительно метрики единичной сферы  $S_1^2$ ,  $\rho \in R^+$ , а  $(u, v) \in S_1^2$  (локальные географические координаты).

В работе [3] показано, что при наложении ограничений на входящие в (2) функции:  $\phi(\rho) > 0$ ,  $\phi_1(u, v) > 0$ ,  $\phi_2(u, v) > 0$ ,  $f(\rho) > 0$ ,  $AC - B^2 - D + \psi D_1 > 0$ , ( $A, B, C$  коэффициенты при  $-\rho_{11}, 2\rho_{12}, -\rho_{22}$ ),  $D = D(u, v, \rho, \rho_u, \rho_v)$ ,  $D_1 = D_1(u, v, \rho, \rho_u, \rho_v)$  уравнение (2) отрицательно эллиплично.

Квадратичная форма  $T(\Phi, \rho) = \frac{\partial \Phi}{\partial \rho_{uu}}(\rho) \alpha^2 + \frac{\partial \Phi}{\partial \rho_{uv}}(\rho) \alpha \beta + \frac{\partial \Phi}{\partial \rho_{vv}}(\rho) \beta^2$  для уравнения (2) имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} & (\rho_{22} - f(\rho) \cdot \rho_v^2 - \phi(\rho) \cdot \phi_1(u, v)) \alpha^2 - 2(\rho_{12} - f(\rho) \rho_u \rho_v) \alpha \beta + \\ & + (\rho_{11} - f(\rho) \cdot \rho_u^2 - \phi(\rho) \cdot \phi_2(u, v)) \beta^2. \end{aligned}$$

Докажем аналог теоремы 1 для обобщенного дифференциального уравнения (2), тем самым получим априорные оценки решения уравнения (2) в метрике  $C^0(S_1^2)$ .

**Теорема 2.** Пусть функция  $\psi = \psi(u, v, \rho)$  удовлетворяет следующим условиям:

- 1)  $\psi(u, v, \rho) > \psi_0$  при  $\rho < \rho_1$ ;
- 2)  $\psi(u, v, \rho) < \psi_0$  при  $\rho > \rho_2$ , где  $\psi_0 = \frac{D(u, v, \rho, 0, 0)}{D_1(u, v, \rho, 0, 0)}$ ,  $\rho_1 < \rho_2$ .

Тогда имеют место априорные оценки решения  $\rho = \rho(u, v)$  обобщенного дифференциального уравнения (2) в метрике  $C^0(S_1^2)$ :  $\rho_1 \leq \rho(u, v) \leq \rho_2$ .

**Доказательство.** Пусть  $\rho(u, v) \in C^2(S_1^2)$  является решением дифференциального уравнения (2). Функция  $\rho = \rho(u, v)$  достигает на единичной сфере  $S_1^2$  минимального значения в некоторой точке  $(u_0, v_0)$  в силу того, что сфера  $S_1^2$  является компактным многообразием. В точке минимума  $(u_0, v_0)$  выполняются условия:  $\rho_u = \rho_v = 0$ ,  $d^2 \rho = \rho_{uu} du^2 + 2\rho_{uv} dudv + \rho_{vv} dv^2 \geq 0$ . В экстремальных точках вторые ковариантные производные относительно метрики сферы  $S_1^2$  равны соответственно  $\rho_{uu}, \rho_{uv}, \rho_{vv}$ :  $\rho_{11} = \rho_{uu}$ ,  $\rho_{12} = \rho_{uv}$ ,  $\rho_{22} = \rho_{vv}$ . Тогда  $d^2 \rho$  в точке  $(u_0, v_0)$  имеет вид:  $d^2 \rho = \rho_{11} du^2 + 2\rho_{12} dudv + \rho_{22} dv^2 \geq 0$ . Квадратичная форма  $T(\Phi, \rho)$  в точке минимума принимает вид:  $T(\Phi, \rho) = (\rho_{22} - \phi(\rho) \cdot \phi_1(u, v)) \alpha^2 - 2\rho_{12} \alpha \beta + (\rho_{11} - \phi(\rho) \cdot \phi_2(u, v)) \beta^2 \leq 0$  в силу отрицательной эллиптичности дифференциального уравнения (2).

Рассмотрим выражение

$$\begin{aligned} & \rho_{11} (\rho_{22} - f(\rho) \cdot \rho_v^2 - \phi(\rho) \cdot \phi_1(u, v)) - 2(\rho_{12} - f(\rho) \rho_u \rho_v) \rho_{12} + \\ & + \rho_{22} (\rho_{11} - f(\rho) \cdot \rho_u^2 - \phi(\rho) \cdot \phi_2(u, v)). \end{aligned}$$

В точке  $(u_0, v_0)$  минимума функции  $\rho = \rho(u, v)$  данное выражение преобразуется:  $\rho_{11}(\rho_{22} - \phi(\rho) \cdot \phi_1(u, v)) - 2\rho_{12}^2 + \rho_{22}(\rho_{11} - \phi(\rho) \cdot \phi_2(u, v))$ . Это выражение не является положительным в силу того, что  $\rho_{11} \geq 0$ ,  $\rho_{22} \geq 0$  вследствие  $d^2\rho \geq 0$ , а  $\rho_{22} - \phi(\rho) \cdot \phi_1(u, v) \leq 0$ ,  $\rho_{11} - \phi(\rho) \cdot \phi_2(u, v) \leq 0$ , так как  $T(\Phi, \rho) \leq 0$ .

Таким образом,

$$\rho_{11}(\rho_{22} - f(\rho) \cdot \rho_v^2 - \phi(\rho) \cdot \phi_1(u, v)) - 2(\rho_{12} - f(\rho)\rho_u\rho_v)\rho_{12} + \rho_{22}(\rho_{11} - f(\rho) \cdot \rho_u^2 - \phi(\rho) \cdot \phi_2(u, v)) \leq 0.$$

Из полученного неравенства имеем:

$$\rho_{11}\rho_{22} - \rho_{11}\phi(\rho) \cdot \phi_1(u, v) - 2\rho_{12}^2 + \rho_{22}\rho_{11} - \rho_{22}\phi(\rho) \cdot \phi_2(u, v) \leq 0,$$

$\rho_{11}\rho_{22} - \rho_{12}^2 + \rho_{11}\rho_{22} - \rho_{12}^2 - \rho_{11}\phi(\rho) \cdot \phi_1(u, v) - \rho_{22}\phi(\rho) \cdot \phi_2(u, v) \leq 0$ . В силу определенности формы  $d^2\rho$  в точке  $(u_0, v_0)$   $\rho_{11}\rho_{22} - \rho_{12}^2 > 0$ , отсюда следует, что  $\rho_{11}\rho_{22} - \rho_{12}^2 - \rho_{11}\phi(\rho) \cdot \phi_1(u, v) - \rho_{22}\phi(\rho) \cdot \phi_2(u, v) \leq 0$ .

Дифференциальное уравнение (2) в точке минимума функции  $\rho = \rho(u, v)$  переходит в равенство:

$$\rho_{11}\rho_{22} - \rho_{12}^2 - \rho_{11}\phi(\rho) \cdot \phi_1(u, v) - \rho_{22} \cdot \phi(\rho) \cdot \phi_2(u, v) + D(u, v, \rho, 0, 0) = \psi(u, v, \rho) \cdot D_1(u, v, \rho, 0, 0).$$
 Из

этого равенства и полученного выше неравенства в точке  $(u_0, v_0)$  минимума функции  $\rho = \rho(u, v)$  следует

справедливость следующего неравенства:

$$\psi(u, v, \rho) \cdot D_1(u, v, \rho, 0, 0) - D(u, v, \rho, 0, 0) = \rho_{11}\rho_{22} - \rho_{12}^2 - \rho_{11}\phi(\rho) \cdot \phi_1(u, v) - \rho_{22} \cdot \phi(\rho) \cdot \phi_2(u, v) \leq 0,$$

следовательно,  $\psi(u, v, \rho) \cdot D_1(u, v, \rho, 0, 0) \leq D(u, v, \rho, 0, 0)$  или  $\psi(u, v, \rho) \leq \frac{D(u, v, \rho, 0, 0)}{D_1(u, v, \rho, 0, 0)}$ ,

$$\psi(u, v, \rho) \leq \psi_0 \tag{3}$$

Предположим, что  $\rho(u_0, v_0) < \rho_1$ . Тогда по условию теоремы 2  $\psi(u, v, \rho) > \psi_0$ , а это противоречит полученному выше неравенству (3). Следовательно,  $\rho_1 \leq \rho(u_0, v_0) \leq \rho(u, v)$ . Оценка в метрике  $C^0(S_1^2)$  снизу для решения дифференциального уравнения (2) получена  $\rho_1 \leq \rho(u, v)$ .

Получим априорную оценку в метрике  $C^0(S_1^2)$  решения  $\rho(u, v)$  дифференциального уравнения (2) сверху.

Рассмотрим следующую квадратичную форму:  $(-f(\rho) \cdot \rho_v^2 - \phi(\rho) \cdot \phi_1(u, v))\alpha^2 + 2f(\rho)\rho_u\rho_v\alpha\beta + (-f(\rho) \cdot \rho_u^2 - \phi(\rho) \cdot \phi_2(u, v))\beta^2$ . Ее дискриминант равен

$$\begin{aligned} & (-f(\rho) \cdot \rho_v^2 - \phi(\rho) \cdot \phi_1(u, v))(-f(\rho) \cdot \rho_u^2 - \phi(\rho) \cdot \phi_2(u, v)) - f^2(\rho)\rho_u^2\rho_v^2 = \\ & = f^2(\rho)\rho_u^2\rho_v^2 + \phi(\rho) \cdot \phi_1(u, v)f(\rho) \cdot \rho_u^2 + \phi(\rho) \cdot \phi_2(u, v)f(\rho) \cdot \rho_v^2 + \\ & + \phi^2(\rho) \cdot \phi_1(u, v)\phi_2(u, v) - f^2(\rho)\rho_u^2\rho_v^2 = \\ & = \phi(\rho) \cdot \phi_1(u, v)f(\rho) \cdot \rho_u^2 + \phi(\rho) \cdot \phi_2(u, v)f(\rho) \cdot \rho_v^2 + \phi^2(\rho) \cdot \phi_1(u, v)\phi_2(u, v) > 0, \end{aligned}$$

так как на функции  $\phi(\rho) > 0$ ,  $\phi_1(u, v) > 0$ ,  $\phi_2(u, v) > 0$  и  $f(\rho) > 0$ .

Далее, коэффициент при  $\alpha^2$ :  $-f(\rho) \cdot \rho_v^2 - \phi(\rho) \cdot \phi_1(u, v) < 0$  в силу тех же условий. Тогда

$$(-f(\rho) \cdot \rho_v^2 - \phi(\rho) \cdot \phi_1(u, v))\alpha^2 + 2f(\rho)\rho_u\rho_v\alpha\beta + (-f(\rho) \cdot \rho_u^2 - \phi(\rho) \cdot \phi_2(u, v))\beta^2 \leq 0.$$

Пусть, далее,  $(u_1, v_1)$  является точкой сферы, в которой функция  $\rho(u, v)$  достигает максимального значения.

Это возможно в силу компактности сферы  $S_1^2$  как двумерного многообразия. Тогда в этой точке

$$d^2\rho = \rho_{uu}du^2 + 2\rho_{uv}dudv + \rho_{vv}dv^2 \leq 0, \rho_u = \rho_v = 0, \rho_{11} = \rho_{uu}, \rho_{12} = \rho_{uv}, \rho_{22} = \rho_{vv}.$$

Рассмотрим выражение:

$$\rho_{11}(-f(\rho) \cdot \rho_v^2 - \phi(\rho) \cdot \phi_1(u, v)) + 2\rho_{12} \cdot f(\rho)\rho_u\rho_v + \rho_{22} \cdot (-f(\rho) \cdot \rho_u^2 - \phi(\rho) \cdot \phi_2(u, v)).$$
 В точке  $(u_1, v_1)$

максимума функции  $\rho = \rho(u, v)$  приведенное выше выражение примет вид:

$$-\rho_{11}\phi(\rho) \cdot \phi_1(u, v) - \rho_{22} \cdot \phi(\rho) \cdot \phi_2(u, v).$$
 Так как  $\phi(\rho) > 0$ ,  $\phi_1(u, v) > 0$ ,  $\phi_2(u, v) > 0$ , а в точке максимума  $-\rho_{11} \geq 0$ ,

$$-\rho_{22} \geq 0, \text{ то имеем следующее неравенство: } -\rho_{11}\phi(\rho) \cdot \phi_1(u, v) - \rho_{22} \cdot \phi(\rho) \cdot \phi_2(u, v) \geq 0.$$

Дифференциальное уравнение (2) в точке  $(u_1, v_1)$  максимума функции  $\rho = \rho(u, v)$  преобразуется в неравенство:

$$\rho_{11}\rho_{22} - \rho_{12}^2 - \rho_{11}\phi(\rho) \cdot \phi_1(u, v) - \rho_{22} \cdot \phi(\rho) \cdot \phi_2(u, v) + D(u, v, \rho, 0, 0) = \psi(u, v, \rho) \cdot D_1(u, v, \rho, 0, 0).$$

В точке  $(u_1, v_1)$   $d^2\rho \leq 0$ , следовательно,  $\rho_{11}\rho_{22} - \rho_{12}^2 > 0$  силу определенности формы  $d^2\rho$ . Тогда  $\rho_{11}\rho_{22} - \rho_{12}^2 - \rho_{11}\phi(\rho) \cdot \phi_1(u, v) - \rho_{22}\phi(\rho) \cdot \phi_2(u, v) \geq 0$ .

