

МОЛОДОЙ

ISSN 2072-0297

# УЧЁНЫЙ

ежемесячный научный журнал

La istoria è la  
maestra d  
azioni no  
PRINCIPE  
Il fine  
giustifica

Quando è più propinquo l'uomo a  
uno suo desiderio più lo desidera,  
e non lo avendo,  
maggior dolore sente  
La via dello andare allo  
inferno era facile, poiché  
si andava allo ingiù e a  
chiusi occhi.

3

2013

Том I

ISSN 2072-0297

# Молодой учёный

Ежемесячный научный журнал

№ 3 (50) / 2013

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

**Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-38059 от 11 ноября 2009 г.**

Журнал входит в систему РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) на платформе eLibrary.ru.

Журнал включен в международный каталог периодических изданий «Ulrich's Periodicals Directory».

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

**Главный редактор:**

Ахметова Галия Дуфаровна, *доктор филологических наук*

**Члены редакционной коллегии:**

Ахметова Мария Николаевна, *доктор педагогических наук*

Иванова Юлия Валентиновна, *доктор философских наук*

Лактионов Константин Станиславович, *доктор биологических наук*

Комогорцев Максим Геннадьевич, *кандидат технических наук*

Ахметова Валерия Валерьевна, *кандидат медицинских наук*

Брезгин Вячеслав Сергеевич, *кандидат экономических наук*

Котляров Алексей Васильевич, *кандидат геолого-минералогических наук*

Яхина Асия Сергеевна, *кандидат технических наук*

**Ответственный редактор:** Кайнова Галина Анатольевна

**Художник:** Евгений Шишков

**Верстка:** Павел Бурьянов

*На обложке изображен Никколо Макиавелли, итальянский мыслитель, философ, писатель, политический деятель.*

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.

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

Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.

При перепечатке ссылка на журнал обязательна.

Материалы публикуются в авторской редакции.

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

672000, г. Чита, ул. Бутина, 37, а/я 417.

E-mail: [info@moluch.ru](mailto:info@moluch.ru)

<http://www.moluch.ru/>

**Учредитель и издатель:** ООО «Издательство Молодой ученый»

Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии «Ваш полиграфический партнер»

127238, Москва, Ильменский пр-д, д. 1, стр. 6

## СОДЕРЖАНИЕ

### ФИЗИКА

- Кислякова Е.В.**  
Механизмы пробоя твердых диэлектриков с неоднородной структурой .....1

### МАТЕМАТИКА

- Синь Вэнь, Вяткин А.В., Шайдуров В.В.**  
Characteristics-like approach for solving hyperbolic equation of first order ..... 5

### ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Альхамова Г.К., Ребезов М.Б., Амерханов И.М., Мазаев А.Н.**  
Анализ потребительских предпочтений при выборе творожных продуктов .....13
- Арискин М.В., Гуляев Д.В., Агеева И.Ю.**  
Исследование напряженно-деформированного состояния деревянных гнутоклееных рам .....16
- Арискин М.В., Гуляев Д.В., Агеева И.Ю.**  
Исследование напряженно-деформированного состояния гнутых карнизных узлов рам .....19
- Ахмедзянов Д.А., Кишалов А.Е., Маркина К.В., Бакирова З.Н.**  
Экспериментальное исследование статических и динамических характеристик газотурбинных двигателей на автоматизированных лабораторных установках SR-30 и TJ-100 при различных алгоритмах управления двигателем .....26
- Вардияшвили А.А., Узаков Г.Н., Вардияшвили А.А., Файзиев Т.А., Умиров А.У.**  
Теплотехнический расчет солнечно-паровых установок .....34