Из последнего неравенства и полученного из уравнения (2) равенства имеем:  $\psi(u, v, \rho) \cdot D_1(u, v, \rho, 0, 0) - D(u, v, \rho, 0, 0) \geq 0$ . Это означает, что

$$\psi(u, v, \rho) \cdot D_1(u, v, \rho, 0, 0) \geq D(u, v, \rho, 0, 0) \quad \text{или} \quad \psi(u, v, \rho) \geq \frac{D(u, v, \rho, 0, 0)}{D_1(u, v, \rho, 0, 0)}.$$

Таким образом, функция  $\psi(u, v, \rho)$  в точке  $(u_1, v_1)$  максимума функции  $\rho = \rho(u, v)$  удовлетворяет неравенству:  $\psi(u, v, \rho) \geq \psi_0 \dots \dots (4)$ .

Допустим, что  $\rho(u_1, v_1) > \rho_2$ . Тогда по условию теоремы 2 имеет место неравенство:  $\psi(u, v, \rho) < \psi_0$ , что противоречит полученному неравенству (4). Следовательно,  $\rho(u_1, v_1) \leq \rho_2$ . Это означает, что  $\rho(u, v) \leq \rho(u_1, v_1) \leq \rho_2$  или  $\rho(u, v) \leq \rho_2$ . Оценка сверху в метрике  $C^0(S_1^2)$  решения дифференциального уравнения (2) получена.

Таким образом, в целом имеем  $\rho_1 \leq \rho(u, v) \leq \rho_2$ . Теорема доказана.

Следствие 1. Результат теоремы 2 совпадает с результатом теоремы 1 в случае рассмотрения уравнения (1) на  $S_1^2$  в трехмерном пространстве Лобачевского  $H^3$ .

Уравнение (1) есть частный случай уравнения (2). В самом деле, здесь

$$D(u, v, \rho, \rho_u, \rho_v) = - \left( \rho_v^2 \cos v + \frac{\rho_u^2}{\cos v} \right)^2 + 2\rho_u^2 + 2\rho_v^2 \cos^2 v + sh^2 \rho \cos^2 v,$$

$$D_1(u, v, \rho, \rho_u, \rho_v) = \frac{(\rho_v^2 \cos^2 v + \rho_u^2 + sh^2 \rho \cos^2 v)^2}{\cos^2 v}, \quad f(\rho) = 2ct h\rho > 0, \quad \phi(\rho) = sh\rho \cdot ch\rho > 0, \quad \phi_1(u, v) = 1 > 0,$$

$$\phi_2(u, v) = \cos^2 v > 0. \quad \text{Тогда} \quad D(u, v, \rho, 0, 0) = sh^2 \rho \cos^2 v, \quad D_1(u, v, \rho, 0, 0) = \frac{(sh^2 \rho \cos^2 v)^2}{\cos^2 v} = sh^4 \rho \cos^2 v.$$

$$\psi_0 = \frac{D(u, v, \rho, 0, 0)}{D_1(u, v, \rho, 0, 0)} = \frac{sh^2 \rho \cos^2 v}{sh^4 \rho \cos^2 v} = \frac{1}{sh^2 \rho}. \quad \text{Второе условие теоремы 1:} \quad K_{\text{int}} = \frac{1}{sh^2 \rho} + h(u, v, \rho), \quad \text{где}$$

$$h(u, v, \rho) > 0 \quad \text{внутри сферы } S_{\rho_1}^2, \quad \text{равносильно условию} \quad K_{\text{int}} > \frac{1}{sh^2 \rho} \quad \text{при } \rho < \rho_1, \quad \text{то есть} \quad K_{\text{int}} > \psi_0 \quad \text{при } \rho < \rho_1.$$

Аналогично, условие:  $K_{\text{int}}(u, v, \rho) = \frac{1}{sh^2 \rho} + h(u, v, \rho)$ , где  $h(u, v, \rho) < 0$  вне сферы  $S_{\rho_2}^2$  равносильно условию

$$K_{\text{int}} < \frac{1}{sh^2 \rho} \quad \text{при } \rho > \rho_2, \quad \text{то есть} \quad K_{\text{int}}(u, v, \rho) > \psi_0 \quad \text{при } \rho > \rho_2, \quad \text{что совпадает с условиями теоремы 2.}$$

Следствие 2 Геометрическая задача восстановления замкнутой выпуклой гомеоморфной сфере поверхности  $F$  в трехмерном евклидовом пространстве  $E^3$ . Рассматривается класс регулярных выпуклых гомеоморфных  $S_1^2$  поверхностей, звездных относительно точки  $O$ . Произвольная поверхность  $F$  этого класса задается уравнением:  $F: \rho = \rho(u, v)$ ,  $\rho, u, v$  – сферические координаты в  $E^3$ . Рассмотрим  $S_1^2$  как двумерное многообразие и выберем атлас так, чтобы в локальных координатах  $u, v$  каждой карты выполнялось неравенство:  $\sin u \geq x > 0$ . Пусть в  $E^3 \setminus \{O\}$  определена функция  $K(u, v, \rho) \in (S_1^2 \times R^+)$ . Тогда функция  $\rho = \rho(u, v)$ , задающая поверхность  $F$  данного класса, в каждой точке которой гауссова кривизна равна значению функции  $K(u, v, \rho)$  в этой же точке, удовлетворяет следующему отрицательно эллиптическому уравнению типа Монжа-Ампера на  $S_1^2$  [1]:

$$\begin{aligned} & \rho_{11}\rho_{22} - \rho_{12}^2 - \rho_{11} \frac{\rho_v^2 + \rho^2 \sin^2 u}{\rho} + 2\rho_{12} \cdot 2 \frac{\rho_u \rho_v}{\rho} - \rho_{22} \cdot \frac{\rho_u^2 + \rho^2}{\rho} = \\ & = K(u, v, \rho) \cdot \frac{(\rho_u^2 \sin^2 u + \rho_v^2 + \rho^2 \sin^2 u)^2}{\sin^2 u} - (2\rho_u^2 \sin^2 u + 2\rho_v^2 + \rho^2 \sin^2 u), \end{aligned} \quad (5)$$

$$\sin u > 0.$$

Уравнение (5) есть частный случай уравнения (2). Здесь  $f(\rho) = \frac{2}{\rho} > 0$ ,  $\phi(\rho) = \rho > 0$ ,  $\phi_1(u, v) = \sin^2 u > 0$ ,  $\phi_2(u, v) = 1 > 0$ ,

$$D(u, v, \rho, \rho_u, \rho_v) = 2\rho_u^2 \sin^2 u + 2\rho_v^2 + \rho^2 \sin^2 u, \quad D_1(u, v, \rho, \rho_u, \rho_v) = \frac{1}{\sin^2 u} (\rho_u^2 \sin^2 u + 2\rho_v^2 + \rho^2 \sin^2 u)^2,$$

$$\psi(u, v, \rho) = K(u, v, \rho),$$

$$\psi_0 = \frac{D(u, v, \rho, 0, 0)}{D_1(u, v, \rho, 0, 0)} = \frac{\rho^2 \sin^2 u}{\frac{1}{\sin^2 u} (\rho^2 \sin^2 u)^2} = \frac{\rho^2 \sin^4 u}{\rho^4 \sin^4 u} = \frac{1}{\rho^2}. \text{ Тогда } \rho_1 \leq \rho(u, v) \leq \rho_2, \text{ если } K(u, v, \rho) > \frac{1}{\rho^2} \text{ при}$$

$\rho < \rho_1$  и  $K(u, v, \rho) < \frac{1}{\rho^2}$  при  $\rho > \rho_2$ , то есть поверхность  $F$  при данных условиях расположена между сферами

$S_{\rho_1}^2$  и  $S_{\rho_2}^2$  в  $E^3$  с радиусами  $\rho_1$  и  $\rho_2$  соответственно. Результат следствия 2 совпадает с результатом работы [1].

#### Литература

1. Верещагин Б.М. Восстановление замкнутой выпуклой поверхности по данной функции гауссовой кривизны // Вопросы глобальной геометрии: Сб. научн. трудов. – ЛГПИ им. Л. И. Герцена. – Л., 1979. – С. 7-12.
2. Филимонова А.П. Оценки в метрике  $C^2$  и единственность выпуклой гомеоморфной сфере поверхности с заданной гауссовой кривизной в  $H^3$  // Вопросы глобальной геометрии: Сб. научн. трудов. – ЛГПИ им. Л. И. Герцена. – Л., 1979. – С. 64-68.
3. Филимонова А.П., Юрьева Т.А. Единственность решения уравнения Монжа-Ампера некоторого класса на сфере как двумерном многообразии // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – т № 6-5 (48). – С. 107-110.

#### References

1. Vereshhagin B.M. Vosstanovlenie zamknoy vyukloj poverhnosti po dannoj funkcii gaussovoj krivizny // Voprosy global'noj geometrii: Sb. nauchn. trudov. – LGPI im. L. I. Gercena. – L., 1979. – P. 7-12.
2. Filimonova A.P. Ocenki v metrike  $C^2$  i edinstvennost' vyukloj gomeomorfnoj sfere poverhnosti s zadannoj gaussovoj kriviznoj v  $H^3$  // Voprosy global'noj geometrii: Sb. nauchn. trudov. – LGPI im. L. I. Gercena. – L., 1979. – P. 64-68.
3. Filimonova A.P., Jur'eva T.A. Edinstvennost' reshenija uravnenija Monzha-Ampera nekotorigo klassa na sfere kak dvumernom mnogoobrazii // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. – 2016. – t № 6-5 (48). – P. 107-110.

**НАУКИ О ЗЕМЛЕ / SCIENCE ABOUT THE EARTH**

DOI: 10.18454/IRJ.2016.51.062

Васильев Н.И.<sup>1</sup>, Большунов А.В.<sup>2</sup>, Дмитриев А.Н.<sup>3</sup>, Подоляк А.В.<sup>4</sup>, Сербин Д.В.<sup>5</sup><sup>1</sup>Профессор, доктор технических наук, <sup>2</sup>доцент, кандидат технических наук, <sup>3</sup>доцент, кандидат технических наук, <sup>4</sup>кандидат технических наук, <sup>5</sup>аспирант,  
Санкт-Петербургский горный университет*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант 14-27-00030***СПУСКОПОДЪЕМНОЕ УСТРОЙСТВО С ПОЛИСПАСТНОЙ СИСТЕМОЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОДЛЕДНИКОВОГО ОЗЕРА «ВОСТОК»****Аннотация**

В статье рассмотрены вопросы, связанные с техническим обеспечением дальнейших исследований подледникового озера Восток в Антарктиде. Указаны условия, без соблюдения которых невозможно проведение исследований озера с использованием скважины 5Г-2. Рассмотрена принципиальная конструкция доставочного снаряда. Поставлены задачи для проектирования спускоподъемного устройства доставочного снаряда. Подробно рассмотрен вариант спускоподъемного устройства на основе полиспастной системы.

**Ключевые слова:** Антарктида, озеро Восток, спускоподъемное устройство с полиспастной системой.Vasilev N.I.<sup>1</sup>, Bolshunov A.V.<sup>2</sup>, Dmitriev A.N.<sup>3</sup>, Podoliak A.V.<sup>4</sup>, Serbin D.V.<sup>5</sup><sup>1</sup>Professor, PhD in Engineering, <sup>2</sup>Associate Professor, PhD in Engineering, <sup>3</sup>Associate Professor, PhD in Engineering, <sup>4</sup>PhD in Engineering, <sup>5</sup>Postgraduate Student,  
Saint-Petersburg mining university*The work was financially supported by the Russian Science Foundation, grant 14-27-00030***PULLING-AND-RUNNING GEAR WITH REEVING SYSTEM FOR INVESTIGATIONS OF SUBGLACIAL LAKE VOSTOK****Abstract**

The paper reviews challenges associated with technical support of further investigations of Subglacial Lake Vostok in Antarctica. It outlines prerequisites indispensable for further surveys of Subglacial Lake Vostok using Borehole 5G-2. A conceptual design of the delivery vehicle is proposed. The paper formulates goals for designing the pulling-and-running gear of the delivery vehicle. A design of a pulling-and-running gear based on the reeving system is studied in details.