- Василенко В.А.**  
Изучение надежности работы водителя в России и за рубежом ..... 37
- Воробьев Д.М.**  
Получение и диагностика наноматериалов на основе металлооксидов, химически осажденных из паровой фазы ..... 40
- Гарькина И.А., Гарькин И.Н.**  
Идентификация и аппроксимация колебаний конструктивных элементов .....44
- Данилов А.М., Пылайкин С.А.**  
Оценка параметров распределения амплитуд в управляющих движениях оператора .....48
- Дятлов М.Н.**  
Электронные системы обучения водителя транспортного средства .....52
- Ибрагимов У.Х., Бобоходжаев Р.П., Узаков Г.Н., Хамраев Т.Я., Боймуродова Х.У.**  
Экспериментальное исследование процессов гидродинамики в трубках теплообменника при применении локальных турбулизаторов .....56
- Ибрагимов У.Х., Бобоходжаев Р.П., Узаков Г.Н., Шомуратова С.М.**  
Экспериментальная установка для исследования процессов гидродинамики и теплообмена в трубках теплообменника .....58
- Иванов С.А.**  
Перспективы получения резино-битумных вяжущих для повышения долговечности автомобильных дорог ..... 60
- Иванов А.В.**  
Решение двумерной задачи выбора места проведения ремонтных работ ..... 62
- Кычкин В.И., Юшков В.С.**  
Резонансные колебания при движении автотранспортного средства по виброполосе...65

<b>Лоскутников А.А., Сенюшкин Н.С., Горюнов И.М., Султанов Р.Ф., Белобровина М.В.</b> Формирование базовой математической модели КЭУ ГТУ .....	69
<b>Мерко М.А., Меснянкин М.В., Митяев А.Е.</b> Описание математической модели механизма-прототипа ЭМК с сепаратором (водило) при ведущем внутреннем кольце .....	71
<b>Михайлов В.В., Марков А.В., Филатов А.Д.</b> Анализ преодоления крупных водных преград с использованием полевых магистральных трубопроводов .....	75
<b>Михайлов В.В., Симачков М.В., Айнетдинов И.Р.</b> Исследование комплекса технических средств для механизации работ по демонтажу полевых магистральных трубопроводов .....	78
<b>Мусаев Г.М.</b> Моделирование системы позиционирования отражателя концентратора солнечной энергии .....	81
<b>Мусаева У.А.</b> Автоматизированное проектирование СВЧ фазовращателя .....	83
<b>Николаев А.В.</b> Мероприятия, повышающие эффективность проветривания панели калийного рудника при прямом порядке отработки .....	89
<b>Садыкова С.Н.</b> Научные рекомендации по возрождению садов Чор-баг .....	91
<b>Семирненко С.Л.</b> Исследование рационального использования соломенной биомассы с целью уменьшения техногенной нагрузки .....	98
<b>Султанов Н.З., Юмахин Д.Ю.</b> Надежность схем электроснабжения наземных комплексов систем посадки воздушных судов гражданской авиации .....	102
<b>Тихонов А.С., Щёголев С.Н.</b> Использование современных винтовых механизмов в домкратах .....	105
<b>Ульянов Р.С., Завьялов В.А.</b> Концепция системы освещения помещений с автоматическим управлением на базе светодиодов .....	108
<b>Федянов Е.А., Захаров Е.А., Гаврилов Д.С., Левин Ю.В.</b> Улучшение процесса сгорания сжиженного углеводородного газа добавками водорода ...	111

<b>Фетисова М.А., Володин С.С.</b> Применение метода интерполяции по коэффициенту формы для решения задач строительной механики .....	114
<b>Хоробрых М.А., Фролов В.А.</b> Проектирование экспериментальной установки для весового эксперимента в аэродинамической трубе .....	116
<b>Шиколенко И.А., Завьялов В.А.</b> Применение ШИМ в регулировании освещенности рабочего места .....	122
<b>Яргин С.В.</b> Технические аспекты работы библиотек .....	125

## ИНФОРМАТИКА

<b>Емельянов А.А., Медведев А.В., Богатов Е.А., Кобзев А.В., Бочкарев Ю.П.</b> Программирование линейного асинхронного двигателя в MATLAB .....	129
<b>Нгуен Тхань Вьет</b> Методы увеличения эффективности проведения работ по техническому обслуживанию и ремонту .....	143
<b>Панченко Е.Ю.</b> Метод k средних при решении задачи распознавания диктора по речевому образцу .....	145
<b>Чугреев В.Л.</b> Разработка мультипоточковой модели последовательно связанных информационных элементов .....	147