**Keywords:** Antarctica, Lake Vostok, Borehole 5G-2, pulling-and-running gear with reeving system.

В Антарктике насчитывается более двухсот подледниковых озер [1], которые определяются как скопление воды во впадине коренного ложа под ледником [2]. Озеро Восток является крупнейшим из них, и согласно проведенным российскими специалистами и учеными исследованиям [3, 4] имеет следующие характеристики:

- протяженность береговой черты озера Восток составляет 1030 км, включая 70 км, приходящиеся на острова;
- площадь водного зеркала равна 15,5 тыс. км<sup>2</sup>, исключая 70 км<sup>2</sup> территории островов;
- водное зеркало располагается на абсолютных высотах, приблизительно от – 800 м в северной части и до –200 м в южной по отношению к уровню моря, его уклон составляет около 0,12°;
- средняя толщина водного слоя составляет около 410 м; объем водного тела – около 6343 км<sup>3</sup>.

Озеро Восток подразделяется на две неравные по размерам части [4]. Первая из них (южная) является наиболее глубоководной, но меньшей по размеру. Она занимает территорию приблизительно 70×30 км. Преимущественные толщины водного слоя здесь составляют около 800 м. Вторая часть (северная) является относительно мелководной. Она занимает территорию приблизительно 180×60 км. Средняя толщина водного слоя – около 300 м.

Подледниковое озеро Восток было вскрыто 5 февраля 2012 г. в 20.25 МСК [1]. Глубина скважины по длине ледяного керна составила 3769,3 м. Работы по вскрытию в озеро велись сотрудниками Санкт-Петербургского государственного горного университета и Арктического и антарктического НИИ.

Основными направлениями дальнейших исследований таких уникальных систем, как озеро Восток являются [1]:

- изучение биоразнообразия флоры и фауны, обитающих в подобных природных объектах;
- исследование законов эволюции живых организмов, которые на протяжении нескольких миллионов лет не имели контакта с атмосферой;
- исследование земной коры под ледяным щитом Антарктиды с целью познания ее состава и структуры до начала процесса оледенения южного полярного региона (30–40 млн лет назад);
- отработка технологий и инженерных решений в земных условиях для их последующего применения в космических исследованиях по поиску живых организмов на других объектах Солнечной системы.

Проведение данных исследований не возможно без соблюдения ряда важнейших условий:

- экологической безопасности работ;
- устойчивости стенок части скважины, заполненной озерной водой;
- надежности и безотказности работы всех механизмов и систем устройства доставки научно-исследовательской аппаратуры в озеро.

Экологическая безопасность работ состоит в исключении возможности попадания в воду озера современных микроорганизмов и опасных веществ (керосина и фреона, используемых в качестве заливочной жидкости), что достигается за счет монтажа всего оборудования, контактирующего с озерной водой, в «чистой» комнате, где возможна его дезинфекция, а также за счет поднятия уровня озерной воды в скважину на высоту до 10 метров.

Устойчивость стенок скважины, заключается в недопущении намерзания воды, поднимаясь в скважину, на ее стенки. Намерзание воды приводит к уменьшению диаметра скважины и к заклиниванию в скважине доставочного снаряда, которого можно избежать путем нагрева воды нагревательными элементами, расположенными вдоль стенок доставочного снаряда.

Надежность и безотказность работы всех механизмов и систем доставочного снаряда могут быть обеспечены за счет использования в его конструкции проверенных узлов бурового снаряда и вновь спроектированных и испытанных в лабораторных и полевых условиях механизмов и систем, обеспечивающих доставку научно-исследовательской аппаратуры в озеро.

Доставочный снаряд [5] (рис. 1) состоит из четырех отсеков, обладающих различной степенью герметизации: кабельного замка 1, электрического отсека 2, моторного отсека 3 и лебедочного отсека 4.

Для крепления снаряда к грузонесущему кабелю используется стандартный кабельный замок, входящий в используемые буровые снаряды. В электрическом отсеке выполняется соединение токоведущих жил грузонесущего кабеля с энергопотребителями снаряда. Так же в нем закреплен герметичный электронный блок, через который осуществляется телеметрический контроль и управление работой снаряда.

Моторный и лебедочный отсеки изолированы от окружающей среды. В данных отсеках при проведении спускоподъемных операций в автоматическом режиме поддерживается давление равное давлению в затрубном пространстве, для чего используются стандартные сильфоны. Эти два отсека изолированы друг от друга, и заполнены разными жидкостями. Моторный отсек заполнен экологически чистой кремний органической жидкостью, а лебедочный – дистиллированной водой. В лебедочном отсеке располагается спускоподъемное устройство и научно-исследовательский модуль, посредством которого будет осуществляться проведение мониторинга озерной среды и поверхности дна подледного озера Восток.

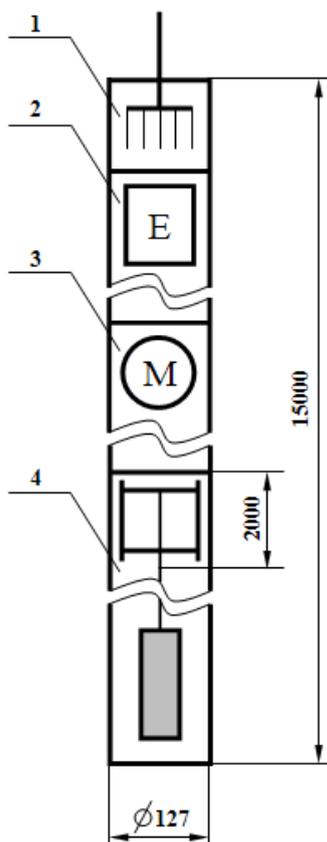


Рис. 1 – Принципиальная схема доставочного снаряда (рисунок выполнен без соблюдения масштаба)

Для перемещения научно-исследовательского модуля в толще озерной воды необходимо спроектировать спускоподъемное устройство, отвечающее следующим техническими параметрами:

- габаритные размеры – длина до 2000 мм, диаметр до 110 мм;
- канатоемкость до 700 м;
- масса спускаемого научно-исследовательского модуля до 20 кг;
- скорость перемещения научно-исследовательского модуля 0,25 м/с.

Проведенный анализ серийно выпускаемых спускоподъемных устройств показал, что ни один из них не удовлетворяет заданным требованиям, и в первую очередь габаритным размерам. Специфика вскрытия подледникового озера определила необходимость разработки принципиально новой конструкции спускоподъемного устройства.

В данной статье подробно рассмотрено спускоподъемное устройство с полиспадной системой, кинематическая схема которой представлена на рисунке 2.

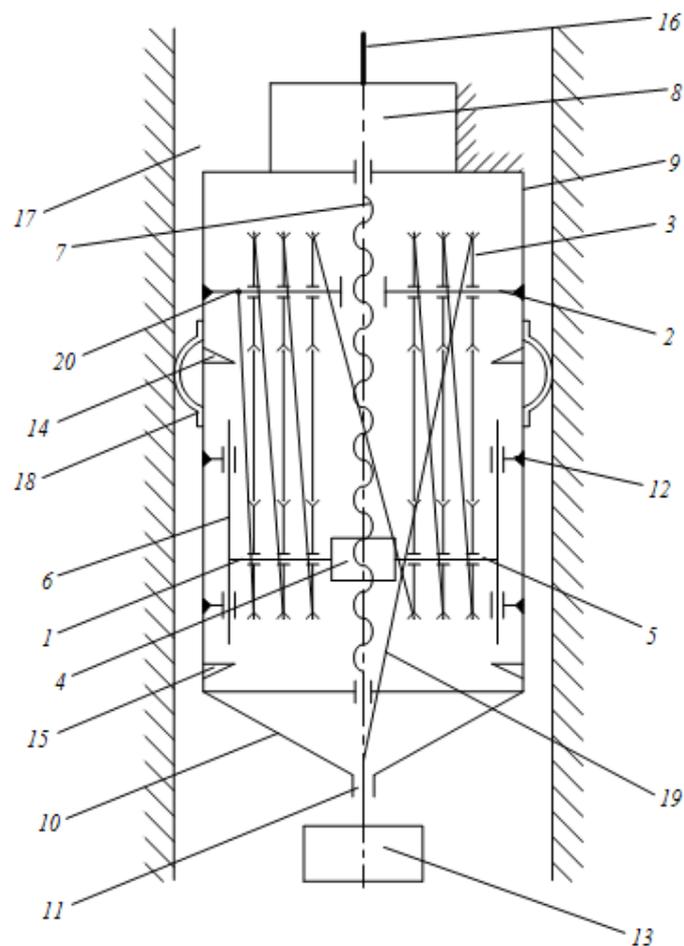


Рис. 2 – Кинематическая схема полиспастного спускоподъемного устройства

Полиспастное спускоподъемное устройство содержит подвижную 1 и неподвижную 2 обоймы с роликами 3. Подвижная обойма 1 выполнена с гайкой 4, жестко соединенной с осью вращения 5 роликов 3 и имеет направляющие стержни 6.

Винт 7 соединен с гайкой 4 и связан с электромеханическим приводом 8, который установлен на корпусе 9 спускоподъемного устройства. Само устройство выполнено в виде цилиндрической трубы и снабжено коническим днищем 10 с центральным отверстием 11 и неподвижными продольными направляющими 12, смонтированными на его внутренней поверхности. Перемещение подвижной обоймы 1 осуществляется парой винт 7 – гайка 4.

Стержни 6 взаимодействуют с продольными направляющими 12 корпуса 9, обеспечивая возвратно-поступательное перемещение подвижной обоймы 1 вдоль оси корпуса 9. Для обеспечения подъема и опускания научно-исследовательского модуля 13 на заданную глубину в корпусе 9 установлены верхние 14 и нижние 15 упоры с конечными выключателями.

При этом расстояние между упорами  $h$  обратно пропорционально кратности полиспаста  $n$  и составляет  $h = H/n$ , где  $H$  – глубина спуска.

Электромеханический привод спускоподъемного устройства обеспечивается электроэнергией через кабель 16. Для фиксации и центрирования корпуса 9 относительно стенок доставочного снаряда 17 предусмотрена упругая манжета 18, охватывающая корпус 9 с внешней стороны. Соединение спускоподъемного устройства с доставочным снарядом может быть выполнено и через жесткое соединение.

Грузонесущий трос 19 одним концом закреплен на оси 20 неподвижной обоймы 2 и запасован в ручьях роликов 3 подвижной 1 и неподвижной 2 обойм. Свободный конец троса 19 пропущен через отверстие 11 днища 10 и связан с научно-исследовательским модулем 13.

Работа полиспастного спускоподъемного устройства осуществляется следующим образом. В исходном положении подвижная обойма 1 с роликами 3 находится в крайнем нижнем положении. При этом длина грузонесущего троса 19, находящаяся внутри устройства, максимальна.

При включении двигателя привода 8 приводится во вращение винт 7, взаимодействующий с гайкой 4 подвижной обоймы 1 и начинается перемещение подвижной обоймы вверх. Длина ветвей грузонесущего троса 19, находящаяся внутри устройства уменьшается, и научно-исследовательский модуль 13 движется вниз. В момент, когда верхние концы стержней 6 войдут в контакт с верхними упорами 14 корпуса 9, конечные выключатели отключат двигатель привода 8. Научно-исследовательский модуль 13 опускается на заданную глубину  $H = h \cdot n$ . Подъем груза 13 осуществляется реверсированием привода 8, при этом подвижная обойма 1 опускается вниз.

Полиспастная система устройства смонтирована в корпусе, выполненном в виде цилиндрической трубы, диаметр которой составляет 0,9 внутреннего диаметра доставочного снаряда.

На данную кинематическую схему получен патент RU № 2565848.

Основными достоинствами спускоподъемного устройства с полиспастной системой являются:

- простота и надежность конструкции, позволяющая эффективно эксплуатировать устройство в сложных климатических условиях Антарктиды;
- постоянные скорости спуска и подъема научно-исследовательского модуля, позволяющие наиболее эффективно вести различные наблюдения и измерения.

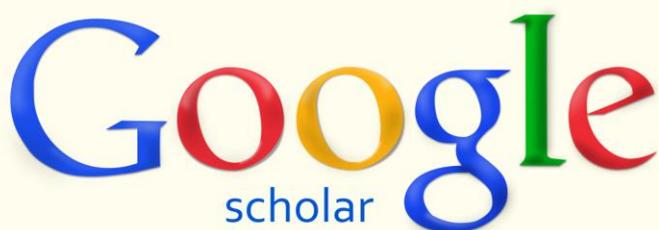
Однако, спускоподъемное устройство с полиспастной системой имеет ограниченную область применения. Стесненные условия расположения блоков в трубе малого диаметра, не позволяют создавать полиспастную систему с большой кратностью и канатоемкостью. Поэтому предполагается использовать спускоподъемное устройство с полиспастной системой при исследовании верхних водных слоев подледникового озера Восток.

#### Литература

1. Лукин В.В. Путь к изучению вод озера Восток открыт // Проблемы Арктики и Антарктики. 2012. № 1(91). С. 5–19.
2. Котляков В.М., Комарова А.И. География. Понятия и термины: Пятиязычный академический словарь. М.: Наука, 2007. 859 с.
3. Антарктика. Геоморфологический атлас. СПб.: Изд-во «Карта», 2011. 255 с.
4. Масолов В.Н., Попов С.В., Лукин В.В., Попков А.М. Рельеф дна и водное тело подледникового озера Восток, Восточная Антарктида // ДАН. 2010. Т. 433. № 5. С. 693–698.
5. Lukin, V.V. and N.I. Vasiliev, Technological aspects of the final phase of drilling borehole 5G and unsealing Vostok Subglacial Lake, East Antarctica. *Annal. Glaciol.*, 55(65). 83–89.