## ХИМИЯ

<b>Красильникова К.Ф., Мохова Д.Д.</b> Получение хлорпарафина марки ХП-30 термическим жидкофазным хлорированием в непрерывном режиме .....	150
---	-----

## БИОЛОГИЯ

<b>Крюкова К.А.</b> Характеристика основного ассортимента древесных растений в скверах города Томска .....	152
<b>Хорошеньков Е.А.</b> Биоиндикационная оценка качества воды в некоторых степных водоёмах Кубани .....	156

## ЭКОЛОГИЯ

<b>Иванов М.В.</b> Ртуть в донных осадках дальневосточных морей России .....	161
---	-----

**Кучеров А.В., Шибилева О.В.**

Современные проблемы производства  
и переработки свалочного газа ..... 165

**Ручин А.Б.**

Применение метода вермикультивирования  
для биодegradации твердых отходов ..... 168

**ГЕОГРАФИЯ**

**Атаев З.В., Магомедова А.З.**

Климатические особенности бассейна реки Самур  
на Восточном Кавказе..... 172

**Кучина Е.А.**

Сихотэ-Алинский биосферный заповедник .... 175

**Шведова З.В.**

Проектная деятельность в старшей школе  
(на примере комплекса «Потамонимы  
Нефтеюганска и Нефтеюганского района») ... 178



## ФИЗИКА

### Механизмы пробоя твердых диэлектриков с неоднородной структурой

Кислякова Елена Васильевна, кандидат педагогических наук, доцент  
Смоленский государственный университет

**Введение.** Твердые диэлектрики в качестве составной части электроизоляционной системы высоковольтного оборудования играют важную роль в энергосетях всего мира. Однако, находясь под постоянным напряжением и воздействием внешних факторов, электрическая изоляция подвергается старению и утрачивает свои электроизоляционные свойства — наступает пробой. При пробое твердой составляющей изоляции оборудование выходит из строя — требуется его ремонт или полная замена.

С. Н. Колесов и Н.П. Богородицкий выделяют три основных вида пробоя твердых диэлектриков (рис. 1) — электрический, тепловой и электрохимический [6, с. 129; 1, с. 66].

На механизмы пробоя диэлектриков существенное влияние оказывает неоднородность их структуры, обусловленная природой исходного сырья, наличием посторонних включений и загрязнений, несовершенством процессов технологической обработки и пр. [7, с. 168]. Можно утверждать, что диэлектрики, имеющие неоднородности в своей структуре (поры, микротрещины, инородные включения), встречаются в электротехнике гораздо чаще, нежели материалы с однородной структурой.

Широта промышленного использования диэлектриков позволяет определить задачу исследования — проанализировать механизмы пробоя твердых диэлектриков и влияние неоднородности структуры диэлектрика на его прочность.

#### 1. Электрический пробой твердых диэлектриков

Электрический пробой твердых диэлектриков происходит, как правило, в результате перенапряжений и может протекать в диэлектриках с однородной структурой, когда практически исключено влияние тепловых процессов, электрическое старение и частичные электрические разряды в порах изоляции и на ее поверхности.

Начало исследований электрического пробоя твердых диэлектриков можно отнести к концу XVIII в. (работы В. Франца и Ван-Марума) [3, с. 103]. За свою достаточно долгую историю физика диэлектриков обогатилась большим количеством разнообразных теорий электрического пробоя, в большей или меньшей степени согласующихся с экспериментальными данными (рис. 2).

В литературе, посвященной проблеме электрического пробоя, чаще всего рассматривают теории ударной ионизации электронами [7, с. 154–158], как наиболее теоретически обоснованные и наилучшим образом согласующиеся с экспериментальными данными. В основе механизма электрического пробоя, в соответствии с теориями этой группы, лежат процессы, приводящие к лавинообразному возрастанию числа свободных электронов проводимости.

Согласно теории Хиппеля-Каллена (теории ударной ионизации медленными электронами) требуемую для ионизации энергию электроны накапливают после нескольких столкновений. Для этого энергия, теряемая

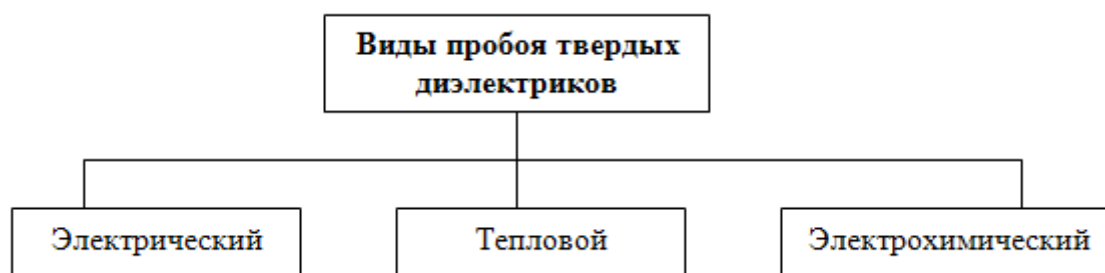


Рис. 1. Основные виды пробоя твердых диэлектриков



Рис. 2. Основные теории электрического пробоя твердых диэлектриков

электроном в результате взаимодействия с кристаллической решеткой  $W_{ном}$ , должна быть меньше, чем энергия, приобретаемая им в электрическом поле  $W_e$ . Условия пробоя в теории Хиппеля-Каллена имеют вид:

$$W_e = 4hv, W_e = W_{ном}. \quad (1)$$

В теории Фрелиха (ударной ионизации быстрыми электронами) решающую роль в пробое твердого диэлектрика играют электроны, энергия которых близка к энергии ионизации  $W_u$ . Фрелих доказал, что с увеличением напряженности внешнего электрического поля, уменьшается энергия электронов  $W_{екр}$ , при которой наблюдается равновесие  $W_{екр} = W_{ном}$ . При этом ускоряются электроны, значение энергии которых лежит в пределах  $W_{екр} < W_e < W_u$ . Эти электроны, в дополнение к быстрым, и создают ударную ионизацию. Условия пробоя твердого диэлектрика в теории Фрелиха имеют вид:

$$W_e > 4hv, W_e = W_{ном}. \quad (2)$$

В работе Г.А. Воробьева, С.Г. Еханина и Н.С. Немецовой [4] доказано, что в щелочно-галлоидных кри-

сталлах (*NaCl* и *KCl*) электрический пробой обусловлен именно ударной ионизацией электронами. Однако авторы отмечают, что на механизм пробоя существенное влияние оказывают дефекты и неоднородности кристаллической структуры. Электронные токи, сопровождаемые ударной ионизацией, протекают в локальных участках слоя диэлектрика, где под действием электрического поля произошла генерация линейных и точечных дефектов.

Н.П. Богородицкий выделяет в качестве отдельного вида электрический пробой неоднородных диэлектриков и отмечает, что пробивные напряжения для них, как правило, невысоки [1, с. 67–69]. Пробивное напряжение неоднородного диэлектрика существенно зависит от его толщины и площади электродов. Чем больше толщина диэлектрика и площадь электродов, тем больше пор и микротрещин, заполненных газом, попадают в пределы электрического поля, что приводит к существенному снижению электрической прочности материала.