#### References

1. Lukin V.V. Put` k izucheniju vod ozera Vostok otkryt // Issues of Arctic and Antarctic. 2012. № 1(91). S. 5–19.
2. Kotlyakov V.M., Komarova A.I. Geographia. Ponyatia i terminy: Piatyazychiy akademicheskij slovar'. Moscow: Nauka, 2007. 859 s.
3. Antarktika. Geomorfologicheskij Atlas. St. Petersburg: "Karta" Publishing House, 2011. 255 s.
4. Masolov V.N., Popov S.V., Lukin V.V., Popkov A.M. Rel'ef dna i vodnoe telo podlednikovogo ozera Vostok, Vostochnaia Antarktida // DAN. 2010. P. 433. № 5. S. 693-698.
5. Lukin, V.V. and N.I. Vasiliev, Technological aspects of the final phase of drilling borehole 5G and unsealing Vostok Subglacial Lake, East Antarctica. *Annal. Glaciol.*, 55(65). 83–89.



*Международный научно-исследовательский журнал включен в базу научного цитирования **Google Scholar**.*

***Google Scholar** – поисковая система по полным текстам научных публикаций всех форматов и дисциплин. Наличие статей в **Google Scholar** увеличивает возможность цитируемости, не только в России, но и за рубежом.*

DOI: 10.18454/IRJ.2016.51.070

Ерохина А.И.<sup>1</sup>, Ковда И.В.<sup>2</sup>, Матышак Г.В.<sup>3</sup>, Боуттон Т.В.<sup>4</sup>, Моргун Е.Г.<sup>5</sup><sup>1</sup>Аспирант, Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, ф-т Почвоведения<sup>2</sup>старший научный сотрудник, кандидат географических наук, Институт географии РАН.<sup>3</sup>ведущий научный сотрудник, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, факультет Почвоведения, <sup>4</sup>Ведущий профессор, Техасский АиМ Университет, факультет экологии и рационального использования<sup>5</sup>доцент, кандидат биологических наук, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Факультет Почвоведения

**СПОСОБНОСТЬ ФИКСАЦИИ АТМОСФЕРНОГО УГЛЕРОДА ПОЧВАМИ РУССКОЙ РАВНИНЫ И СТРУКТУРА УГЛЕРОДНОГО ПУЛА В ПОЧВАХ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

*Аннотация*

На основании литературных материалов и оригинальных экспериментальных исследований рассматриваются актуальные вопросы депонирования углерода почвами из атмосферы с целью оценки возможностей почвенного резервуара для секвестирования техногенного углерода из атмосферы. В первой части авторами работы на основании литературных исследований результатов сооружения в 1950-1965 годах на Русской равнине ползащитных лесополос на площади 57090 км<sup>2</sup> рассчитаны величины депонирования органического углерода в почвах Русской равнины в результате этого хозяйственного мероприятия. Сделан вывод о том, что, несмотря на значительное увеличение углерода в почвах при облесении, объем почвенного резервуара недостаточен для депонирования техногенных выбросов промышленности России. Во второй части для выяснения возможностей увеличения емкости резервуара и, как минимум, предотвращения потерь углерода приводятся результаты экспериментального исследования структуры фиксации углерода в почвенном резервуаре на примере основных зональных почв Русской равнины.

**Ключевые слова:** фиксация углерода в почвах, объем резервуара почвенного углерода, баланс углерода в системе почва-атмосфера, структура углеродного пула в почве, органический углерод в почвах Русской равнины.

Erokhina A.I.<sup>1</sup>, Kovda I.V.<sup>2</sup>, Matishak G.V.<sup>3</sup>, Boutton Thomas W.<sup>4</sup>, Morgun E.G.<sup>5</sup><sup>1</sup>Postgraduate student, Lomonosov Moscow State University, Dep. of Soil Science<sup>2</sup>Senior Researcher, PhD in Geography, Institute of Geography, Russian Academy of Sci.<sup>3</sup>Leading Researcher, Lomonosov Moscow State University, Dep. of Soil Science.<sup>4</sup>Regents Professor, Texas A&M University, Department of Ecosystem Science and Management<sup>5</sup>Associate professor, PhD in Biology, Lomonosov Moscow State University, Dep. of Soil Science

**SOIL CARBON STORAGE AND STRUCTURE OF IT'S POOL IN THE EAST EUROPEAN PLAIN: ROLE OF CLIMATE, LAND COVER, AND LAND USE**

*Abstract*

Using the published materials and original experimental research devoted to the soil carbon sequestration by the soils from the atmosphere the problem of the soil reservoir capacity is investigated. In the first part of paper the quantities of organic carbon sequestration by soils of Russian Plain were calculated. For this purposes the results of scientific investigation of the shelter belts constructed over the area of 57090 km<sup>2</sup> during 1950-1965 were used. Despite a significant increase of soil carbon under afforestation the soil reservoir volume is not sufficient to deposit the volume of emissions of carbon from fossil fuel combustion from Russian industry. In the second part of the paper to find out the possibilities of increasing the carbon soil reservoir capacity and, as a minimum, to prevent carbon losses from soil the experimental study of the structure of carbon fixation in the soil reservoir using the example of the main zonal soil of the Russian Plain was investigated.

**Keywords:** carbon sequestration, structure of soil carbon pool, carbon in soils of Russian Plain, volume of carbon reservoir.

**В**ажнейшая глобальная функция почвенного покрова – регуляция биогеохимических потоков в биосфере – реализуется в числе прочих в виде углеродного обмена между почвой и атмосферой. К настоящему времени хорошо известно, что CO<sub>2</sub>, как парниковый газ, способен влиять на температурный режим ландшафтной оболочки Земли. Запас С в почвах Земного шара составляет 1,6×10<sup>12</sup> т, что значительно меньше, чем его запас, содержащийся в осадочной оболочке (81×10<sup>15</sup> т), а также не превышает массу углерода в мировом океане (40,6×10<sup>12</sup> т) (Добровольский, 1998). Однако уникальность почвенного резервуара углерода состоит в том, что он, очевидно, более активен в современной биосфере, чем первый, и более устойчив или консервативен, чем второй. Особенности почвенного резервуара углерода обусловлены его открытостью - пространственным граничным положением в биосфере и специфическими внутренними свойствами - вещественной и структурной гетерогенностью почвенной среды, в которой формируются и существуют соединения углерода, а также термодинамической устойчивостью в современной обстановке самих почвенных соединений углерода. Это дает определенные основания рассматривать почвенный покров как возможных резервуар для аккумуляции углерода, поступающего в атмосферу в результате техногенных явлений. В связи с этим актуальными становятся два вопроса: 1) какова емкость почвенного резервуара углерода и ее достаточность по отношению к объему техногенным выбросам и 2) каковы процессы и структура фиксации углерода в этом резервуаре. В этом аспекте основной интерес представляет создание оптимальных условий для его функционирования, прежде всего предотвращения потерь углерода в атмосферу и, по возможности, увеличения емкости резервуара. Исходя из перечисленных вопросов формулировалась **цель настоящей экспериментальной работы:** оценить возможности и структуру фиксации атмосферного углерода на примере основных зональных почв Русской Равнины.

## Объекты и методы

1. Для оценки способности почвенного резервуара секвестрировать атмосферный углерод использовались историко-хозяйственные события и научные литературные данные. К ним относятся а) данные по созданию системы крупных государственных защитных лесных полос и развитию защитных лесонасаждений на полях колхозов и совхозов в Европейской части СССР (Постановление Совмина СССР, ЦК ВКП(б) от 20.10.1948 № 3960). б) работы П. Е. Соловьева (1967), Д. Г. Щепаченко с соавторами (2013) и данные по техногенной эмиссии CO<sub>2</sub> (2013).

Объектами исследования в этом разделе работы были почвы лесостепи, степи, сухой степи и полупустыни, которые подверглись полезащитному облесению, а также их пахотные аналоги, занимающие, как правило, смежное территориальное положение к первым. В этот набор входили обыкновенный, предкавказский и южный черноземы, темно-светло- и каштановые почвы, бурая полупустынная почва (Классификация и диагностика почв СССР, 1977).

2. Структура фиксации органического углерода в почве оценивалась путем фракционирования почвенного материала по размеру частиц и их плотности с использованием в качестве тяжелой жидкости раствор поливольфрамата натрия (3Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>•9WO<sub>3</sub>•H<sub>2</sub>O). Его проводили в соответствии с методикой Шаймухаметова с соавторами (1984). Некоторые второстепенные изменения этой методики потребовались и были сделаны для использования в ней поливольфрамата натрия вместо бромформа (Моргун, Макаров, 2011).

В результате использования этих процедур были выделены следующие фракции свободного органического вещества: 1) корни, 2) <1,8 г/см<sup>3</sup>, >50 мкм, 3) <1,8 г/см<sup>3</sup>, <50 мкм, и органического вещества, связанного с минеральными компонентами почв: 4) 2 – 0,2 мкм, 5) <0,2 мкм, 6) >2 г/см<sup>3</sup>, <2 мкм 7) >2 г/см<sup>3</sup>, >2 мкм. Предполагалось, что по сравнению с существующими методами фракционирования почвы для характеристики органического вещества выделенные фракции наиболее адекватно отражающих его нативное состояние в почве и обладают, как предполагается, определенной генетической и функциональной самостоятельностью. В выделенных почвенных фракциях и корнях определялось содержание С и N. Измерения проводили с помощью элементного анализатора EA 1108 (Carlo Erba, Lakewood, NJ, USA). Перед анализом материал фракций подвергался фумигированию парами концентрированной HCl для удалению углерода карбонатов.

Объектами исследования в этом разделе работы являются почвы зонального ряда Европейской территории России. Кроме того, исследованы биоценоотические вариации чернозема (заповедный участок, непаханая, но ежегодно косимая степь, пастбище, вечный пар) на примере Курского биосферного заповедника им. В.В.Алехина. Используемый в набор объектов представляет довольно широкий ряд экологических условий. Интервал средних годовых температур лежит в пределах -9 ÷ +10,2°C, годовое количество осадков колеблется от 1200 мм до 250 мм. Эти параметры характерны для таких биоклиматических поясов Русской равнины и сопредельных территорий как арктическая пустыня – тундра – южная тайга – лесостепь – степь – сухая степь – полупустыня. В этих климатических условиях исследовались пелозём потёчно-гумусовый мерзлотный, криозем глееватый, криозем грубо-гумусовый глееватый, подзол языковатый, дерново-подзолистая почва, серая, чернозем миграционно-мицеллярный, чернозем сегрегационный, каштановая, бурая аридная почва (Классификация и диагностика почв России, 2004)

Подчеркнем, что этот набор объектов представляет вполне репрезентативную и достаточно полную выборку основных типов почвообразования в северном полушарии. Уникальность этого зонального ряда определяется его расположением на Русской равнине, поскольку здесь зональность природных условий, широтное ее проявления является наиболее ярко выраженным по сравнению с ситуацией на других континентах и регионах суши (Вальтер, 1976).

## Результаты и их обсуждение

Фактическую возможность для оценки емкости почвенного резервуара органического углерода предоставила крупнейшее государственное мероприятие по созданию полезащитных лесонасаждений на Европейской части СССР в течение 1950-1965 годов (Постановление..., 1948). Предполагалось высадить лесополосы на обширном пространстве Русской равнины, включающем лесостепную, степную, сухостепную и полупустынную природные зоны на площади 57090 км<sup>2</sup>. Эти пространства включали черноземы различных подтипов, каштановые почвы, все подтипы каштановых почв, бурые почвы. Площадь территории, облесенной в результате сооружения лесополос, очевидно, определялась проектом как оптимальная как с сельскохозяйственной и экологической, так и с экономической и технологической точек зрения. В последующие годы проводились активные почвенные исследования по влиянию лесных насаждений на почвы степей. Наиболее заметной в этом направлении стала работа П.Е.Соловьева (1967), охватывавшая наиболее широкий спектр почвенно-экологических зональных условий и содержащая в основе всеобъемлющий на то время фундаментальный экспериментальный материал. В числе прочих были получены данные по содержанию органического углерода для почв под лесополосами и их соседними пахотными аналогами в степи. Этот материал свидетельствовал о том, что под лесными насаждениями во всех условиях происходило накопление органического углерода, а также дал возможность рассчитать величины его накопления за известное время роста лесонасаждения.

Оценка запасов органического углерода некоторых ареалов почвенных разностей Русской равнины рассчитана с использованием данных Щепаченко с соавторами (2013) и приведена в таблице. Все обследованные почвы депонировали дополнительное количество атмосферного углерода при облесении. Как и следовало ожидать, максимальный запас органического углерода находится в черноземах и каштановых почвах. Эти же почвы оказываются способными к максимальной фиксации дополнительного количества углерода при создании благоприятных условий для его накопления.

Таблица 1 – Запасы органического углерода и аккумуляция углерода из атмосферы в течение 30-50 лет основными почвами Русской Равнины в результате сооружения системы полезащитных лесных полос

Почва и природная зона	Запас органического С для почвенного ареала (Пг). Подстилка и метровый слой почвы под ней	Площадь лесонасаждений (км <sup>2</sup> )	Аккумуляция атмосферного С в почве в результате полезащитного лесонасаждения (Пг)
Дерново-подзолистые почвы, южная тайга	13,7	Лесополосы не создавались	Лесополосы не создавались
Серые лесные почвы, лесостепь	6,8	Лесополосы не создавались	Лесополосы не создавались
Чернозем, степь	21,3	36 460	0,1
Каштановые, степь, сухая степь		7 770	0,03
Бурые, полупустыня	1,2	660	0,0006
Крупные государственные лесополосы	Не рассчитывался; включают различные почвенные разности	1 120	0,003
В целом	53,2	46 010	0,1336

Как известно из справочных данных (Fossil-Fuel CO<sub>2</sub>, 2013) эмиссия CO<sub>2</sub> при сжигании ископаемого топлива и при производстве цемента в России на примере 2011 года составляла 0,46 Пг. Таким образом, возможности почвенного покрова как резервуара техногенного углерода далеко недостаточны для депонирования даже однолетних техногенных выбросов углерода. Таким образом, атмосферный углерод, который может дополнительно секвестрирован почвой составляет лишь незначительную величину по сравнению с запасами углерода в почвах Русской равнины.

Тем не менее, почва является активным современным резервуаром атмосферного углерода, способным сохранять его соединения в термодинамически устойчивой форме. В связи с этим, следующий этап работы состоял в выяснении структуры фиксации углерода в почве.

Содержание органического углерода в гумусо-аккумулятивном горизонте почв демонстрирует хорошо известную биогеографическую закономерность увеличения концентрации от 1,1 % в почвах арктических пустынь к целинным степным почвам, где его содержание достигает 3,9-5,8 % и далее к югу уменьшается до 0,6 % в почвах полупустынь. Наибольшее содержание органического углерода (5,8 %) обнаружено в целинных черноземах под естественной растительностью, которая ежегодно скашивалась и на участках почв с умеренным выпасом. В условиях абсолютно заповедного режима без выпаса и кошения содержание углерода не превышало 3,9 %. Вероятно, в доисторические времена формированию имеющихся в настоящее время высокогумусных почв способствовало интенсивное поедание растительности многочисленными стадами травоядных животных. В пользу этой гипотезы свидетельствует также геоботаническая аргументация (Walter, 1968). По сравнению со естественным степным состоянием, почвенный органический углерод увеличивается в таких же почвах под лесными насаждениями и уменьшается в культивируемых почвах. Уменьшение содержания органического углерода при обработке наблюдается повсеместно. Наибольшая концентрация углерода (10-34 % от веса фракции) наблюдалась во фракции свободного органического вещества (<1.8 г/см<sup>3</sup> <50 и >50 μm). Наименьшее содержание углерода (2-13% от веса фракции) было ассоциировано с илстой фракцией. Тем не менее, в связи с количественным преобладанием компонентов минеральной матрицы, большая часть почвенного органического пула представлена не свободными органическими соединениями, а сорбированными на минеральной матрице (50-76 % от почвенного С). В почвах холодных областей (арктическая пустыня, тундра, альпийская зона) органический углерод стабилизируется преимущественно в виде свободного органического вещества.

В результате проведенных исследований можно утверждать, что почвенный резервуар углерода не может в ходе природного его функционирования секвестрировать из атмосферы объемы углерода, выбрасываемого в атмосферу из-за сжигания горючих ископаемых и производства цемента. Тем не менее, можно рассчитывать депонирование в почвенном резервуаре некоторых количеств углерода из атмосферы. При этом необходимо учитывать уникальную особенность почвенного органического пула - наличие сложной структуры, элементы которой, по-видимому, имеют индивидуальные механизмы своего функционирования (синтеза и минерализации).

#### Литература

1. Добровольский В.В. Основы биогеохимии // М.: Высшая школа, 1998. 413 с.
2. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
3. Классификация и диагностика почв СССР. Колос. 1977. 225 с.
4. Моргун Е.Г., Макаров М.И. Использование поливольфрамата натрия при грануло-денсиметрическом фракционировании почвенного материала // Почвоведение. 2011. № 4. С. 433-438.
5. Соловьев П.Е. Влияние лесных насаждений на почвообразовательный процесс и плодородие степных почв. МГУ. 1967. 290 с.
6. Шаймухаметов М.Ш., Титова Н.А., Травникова Л.С., Лебенец Е.М. Применение физических методов фракционирования для характеристики органического вещества почв // Почвоведение. 1984. № 8. С. 131-141.
7. Щепашенко Д. Г., Мухортова Л. В., Швиденко А. З., Ведрова Э. Ф. Запасы органического углерода в почвах России // Почвоведение. 2013. № 2. С. 123-132.
8. Walter, H. Die Vegetation der Erde in öko-physiologischer Betrachtung. Bd II. Die gemassigten und arktischen Zonen. VEB Gustav Fisher, Verlag. Jena. 1968.

## References

1. Dobrovolskiy V. V. Osnovy biogehimii [Basics of the biogeochemistry] // M.: Vysshaya shkola [Higher school], 1998. 413 p. [in Russian]
2. Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii [Classification and diagnostics of the soils of Russia]. Smolensk: Ojkumena, 2004. 342 p. [in Russian]
3. Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR. [Classification and diagnostics of the soils of the USSR]. Kolos. 1997. 225 p. [in Russian]
4. Morgun E. G., Makarov M. I. Ispolzovanie polivol'framata natriya pri granulo-densimetricheskom frakcionirovanii pochvennogo materiala [Using the sodium polytungstates in granule-densitometric fractionation of the soil material] // Pochvovedenie [Soil Science]. 2011. № 4. P. 433-438. [in Russian]
5. Solov'yov P. E. Vliyanie lesnyh nasazhdenij na pochvoobrazovatelnyj process i plodorodie stepnyh pochv [Effect of the foresting on soil formation and fertility of the steppe soils]. MGU [MSU]. 1967. 290 p. [in Russian]
6. Shajmuhametov M. Sh., Titova N. A., Travnikova L. S., Lebenec E. M. Primenenie fizicheskikh metodov frakcionirovaniya dlya harakteristiki organicheskogo veshstva pochv [Application of the physical fractionation methods for the characteristic of soil organic matter] // Pochvovedenie [Soil Science]. 1984. № 8. P. 131-141. [in Russian]
7. Schepaschenko D. G., Muhortova L. V., Shvidenko A. Z., Vedrova Je. F. Zapasy organicheskogo ugleroda v pochvah Rossii [Stock of the organic carbon in Russian soils] // Pochvovedenie [Soil Science]. 2013. № 2. P. 123-132. [in Russian]
8. Walter, H. Die Vegetation der Erde in öko-physiologischer Betrachtung. Bd II. Die gemässigten und arktischen Zonen. VEB Gustav Fisher, Verlag. Jena. 1968.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.51.091

Насибуллин Р.М.<sup>1</sup>, Мирсаатов О.М.<sup>2</sup>, Ахмадуллин К.Б.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ведущий инженер ОАО «Удмуртнефть», <sup>2</sup>доцент кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений Альметьевского государственного нефтяного института, кандидат технических наук, доцент, <sup>3</sup>ведущий инженер ООО «Нефттрейд-Удмуртия»

### ПОВЫШЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ПОЛИМЕРНОГО ВОДОИЗОЛИРУЮЩЕГО ЭКРАНА В ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЕ ДОБЫВАЮЩИХ СКВАЖИН

#### Аннотация

Статья посвящена анализу причин деструкции полимерной оторочки в условиях ее продвижения водой в черепетской залежи Мишкинского нефтяного месторождения. Установлено, что основной причиной деструкции является воздействие гидродинамического поля нагнетаемой воды, разрушающее водородные связи в молекуле полиакриламида. Выявлены условия повышения стойкости к разрушению водородных связей. Предложено технологическое решение для повышения стойкости водо родных связей. В статье приведены результаты исследований по изменению структурно-механических свойств и вытесняющих свойств раствора полиакриламида, определяющих стойкость полимерной оторочки к воздействию водой.

**Ключевые слова:** полимерная оторочка, полиакриламид, деструкция, гидродинамическое воздействие, водородные связи, электрохимическая обработка воды, структурно-механические свойства раствора.

Nasibullin R.M.<sup>1</sup>, Mirsayetov O.M.<sup>2</sup>, Akhmadullin K.B.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Chief Engineer of company "Udmurtneft" OJSC, <sup>2</sup>Associate Professor, Department of Development and Operation of Oil and Gas Fields, Almeyevsk State Oil Institute, PhD in Engineering, Associated Professor, <sup>3</sup>Chief Engineer of company "Neftrade-Udmurtia" LLC

### INCREASING THE STABILITY OF POLYMERIC WATER-PROOFING SCREEN IN THE BOTTOMHOLE AREA OF PRODUCTION WELLS

#### Abstract

The article analyzes the reasons for the destruction of a polymeric rim when it is moved by water in the Cheretskaya reservoir of the Mishkinskoye oil field. It has been revealed that the destruction is primarily caused by the action of the pumped water hydrodynamic field destructing hydrogen bonds in a polyacrylamide molecule. The conditions required to increase the resistance to hydrogen bond breakdown have been determined. A process solution to increase the strength of hydrogen bonds has been proposed. The article presents the results of studies of changes in structural and mechanical properties and displacing properties of the polyacrylamide solution defining the polymeric rim resistance to water.

**Keywords:** polymeric rim, polyacrylamide, destruction, hydrodynamic drag, hydrogen bonds, electrochemical water treatment, structural and mechanical properties of the solution.

В нефтепромысловой практике с целью ограничения притока воды к добывающим скважинам еще с середины прошлого века начали применять полиакриламид (ПАА). Добавки ПАА к воде при заводнении приводят к повышению вязкости воды, уменьшению соотношения подвижности воды и нефти, снижению возможности прорыва воды, обусловленной неоднородностью пласта. Вследствие необходимости закачки больших объемов ПАА в настоящее время предпочтение отдается технологиям с применением малообъемных закачек, с созданием водоизолирующей блокады в призабойной зоне добывающих скважин.

Другой причиной применения малообъемных закачек ПАА является нестабильность оторочек с большими объемами закачек ПАА. Однако, уместным было бы отметить, что нестабильность присуша и для малообъемных оторочек ПАА.

Целью данной работы является исследование причин нестабильности водоизолирующей массы ПАА и разработка способов повышения их стойкости к разрушению.

Проблеме стабильности полиакриламида (ПАА) и его водных растворов посвящено достаточно большое количество работ. Деструкция ПАА и его производных может происходить при получении, хранении, переработке и применении полимеров под действием света, тепла, ионизирующего излучения, механических напряжений и биологических факторов, а также при одновременном действии вышеуказанных факторов. Деструкция приводит к уменьшению вязкости ПАА, изменению его строения и физико-химических свойств.

Деструкция ПАА в водных растворах исследовалась в работах [1-8]. При этом установлено, что вязкость водных растворов ПАА уменьшается со временем. В работе [9] показано, что водные растворы ПАА неустойчивы к действию гидродинамического поля. В работе [10] выявлено уменьшение молекулярной массы ПАА при фильтрации его раствора через пористую среду. В работе [11] в качестве основной причины разрушения полимера названа микробиологическая деструкция водоизолирующей массы.

Анализ результатов опытно-промышленных работ по созданию и применению оторочки ПАА через нагнетательную скважину 1413 на Мишкинском месторождении (турнейский ярус, черепецкий горизонт, вязкость нефти 73 мПа·с), проведенный в рамках данных исследований, позволяет связать нестабильность полимерных оторочек с недостаточной высокими структурно-механическими свойствами водных растворов ПАА к действию гидродинамического поля. Обоснованием данного утверждения служит следующее. Сква.1411 была подключена под закачку раствора полиакриламида в 1977 году. Закачка раствора ПАА осуществлялась до 1998 года. Далее скв.1411 была переведена под закачку холодной необработанной воды для продавливания оторочки ПАА к эксплуатационным скважинам. На рисунке 1, и рисунке 2 представлены динамики обводненности и добычи нефти реагирующих скважин в зоне влияния нагнетательной скв. 1411.