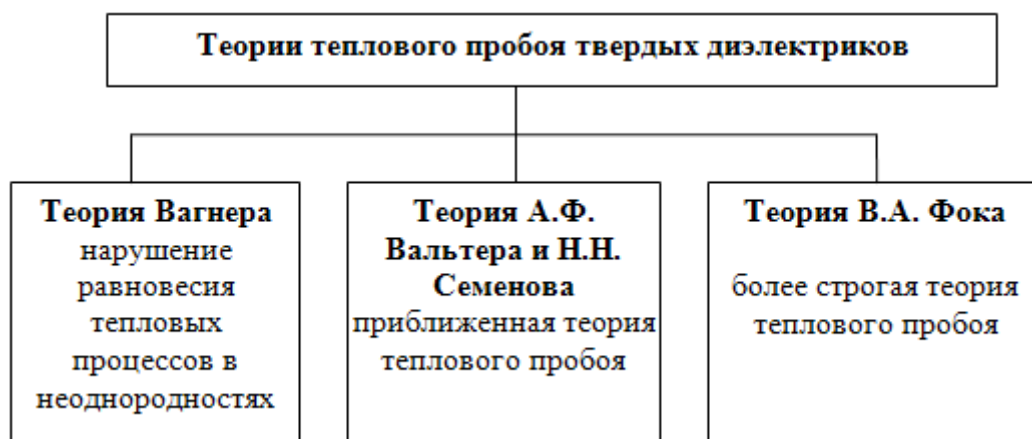


Рис. 3. Основные теории теплового пробоя

## 2. Тепловой пробой твердых диэлектриков

Тепловой пробой возникает вследствие нарушения теплового равновесия между процессами тепловыделения и теплоотдачи в диэлектрике. В результате диэлектрических потерь материал диэлектрика нагревается и происходит процесс тепловыделения, который выражается уравнением диэлектрических потерь:

$$P = U^2 \cdot \omega \cdot C \cdot \operatorname{tg} \delta, \quad (3)$$

где  $U$  – приложенное к диэлектрику напряжение,  $\omega$  – частота изменения напряжения,  $C$  – электрическая емкость диэлектрика,  $\operatorname{tg} \delta$  – тангенс угла диэлектрических потерь.

Образующееся тепло выделяется в окружающую среду, благодаря процессам теплопроводности токопроводящих частей установки и конвекции воздуха – происходит теплоотдача. Процесс теплопередачи выражается с помощью формулы Ньютона:

$$P_T = \sigma \cdot S \cdot (T - T_0), \quad (4)$$

где  $\sigma$  – коэффициент теплоотдачи,  $S$  – площадь поверхности диэлектрика,  $T$  – температура поверхности диэлектрика,  $T_0$  – температура окружающей среды.

Условие теплового равновесия имеет вид:

$$U^2 \cdot \omega \cdot C \cdot \operatorname{tg} \delta = \sigma \cdot S \cdot (T - T_0). \quad (5)$$

В случае нарушения равновесия между процессами тепловыделения и теплоотдачи (тепловыделение превышает теплоотдачу) диэлектрик разогревается, что приводит к тепловому разрушению материала и потере электрической прочности.

Первые работы по исследованию механизмов теплового пробоя принадлежат Вагнеру, Гюнтершульцу и Штейнметцу и относятся к началу XX века [3, с. 92]. Основные теории теплового пробоя твердого диэлектрика представлены на рис. 3.

Еще в первой теории теплового пробоя, предложенной Вальтером, отмечалось, что вероятность пробоя существенно повышается в диэлектрике с неоднородной структурой. В той части диэлектрика, где наблюдается

структурная неоднородность (пора или микротрещина, заполненная маслом или водой) возникают наибольшие релаксационные потери и наибольшая плотность тока, поэтому выделяется наибольшее количество теплоты [6, с. 132]. Несмотря на все выявленные недостатки, теория Вагнера дает наглядное представление о процессах, происходящих при тепловом пробое [3, с. 94].

## 3. Электрохимический пробой твердых диэлектриков

Электрохимический пробой возникает в результате электрического старения диэлектрика под воздействием окружающей среды и электрического поля. Воздействие внешних факторов приводит к протеканию в диэлектрике необратимых химических процессов, в результате физико-химические характеристики материала ухудшаются и его электрическая прочность снижается.

Различают естественное и электрическое старение твердых диэлектриков. Естественное старение происходит не только при использовании диэлектрического материала, но и при его хранении и обусловлено воздействием воздуха, солнечных лучей и других факторов окружающей среды. Электрическое старение происходит под действием приложенного напряжения преимущественно в порах, заполненных воздухом или влагой [6, с. 136].

Скорость электрического старения и механизмы химических процессов зависят от внешних условий и материала диэлектрика. Экспериментально доказано, что основной причиной старения органической изоляции, к которой можно отнести бумажную составляющую электроизоляционной системы энергетического оборудования, в сильном электрическом поле являются частичные разряды, протекающие в газовых порах [3, с. 188]. Процессы, приводящие к электрическому старению диэлектрика, достаточно разнообразны [3, с. 189] и представлены на рис. 4.

В твердых диэлектриках, в том числе в бумажно-масляной изоляции, имеются различные дефекты – трещины, поры и другие инородные включения. Включения,

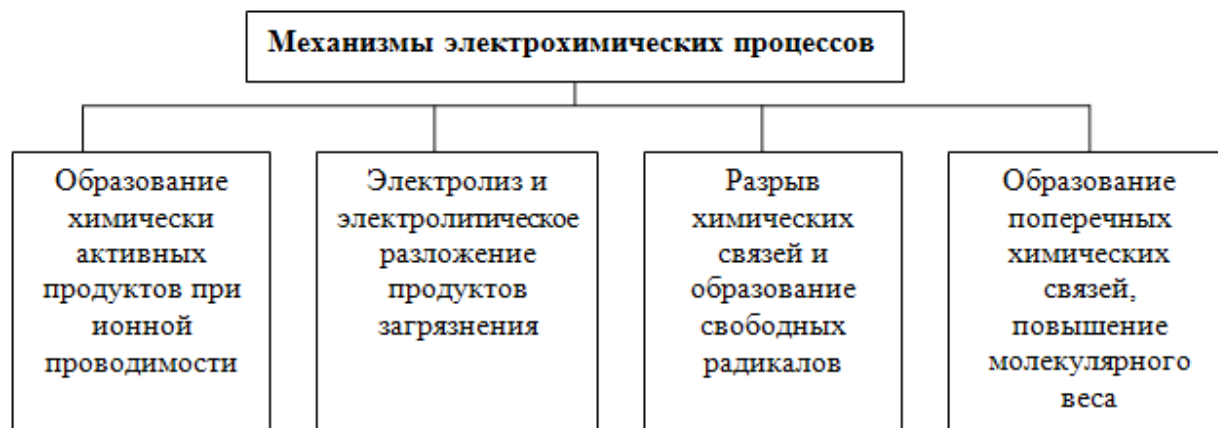


Рис. 4. Основные механизмы электрохимических процессов

заполненные жидким или газообразным диэлектриком (маслом или воздухом), имеют более низкую электрическую прочность [5]. Поэтому при приложении напряжения большего, чем  $U_{и}$ , во включениях начинают протекать частичные разряды, при этом ионы и электроны бомбардируют стенки газовых пор, что приводит к электрической эрозии и разрушению стенок [2, с. 41–49; 6, с. 136]. В результате объем пор увеличивается преимущественно вдоль силовых линий поля с образованием дендритов, эффективная толщина изоляции уменьшается и пробой наступает при более низкой напряженности электрического поля.

**Вывод.** Неоднородности в структуре твердого диэлектрика оказывают существенное влияние на механизмы пробоя, значительно искажая внешнее электрическое поле. Локальное увеличение напряженности электрического поля во включениях, а также электрическое старение и эрозия уменьшают эффективную толщину и электрическую прочность диэлектрика. Поэтому, рассчитывая

предельные значения прикладываемого напряжения, необходимо учитывать возможность наличия дефектов и их влияние на электрические свойства материала.

На сегодняшний день в физике диэлектриков наиболее изученным является механизм теплового пробоя, для которого академиком В.А. Фоком разработана строгая теория, согласующаяся с экспериментом. Механизмы электрического пробоя не имеют столь однозначной теории и рассматриваются с точки зрения двух различных подходов. Первый подход в качестве основного механизма электрического пробоя выделяет ударную ионизацию электронами и представлен работами Г.А. Воробьева, А. Хиппеля, Г. Фрелиха, В. Франца. Второй подход рассматривает электрический пробой как результат перегретой тепловой неустойчивости и процессов электронной детонации под действием сильного электрического поля и разрабатывается научной школой Ю.Н. Вершинина. Теория электрохимического пробоя основывается на механизмах электрического старения диэлектрических материалов, которые достаточно хорошо изучены.