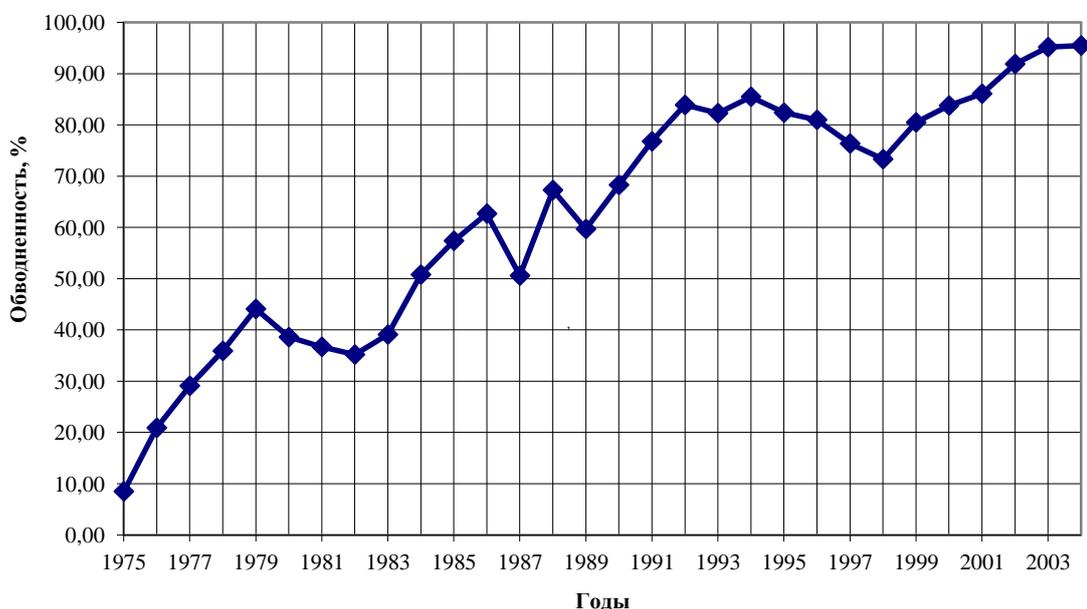


Рис. 1 – Динамика обводненности реагирующих скважин в зоне воздействия скв.1411 (Мишкинское месторождение)

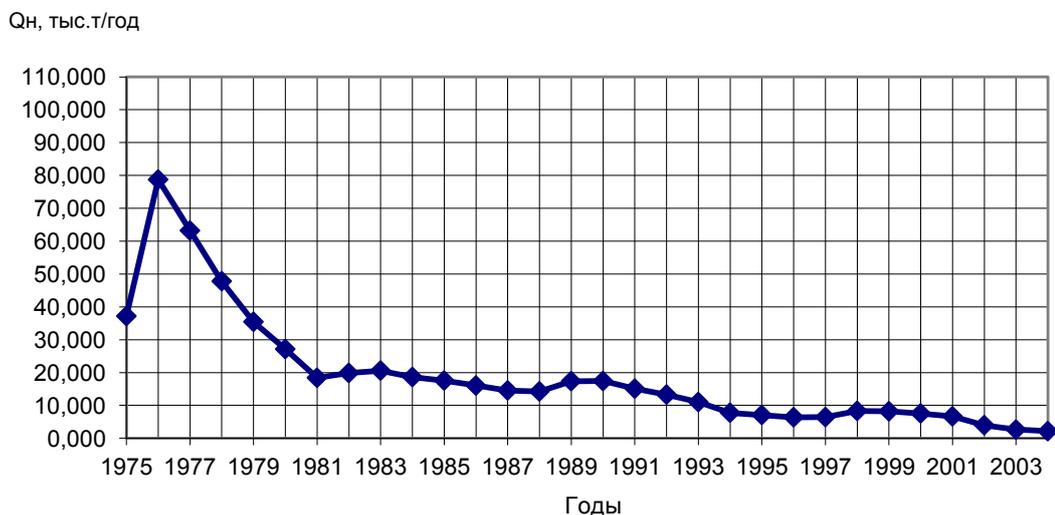


Рис. 2 – Динамика добычи нефти реагирующих скважин в зоне воздействия скв.1411 (Мишкинское месторождение)

Из графиков на рисунках 1 и 2 следует, что после завершения закачки ПАА и начала закачки холодной необработанной воды, после длительного и постепенного снижения, резко возросла обводненность продукции, а добыча нефти снизилась. Полученные результаты дают основание полагать, что основной причиной деструкции полимерной оторочки является недостаточная устойчивость водных растворов ПАА к действию гидродинамического поля воды.

При гидродинамическом воздействии происходит ослабление взаимодействия ПАА с водой. Изменения вязкости растворов ПАА можно объяснить изменением конформационного состояния макромолекул вследствие изменения внутримолекулярных взаимодействий за счет Н-связей различного типа. На рисунке 3 представлена схема внутримолекулярных изменений макромолекулы ПАА в воде.

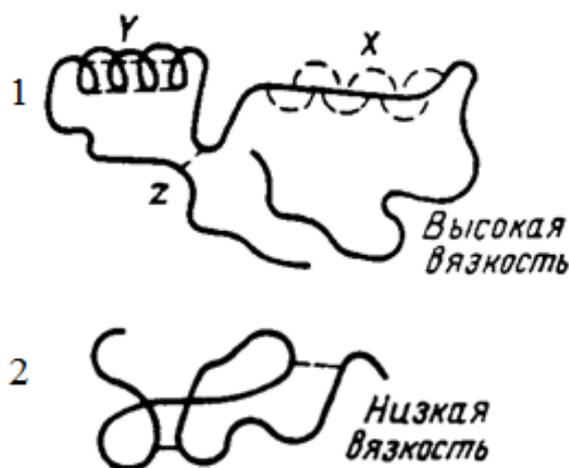


Рис.3 – Схема внутримолекулярных изменений макромолекулы ПАА в воде [12]: 1- начальное состояние; 2- конечное состояние; X,Y,Z - различные типы Н- связей

В исходных растворах ПАА увеличение вязкости раствора происходит за счет образования водородных Н-связей типа (X,Y,Z). После гидродинамического воздействия происходит разрушение Н-связей типа (X, Y) и сохраняются только Н-связи типа Z, что сопровождается уменьшением размера макромолекулярного клубка и понижением вязкости раствора полимера. Кроме того, образуются полимер-полимерные Н-связи, также приводящие к уменьшению размеров макромолекулярных клубков и гибкости макромолекул. В результате этих изменений затрудняется деформация и ориентация макромолекул в потоке, что снижает гидродинамическую стойкость ПАА. В связи с этим, необходимо решение проблемы повышения устойчивости водородных Н-связей типа (X, Y).

Теоретические исследования, направленные на поиск технических решений данной проблемы, позволили выявить условия повышения стойкости связей типа X, Y. Одним из условий является обмен водорода на дейтерий при его наличии в воде для растворения ПАА. Стойкость молекулы ПАА к действию гидродинамического поля воды при этом должна возрастать, так как энергия связи D-O на 2 ккал/моль больше, чем для связи H-O. Другим условием является значение величины pH. При увеличении pH более 10 происходит рост вязкости раствора ПАА [13].

В работе экспериментально установлено, что обозначенные условия могут быть реализованы при электрохимической обработке воды с минерализацией 6 г/л и pH = 6. В процессе электрохимической обработки воды происходит увеличение pH до 11 и образование малых концентраций дейтерия [14].

Вода после электрохимической обработки была использована для получения растворов ПАА. Исследования структурно-механических свойств проводились на растворах полиакриламида марки PDA-1020 с концентрацией 0,025%, 0,05%, 0,075%, 0,1% и 0,125%. Определение вязкости раствора и предельного динамического сопротивления сдвига производилось на ротационном вискозиметре ВСН-3.

На рисунке 4 приведены графические зависимости вязкости полимерного раствора от концентрации ПАА для полимерных растворов, приготовленных на необработанной воде (2) и воде, подвергнутой электрохимической обработке (1).

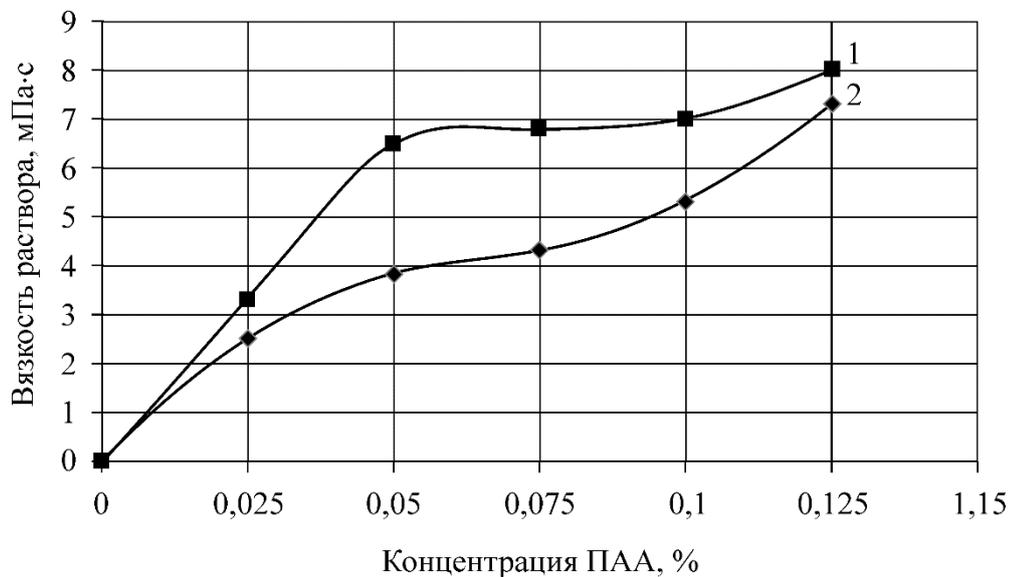


Рис.4 – Зависимость вязкости полимерного раствора от концентрации ПАА: 1- полимерный раствор приготовлен на воде, подвергнутой электрохимической обработке; 2- полимерный раствор приготовлен на необработанной воде

На рисунке 5 приведены графические зависимости предельного динамического сопротивления сдвига от концентрации ПАА для полимерных растворов, приготовленных на необработанной воде (2) и воде, подвергнутой электрохимической обработке (1).

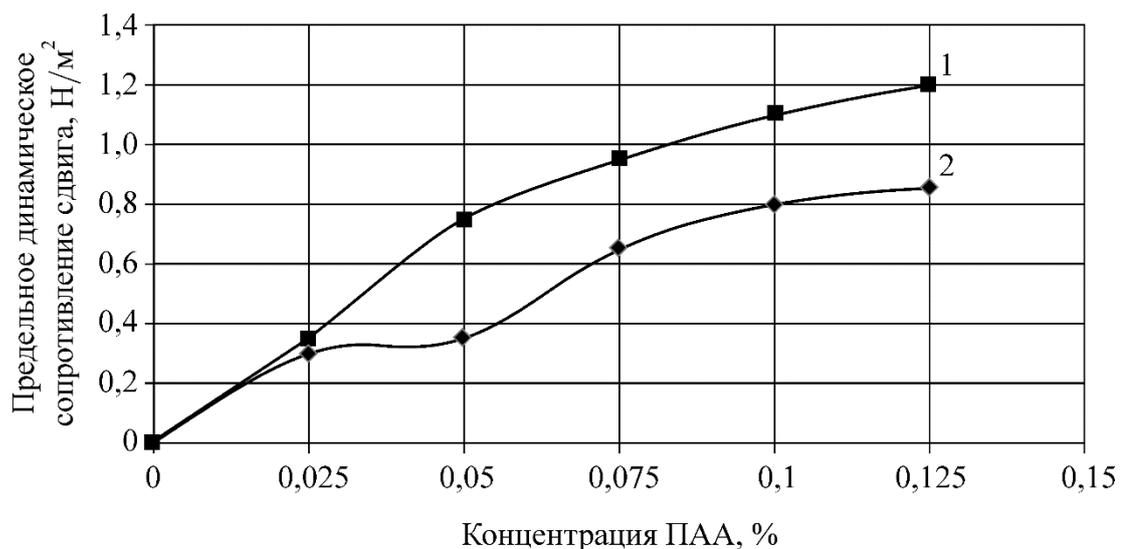


Рис.5 – Зависимость предельного динамического сопротивления сдвига полимерного раствора от концентрации ПАА: 1- полимерный раствор приготовлен на воде, подвергнутой электрохимической обработке; 2- полимерный раствор приготовлен на необработанной воде

Полимерный раствор с концентрацией ПАА (0,05-0,1) % масс., приготовленный на обработанной воде, имеет максимальную вязкость раствора около 7 мПа·с., то есть на 2 мПа·с выше вязкость раствора на необработанной воде. Предельное динамическое сопротивление сдвига также увеличивается, примерно, на 0,3 Н/м<sup>2</sup>.

Увеличение вязкости и предельного динамического сопротивления сдвига свидетельствует об изменении межмолекулярных связей ПАА с водой и перестроении молекулярной структуры раствора полимера, и отражает повышение стойкости к гидродинамической деструкции.

Для оценки стойкости полимерной оторочки были проведены исследования стойкости полимерных оторочек на физических моделях пластов, составленных из кернов, отобранных при проходке черепетского горизонта в скважинах 1413 и 1608 Мишкинского нефтяного месторождения. Модели пластов насыщали нефтью черепетского горизонта Мишкинского нефтяного месторождения вязкостью 75 мПа·с при пластовой температуре 32 °С. Далее проводили вытеснение нефти раствором ПАА, приготовленном на обработанной воде. Объем прокаченного раствора ПАА составлял 0,25 от первоначального объема пор модели пласта. Далее закачивали воду. Для сравнения, вытеснение нефти проводили раствором ПАА на необработанной воде. Результаты лабораторных исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты сравнительных исследований значений нефтеотдачи

N п/п	Способ обработки воды для приготовления раствора ПАА	Температура раствора ПАА, °С	Нефтеотдача в % от начального содержания в модели		Количество прокачаного рабочего агента (в первоначальных объемах пор модели)
			До прорыва вытесняющего агента	при обводнении продукции, 98%	
1	Необработанная вода	20	12,0	51,0	1,7 (в том числе: 0,25 оторочка полимерного раствора)
2	Электрохимическая обработка воды	20	17,0	61,0	1,3 (в том числе: 0,25 оторочка полимерного раствора)

Полученные результаты говорят об увеличении нефтеотдачи при вытеснении нефти полимерной оторочкой, приготовленной с применением электрохимической обработки воды, и, следовательно, о повышении ее стойкости к гидродинамическому воздействию нагнетаемой воды.