#### Литература:

1. Богородицкий Н.П. Электротехнические материалы / Н.П. Богородицкий, В.В. Пасынков, Б.М. Тареев. — Л.: Энергоатомиздат, 1985. — 304 с.
2. Вдовико В.П. Частичные разряды в диагностировании высоковольтного оборудования / В.П. Вдовико. — Новосибирск: Наука, 2007. — 155 с.
3. Воробьев Г.А. Физика диэлектриков (область сильных полей) / Г.А. Воробьев, Ю.П. Похолков, Ю.Д. Королев, В.И. Меркулов. — Томск: Издательство ТПУ, 2003. — 243 с.
4. Воробьев Г.А. Электрический пробой твердых диэлектриков / Г.А. Воробьев, С.Г. Еханин, Н.С. Несмелов. — Физика твердого тела. — № 6. — 2005. — С. 1048–1052.
5. Кислякова Е.В. Электрическое поле в неоднородных диэлектриках / Е.В. Кислякова. — Молодой ученый. — № 12. — 2012 г. — С. 6–10.
6. Колесов С.Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов / С.Н. Колесов, И.С. Колесов. — М.: Высшая школа, 2004. — 519 с.
7. Халилов Ф.Х. Техника высоких напряжений и электротехнические материалы в устройствах железнодорожного транспорта / Ф.Х. Халилов, В.В. Егоров, А.А. Смирнов. — СПб., 2007. — 544 с.

# МАТЕМАТИКА

## Characteristics-like approach for solving hyperbolic equation of first order

Синь Вэнь, студент

Университет Бейхан, г. Пекин (Beihang University)

Вяткин Александр Владимирович, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник

Институт вычислительного моделирования Сибирского отделения РАН (г. Красноярск)

Шайдуров Владимир Викторович, доктор физико-математических наук, профессор

Институт вычислительного моделирования Сибирского отделения РАН (г. Красноярск), Университет Бейхан, г. Пекин (Beihang University)

### 1. Introduction

We consider numerical solving the hyperbolic equation

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(u\rho)}{\partial x} = 0$$

equipped with suitable initial condition for known velocity coefficient  $u(t, x)$ .

Among the successful numerical methods for solving this equation we mention such nonoscillatory conservative finite difference schemes as TVD (total variation diminishing), TVB (total variation bounded), and ENO (essentially nonoscillatory) ones (see, for example, [1]–[14] and the reference there).

In order to highlight the essential ingredients of suggested approach we begin with one-dimensional problem, keeping in mind that we shall extend these methods in subsequent papers. Moreover, for simplification we take periodic data to avoid a description complication for inessential issues connected with boundary-value conditions.

### 2. The statement of problem and the main theorem

Thus, in the rectangle  $(t, x) \in D = [0, T] \times [0, 1)$  consider equation

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(u\rho)}{\partial x} = 0, \quad (t, x) \in D, \tag{1}$$

with initial condition

$$\rho(0, x) = \rho_{\text{init}}(x), \quad x \in [0, 1). \tag{2}$$

Coefficient  $u(t, x)$  is given at  $D$  and functions  $\rho_{\text{init}}$  and  $u$  are supposed periodical in  $x$  with period 1 and are smooth enough for further considerations.

One of difficulties in solving (1)–(2) is that solution may contain discontinuities even for smooth data. But we start our considerations for the case of smooth solution.

Let us take two time lines  $t_k, t_{k-1} \in [0, T]$  with  $t_k - t_{k-1} = \tau > 0$  and two nodes  $(t_k, x_1), (t_k, x_2)$  with points  $x_1, x_2 \in [0, 1], x_1 < x_2$  (see Fig. 1).