Таким образом, в работе установлено, что основной причиной деструкции полимерной оторочки на основе ПАА является недостаточно высокая стойкость к воздействию гидродинамического поля воды. Теоретически выявлены условия регулирования структурно-механических свойств раствора ПАА. Предложено техническое решение с применением электрохимической обработки воды для приготовления раствора ПАА, реализующее выявленные условия и позволяющее регулировать структурно-механические свойства раствора за счет повышения стойкости связей типа X, Y в молекуле ПАА и увеличения pH. Полученные величины нефтеотдачи при вытеснении высоковязкой нефти на модели пласта полимерной оторочкой, приготовленной на обработанной воде и структурно-механические свойства, позволяет использовать их в качестве полимерного водоизолирующего экрана в призабойной зоне добывающих скважин для ограничения водопритока.

#### Выводы

1. Основной причиной деструкции полимерной оторочки является недостаточно высокая стойкость водного раствора полиакриламида к воздействию гидродинамического поля нагнетаемой воды.

2. Уменьшение вязкости раствора ПАА после гидродинамического воздействия можно объяснить изменением внутримолекулярных взаимодействий за счет разрушения водородных связей типа (X, Y) и образованием межмолекулярных водородных связей, что приводит к уменьшению размеров макромолекулярных клубков, гибкости макромолекул и затрудняет деформацию и ориентацию макромолекул в потоке.

3. Выявлены условия повышения стойкости к разрушению водородных связей и регулирования структурно-механических свойств, заключающиеся в увеличении энергии связи водородных связей путем замены водорода на дейтерий и увеличении pH раствора более 10.

4. Предложено технологическое решение на основе электрохимической обработки воды для приготовления раствора ПАА, позволяющее увеличивать pH раствора с образованием малых концентраций дейтерия.

5. Полученные изменения структурно-механических и вытесняющих свойств раствора полиакриламида, приготовленного на воде, подвергнутой электрохимической обработке, являются определяющими в повышении стойкости полимерной оторочки к воздействию водой и при ее применении в качестве полимерного водоизолирующего экрана в призабойной зоне добывающих скважин.

#### Литература

1. Narkis N., Rebhuhn M.//Polymer. 1966. V.10. N 6.P. 507.
2. Shyluk W., Stow F.S.// Appl. Polym. Sci. 1969.V.13.P.1023.
3. Gardner K.L., Murphy W.R., Geehan T.G.// Appl. Polym. Sci. 1978.V.22.P881.
4. Haas H.C., MacDonald R.L.//Polym.Sci.Polym.Letters.Ed. 1972.V.10.P.461-467.
5. Recasens F., Surirans J. A.//IUPAC Int.Symp.Macromol.Chem.Madrid. 1974.V.1.P.466.
6. Darscus R.L., Jordan D.O., Kurucsev T. et al.//J.Polym.Sci.Part A3.1965.P.1941.
7. Alfrey T., Fuoss R.M., Morawwets H. et al.//J.Am.Chem.Sos. 1952.V.74.P.438.
8. Chemelir M., Künschner A., Barthell E.//Angew. Makromol.Chem.1980.Bd.89.S.145.
9. Поех И.Л., Макогон Б.П., Ступникова Т.В. и др.//ДАН УССР. Сер.Б. Геол., хим. И биол. Науки. 1986.№10.С.31-33.
10. Hashemzaden A., Kuliske W.-M.//Chem.Ing.Nechn.1986.V.58.№4.P.325-327.
11. Берлин А.В., Гилаев Г.Г. Повышение эффективности разработки месторождений нефти в сложных геологических условиях//Научно-технический вестник Роснефть. - 2007. - №4. - с.38-43.
12. Абрамова Л.И., Байбурдов Т.А., Э.П. Григорян и др. Полиакриламид – М.:Химия, 1992 -192 с.

13. Кудинов В.И., Сучков Б.М. Интенсификация добычи вязкой нефти из карбонатных коллекторов.- Самара: Кн. изд-во, 1996.- 440 с.
14. Алабышев А.Ф., Вячеславов П.М., Гальнбек А.А., Животинский П.Б., Ротинян А.Л., Федотьев Н.П. Прикладная электрохимия.- Л.: Химия, 1974.- 536 с.

#### References

1. Narkis N., Rebhuhn M.//Polymer. 1966. V.10. N 6.P. 507.
2. Shyluk W., Stow F.S.// Appl. Polym. Sci. 1969.V.13.P.1023.
3. Gardner K.L., Murphy W.R., Geehan T.G.// Appl. Polym. Sci. 1978.V.22.P881.
4. Haas H.C., MacDonald R.L.//Polym.Sci.Polym.Letters.Ed. 1972.V.10.P.461-467.
5. Recasens F., Surirans J. A.//IUPAC Int.Symp.Macromol.Chem.Madrid. 1974.V.1.P.466.
6. Darscus R.L., Jordan D.O., Kurucsev T. et al.//J.Polym.Sci.Part A3.1965.P.1941.
7. Alfrey T., Fuoss R.M., Morawwets H. et al.//J.Am.Chem.Sos. 1952.V.74.P.438.
8. Chemelir M., Künschner A., Barthell E.//Angew. Makromol.Chem.1980.Bd.89.S.145.
9. Poeh I.L., Makogon B.P., Stupnikova T.V. i dr.//DAN USSR. Ser.B. Geol., him. I biol. Nauki. 1986.№10.S.31-33.
10. Hashemzaden A., Kuliske W.-M.//Chem.Ing.Nechn.1986.V.58.№4.P.325-327.
11. Berlin A.V., Gilaeв G.G. Povyshenie jeffektivnosti razrabotki mestorozhdenij nefti v slozhnyh geologicheskikh uslovijah//Nauchno-tehnicheskij vestnik Rosneft'. - 2007. - №4. - s.38-43.
12. Abramova L.I., Bajburdov T.A., Je.P. Grigorjan i dr. Poliakrilamid – M.:Himija, 1992 -192 s.
13. Kudinov V.I., Suchkov B.M. Intensifikacija dobychi vjazkoj nefti iz karbonatnyh kollektorov.- Samara: Kn. izd-vo, 1996.- 440 s.
14. Alabyshev A.F., Vjacheslavov P.M., Gal'nbek A.A., Zhivotinskij P.B., Rotinjan A.L., Fedot'ev N.P. Prikladnaja jelektrohimiya.- L.: Himija, 1974.- 536 s.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.51.133

Никитин А.В.

Доцент, кандидат технических наук,

Дальневосточный государственный университет путей сообщения

#### СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРЕНА ОБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

*Аннотация*

*В статье рассмотрен способ определения крена сооружений башенного типа по измеренной разности вертикальных углов. Основной целью работы является исследование применения способа для объектов инфраструктуры железнодорожных станций. Выполнена оценка точности способа, а также доказана эффективность его применения для контроля отклонений от вертикальности дымовых труб, градирен, объектов радиорелейной линии связи.*

**Ключевые слова:** крен, дымовая труба, погрешность.

Nikitin A.V.

Associate professor, PhD in Engineering,

Far Eastern State Transport University

#### THE METHOD OF DETERMINING THE ROLL OBJECT OF THE RAILWAY INFRASTRUCTURE

*Abstract*

*The article describes the method of determining the roll tower structures according to the measured difference of the vertical angles. The main goal of this work is to study the application of the method for objects of infrastructure of railway stations. Evaluated the accuracy of the method, and also proved the efficiency of its use for the control of deviations from the verticality of chimneys, cooling towers, objects of radio relay communication lines.*

**Keywords:** roll, chimney, error.

К объектам инфраструктуры железных дорог относятся различные мачты освещения, башни, градирни, опоры контактной сети. При выполнении работ, связанных с инвентаризацией железнодорожных станций и узлов возникает необходимость в определении отклонений от вертикальности (крена) таких сооружений.

К геодезическим методам определения крена относят способы координат, вертикального проектирования, горизонтальных углов, горизонтальных и вертикальных углов, высокоточного нивелирования [1, 2].

Наиболее распространённым при определении крена является способ горизонтальных углов, когда от опорных направлений с двух пунктов, расположенных на взаимно перпендикулярных осях, измеряют горизонтальные углы между опорными направлениями и наблюдаемыми точками на верху сооружения. По разностям горизонтальных углов и горизонтальным проложениям находят составляющие крена и его полную величину [3].

В способе горизонтальных и вертикальных углов с опорного пункта измеряют горизонтальные углы между направлением на центр сооружения и замаркированными верху точками и вертикальные углы на них. По полученным горизонтальным и вертикальным углам, а также высоте наблюдаемой точки над горизонтальной плоскостью, проходящей через ось вращения зрительной трубы теодолита по тригонометрическим формулам, вычисляют крен сооружения [4]. Недостатком данного способа является то, что необходимо устанавливать геодезический прибор на расстоянии равном высоте сооружения. А это на действующей железнодорожной станции не всегда представляется возможным.

В статье [5] рассмотрен способ определения крена по зенитным расстояниям. При этом технология выполнения работ достаточно трудоёмкая, так как приходится устанавливать теодолит на одну и ту же высоту и расстояния должны быть равными с двух пунктов наблюдений.

Как правило, контроль геометрических параметров объектов железнодорожных станций проводится одновременно с инженерно-геодезическими изысканиями под модернизацию или ТРА (техничко-распорядительный акт) в условиях плотной застройки и перемещения подвижного состава. Поэтому, для определения отклонения от вертикальности необходимо использовать способ определения крена с одной станции, отличающийся оперативностью и высокой производительностью.

Для этих целей автором предложен способ определения крена по измеренной разности вертикальных углов [6, 7] с одной станции. Способ может быть использован при выполнении геодезического контроля с одной или с двух станций. В данной работе выполним исследование для предложенного способа применительно к дымовым трубам и объектам радиорелейной линии связи. Сущность способа поясняется на Рис.1.

Электронный тахеометр устанавливают на пункте разбивочной сети, находящемся на оси сооружения.

Измеряют разности вертикальных углов по парам замаркированных точек 1-5, 3-7 и сравнивают с проектными значениями.

Величину крена  $K$  определяют из выражений:

$$K_x = \frac{(L_1 + L_5)}{2} \frac{(\Delta v_{узм} - \Delta v_{np})}{\cos v \rho}, \quad K_y = L_{3,7} \frac{\Delta v_{узм}}{\cos v \rho}, \quad (1)$$

где  $K_x$  и  $K_y$  – высотные составляющие крена;  $\Delta v_{узм}$  – измеренная разность вертикальных углов;  $\Delta v_{np}$  – проектная разность вертикальных углов (так как  $L_3 = L_7$ , а  $\Delta v_{np} = 0$ );  $L_1 - L_7$  – расстояния до контрольных точек.

Общую величину высотной составляющей крена  $K$  получим по формуле

$$K = \sqrt{K_x^2 + K_y^2}. \quad (2)$$

Угловая величина крена  $\gamma$  вычисляется как:

$$\gamma = \frac{K \rho}{2R}, \quad (3)$$

где  $\gamma$  – угловое выражение крена;  $R$  – радиус сооружения в наблюдаемом сечении;  $\rho - 206265''$ .

Среднюю квадратическую погрешность (СКП)  $m_\gamma$  получения углового выражения крена находят по формуле

$$m_\gamma = \frac{\rho}{2R} \sqrt{m_h^2 + \frac{m_R^2 K^2}{4R^2}}, \quad (4)$$

где  $m_h, m_R$  – СКП определения высотной составляющей крена и радиуса.

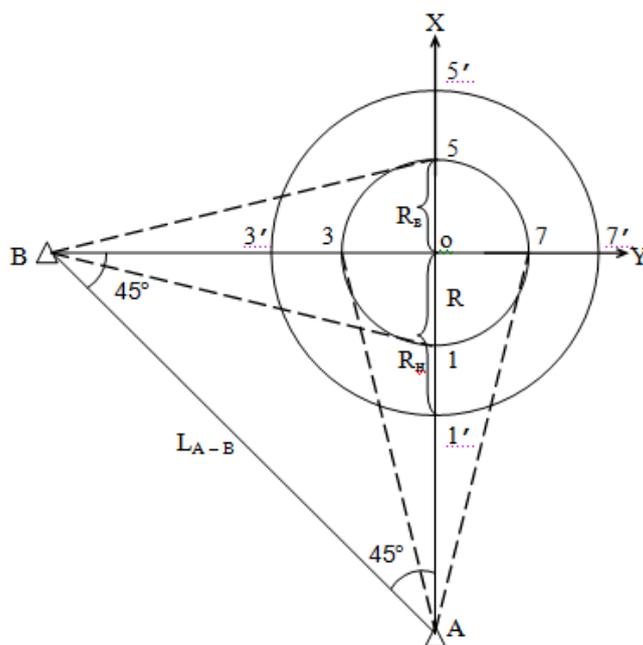


Рис. 1 – Схема определение крена с двух станций

Относительная величина крена определяется как отношение  $K_h/2R$ .

В нормативных документах [3, 8] допуски на крен сооружения назначаются по величинам его линейного выражения, которые в рассматриваемом способе вычисляются как

$$K_s = H \frac{\gamma}{\rho}, \quad (5)$$

где  $K_s$  – линейная величина крена;  $H$  – высота сооружения (от основания до наблюдаемого пояса).

Оценку точности результата определения  $K_s$  определяют так:

$$m_s = \frac{1}{\rho} \sqrt{m_H^2 \gamma^2 + m_\gamma^2 H^2}, \quad (6)$$

где  $m_s, m_H$  – СКП определения линейного выражения крена и высоты сооружения.

Недостатком следует считать то обстоятельство, что высотная величина крена определяется по малым величинам горизонтальных осей (диаметра) сооружения, особенно по верху конструкции, поэтому величины крена выражаются малыми числами, а при перевычислении их в линейную величину крена их численное выражение увеличивается на порядок, естественно увеличивается погрешность определения.

Поэтому важна выработка методики наблюдений и расчёт необходимой точности измерений для каждого типа сооружений.

Рассмотрим возможность применения предложенного способа для определения крена дымовых труб. Для необходимых расчётов примем допуски СНиП [8]:

– предельная погрешность измерений для дымовых труб не должна превышать 0,0006  $H$ , где  $H$  – высота сооружения;

– предельные относительные значения кренов для дымовых труб высотой до 100 м – 0,005, а высотой от 100 до 300 м –  $1 \setminus (2 H)$ .

Выполним расчёт точности работ по определению крена для многоствольной дымовой трубы с железобетонной оболочкой, имеющей следующие технические характеристики: высота трубы – 250 м, диаметр отверстия по верху трубы – 16 м, диаметр трубы по низу – 26,9 м.

Примем предельную ошибку определения высотной величины крена по базовому допуску 0,0006  $H$ , получим допуск на определение крена по верху трубы 150 мм. СКП определения крена, определённая по формулам (6.1) [8] и (5) [1] будет равна 15 мм.

Для обеспечения этого допуска по формуле (4) рассчитаем СКП измерения разности вертикальных углов, приняв  $m_h = 4$  мм, расстояние от тахеометра до сооружения  $L = 250$  м,  $\Delta v = 100''$ . Получим  $m_v = 3,5''$ ; а предельную ошибку 7'', что вполне обеспечивается современными тахеометрами.

При измерениях разности вертикальных углов по среднему и нижнему поясам трубы в связи с увеличением базы измерений (диаметра трубы) необходимые точностные характеристики увеличиваются  $m_v = 6''$  (для нижнего пояса).

При измерениях разности вертикальных углов по среднему и нижнему поясам трубы в связи с увеличением базы измерений (диаметра трубы) необходимые точностные характеристики увеличиваются  $m_v = 6''$  (для нижнего пояса).

Определяемые величины составляющих крена помимо погрешностей геодезических измерений будут содержать погрешности изготовления и монтажа поясов, которые в качестве систематической части войдут в общую ошибку нахождения крена, и будут характеризовать не параллельность наблюдаемых поясов. Предельный допуск точности монтажа поясов труб составляет 5 мм, а СКП за не параллельность поясов не должна превышать 1/5 СКП определения крена.

Однако в реальных условиях длительной эксплуатации дымовых труб целесообразно ошибку за не параллельность наблюдаемых поясов выявить и исключить из результатов определения составляющих крена. Величину ошибки  $\Delta h$  можно взять из результатов исполнительной съёмки или вычислить по имеющимся отсчётам по вертикальному кругу прибора и горизонтальному проложению  $d$  до наблюдаемых точек. Определение не параллельности поясов поясняется на Рис. 2, где  $\Delta h$  – разность отметок между поясами в наблюдаемых точках, или разность превышений, вычисляемая по формуле

$$\Delta h_1 = d_1 (tg v_1 - tg v_2) = d_1 \frac{\sin(v_1 - v_2)}{\cos v_1 \cos v_2}. \quad (7)$$

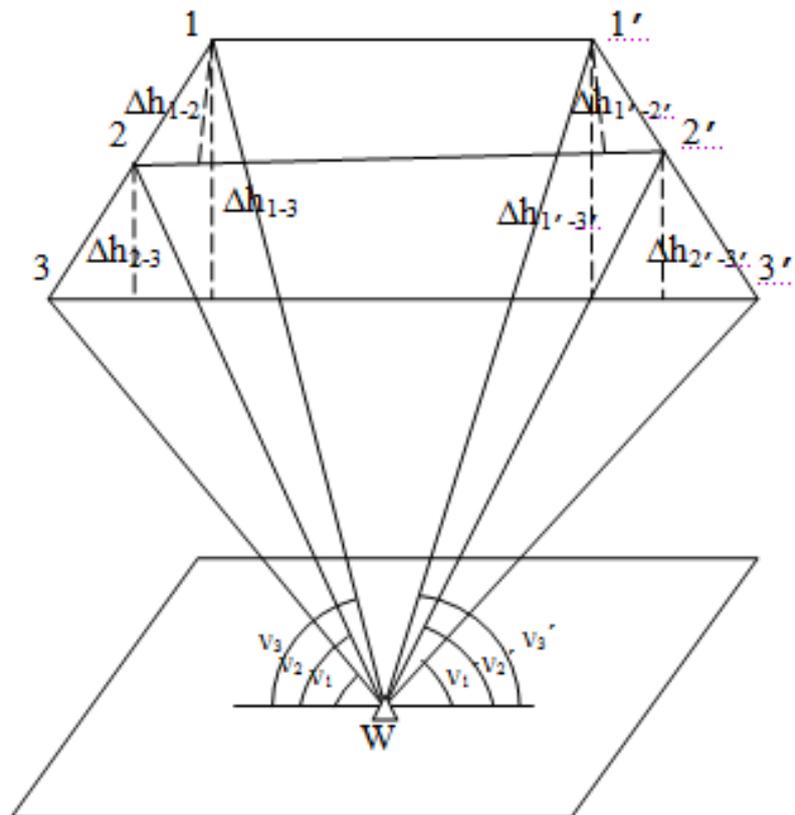


Рис. 2 – Определение не параллельности поясов

Не параллельность поясов  $\delta h$  определяется как разность разностей превышений  $\Delta h$  между наблюдаемыми точками разных поясов, расположенных на одноимённых концах диаметра (точки 1–2, 1'–2', 2–3, 2'–3', 1–3, 1'–3') следующим образом:

$$\begin{aligned}\delta h_{1-2} &= \Delta h_{1-2} - \Delta h_{1'-2'}^i, \\ \delta h_{2-3} &= \Delta h_{2-3} - \Delta h_{2'-3'}^i, \\ \delta h_{1-3} &= \Delta h_{1-3} - \Delta h_{1'-3'}^i.\end{aligned}\quad (8)$$

Поправки  $\delta h$  в измеренные составляющие крена вводятся со знаком «минус».

Таким образом, предложенный способ определения крена по измеренной разности вертикальных углов может применяться при наблюдениях за креном дымовых труб ТЭЦ, а также других сооружений башенного типа при предрасчете точности для каждого типа сооружений.

При этом следует иметь в виду тот факт, что точность определения рассматриваемым способом ухудшается с увеличением высоты сооружения и уменьшением диаметра по верху сооружения.

Проведённые расчёты дают высокую точность определения крена при диаметре по верху сооружения не менее 10 м и при высоте сооружения до 100 м.

Поэтому способ определения крена по разности вертикальных углов для сооружений башенного типа не может быть рекомендован для сооружений большой высоты и малого диаметра сооружения вверху, а может эффективно применяться при высоте сооружений до 100 м и диаметре сооружения по верху не менее 10 м, то есть способ применим при соотношении:

$$\frac{D}{H} \geq \frac{1}{10}.\quad (10)$$

#### Литература

1. Никонов, А. В. Современные способы определения кренов промышленных дымовых труб [Текст] / А. В. Никонов, В. Г. Никонов // Геодезия и картография. – 2015. – № 4. – С. 13 – 21.
2. Шеховцов, Г. А. Современные геодезические методы определения деформаций инженерных сооружений [Текст]: монография / Г. А. Шеховцов, Р. П. Шеховцова. – Н. Новгород: ННГАСУ. – 2009. – 156 с.
3. Руководство по определению кренов инженерных сооружений башенного типа геодезическими методами [Текст] / Центр. н.- и. и. проект.-эксперим. ин-т организации, механизации и техн. помощи строительству Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1981. – 56 с.
4. Раинкин, В. Я. Определение деформаций сооружений башенного типа посредством измерения горизонтальных и вертикальных углов с одного пункта [Текст] / В. Я. Раинкин // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка. – №. 3. – 1972. – С. 27–33.

5. Зеленский, А. М. Об определении крена высоких сооружений башенного типа [Текст] / А. М. Зеленский // Геодезия и картография. – 1974. – № 12. – С. 30–33.
6. Пат. №2141622 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup>G01C1/00,15/00. Способ определения крена [Текст] / Никитин А. В. ; заявитель и патентообладатель Хабаровский гос. техн. ун-т ; заявл. 01.10.97 ; опубл. 20.11.99, Бюл. № 32. – 16 с.: ил.
7. Никитин, А. В. Способ определения крена сооружений цилиндрической формы [Текст] / А. В. Никитин // Геодезия и картография. – 2002. – № 7. – С. 15–17.
8. СНиП 3.01.03–84 Геодезические работы в строительстве. Актуализированная редакция. СП 13330. 2012 [Текст] – М.: Минрегион России, 2012. – 84 с.

#### References

1. Nikonov A. V. Sovremennye sposoby opredelenija krenov promyshlennyh dymovyh trub [Modern methods of determining roll of industrial chimneys] [Text] / A. V. Nikonov, V. G. Nikonov // Geodezija i kartografija [Geodesy and cartography]. – 2015. – № 4. – P. 13 – 21. [In Russian]
2. Shekhovtsov, G. A. Sovremennye geodezicheskie metody opredelenija deformacij inzhenernyh sooruzhenij [Modern geodetic methods for the determination of deformations of engineering structures] [Text]: monograph / G. A. Shekhovtsov, R. P. Shekhovtsova. – N. Novgorod: NNGACU. – 2009.– 156 p. [In Russian]
3. Rukovodstvo po opredeleniju krenov inzhenernyh sooruzhenij bashennogo tipa geodezicheskimi metodami [The guide rolls of the engineering tower buildings geodetic methods] [Text] / Centr. n.- i. i proekt.–jeksperim. in-t organizacii, mehanizacii i tehn. pomoshhi stroitel'stvu Gosstroja SSSR [Centre. scientific and project.–experimental. Institute of organization, mechanization and technical. assistance to construction of Gosstroy of the USSR]. – M.: Stroiizdat, 1981.– 56 p. [In Russian]
4. Rankin, V. Y. Opredelenie deformacij sooruzhenij bashennogo tipa posredstvom izmerenija gorizontalnyh i vertikal'nyh uglov s odnogo punkta [Determination of deformations of the tower structures by measuring horizontal and vertical angles with a single item ] [Text] / V. Y. Rankin // Izv. vuzov. Geodezija i ajerofotos#jomka [Pu. universities. Geodesy and aerophotocamera]. – № 3. – 1972. – P. 27-33. [In Russian]
5. Zelensky, A. M. Ob opredelenii krena vysokih sooruzhenij bashennogo tipa [On the definition of the roll of high tower structures] [Text] / A. M. Zelensky // Geodezija i kartografija [Geodesy and cartography]. – 1974. – № 12. – P. 30-33. [In Russian]
6. Pat. №2141622 Rossijskaja Federacija, MPK<sup>7</sup>G01S1/00,15/00. Sposob opredelenija krena [Pat. No. 2141622 Russian Federation, ICI 7G01C1/00, 15/00. The method of determining the roll] [Text] / Nikitin, A. V.; applicant and patentee of the Khabarovsk state technical. Univ. 01.10.97 ; publ. 20.11.99, bull. №. 32. – 16 P.: ill. [In Russian]
7. Nikitin, A. V. Sposob opredelenija krena sooruzhenij cilindricheskoj formy [The method of determining the roll structures of cylindrical shape] [Text] / A. V. Nikitin // Geodezija i kartografija [Geodesy and cartography]. – 2002. – № 7. – P. 15-17. [In Russian]
8. SNiP 3.01.03–84 Geodezicheskie raboty v stroitel'stve. Aktualizirovannaja redakcija BR 3.01.03–84 [Geodetic works in construction. Update edition. SP 13330. 2012] [Text] – M.: The Ministry Of Regional Development RF, 2012. – 84 p. [In Russian]