For both these nodes we construct the characteristics  $\tilde{x}_i(t), i = 1, 2$ , of equation (1) at segment  $t \in [t_{k-1}, t_k]$  [16, 17]. They satisfy the ordinary differential equation with different initial values:

$$\begin{cases} \frac{d\tilde{x}_i}{dt} = u(t, \tilde{x}_i), & t \in [t_{k-1}, t_k], \\ \tilde{x}_i(t_k) = x_i. \end{cases} \tag{3}$$

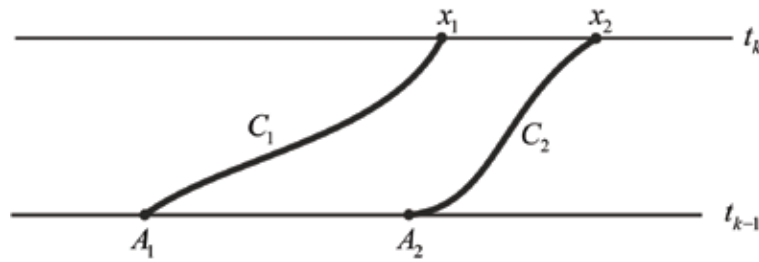


Fig. 1. Trajectories

These characteristics define two trajectories for  $t \in [t_{k-1}, t_k]$  in plane  $(t, x)$ :  $C_i(t, \tilde{x}_i(t))$ ,  $i=1,2$ . Each of these trajectories crosses line  $t = t_{k-1}$  in some point  $(t_{k-1}, A_i)$ . We suppose that they are not mutually crossed and therefore  $A_1 < A_2$ .

**Theorem 1.** For smooth solution of equation (1) we have equality

$$\int_{x_1}^{x_2} \rho(t_k, x) dx = \int_{A_1}^{A_2} \rho(t_{k-1}, x) dx. \tag{4}$$

**Proof.** Define by  $G$  the curvilinear quadrangle bounded by lines  $t = t_k$ ,  $C_2$ ,  $t = t_{k-1}$ ,  $C_1$ . And define by  $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \Gamma_4$  the corresponding parts of these lines, which form the boundary  $\Gamma = \Gamma_1 \cup \Gamma_2 \cup \Gamma_3 \cup \Gamma_4$  (see Fig. 2). Introduce also the external normal  $\vec{n}$  defined at each part of boundary except 4 vertices of quadrangle.

Now use formula by Gauss-Ostrogradskii [16, 17] in the following form:

$$\int_G \left( \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} \right) dG = \int_{\Gamma} (\rho, \rho u) \cdot \vec{n} d\Gamma \tag{5}$$

where  $\text{sing } \cdot$  means scalar product. Since the boundary  $\Gamma$  consists of four parts we calculate the integral over  $\Gamma$  separately on each line:

$$\int_{\Gamma} (\rho, \rho u) \cdot \vec{n} d\Gamma = \int_{\Gamma_1} (\rho, \rho u) \cdot \vec{n} d\Gamma + \int_{\Gamma_2} (\rho, \rho u) \cdot \vec{n} d\Gamma + \int_{\Gamma_3} (\rho, \rho u) \cdot \vec{n} d\Gamma + \int_{\Gamma_4} (\rho, \rho u) \cdot \vec{n} d\Gamma. \tag{6}$$

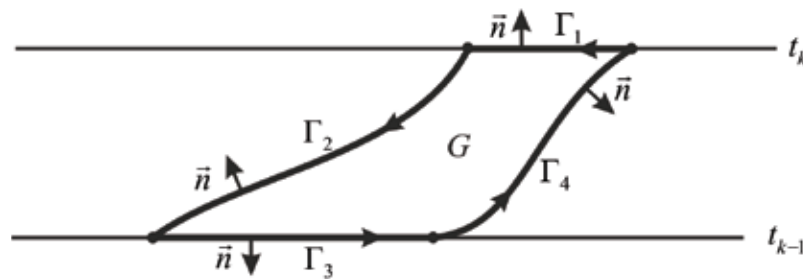


Fig. 2. Integration along boundary

Along the line  $\Gamma_1$  the external normal equals  $\vec{n} = (1, 0)$ . Then

$$\int_{\Gamma_1} (\rho, \rho u) \cdot \vec{n} d\Gamma = - \int_{x_1}^{x_2} \rho(t_k, x) dx. \tag{7}$$

Minus appeared in right-hand side because of opposite direction of integration. At arbitrary point  $(t, x) \in C_2$  the tangent vector is  $\vec{v}(t, x) = (1, u(t, x))$ . Therefore the external normal equals

$$\vec{n} = \frac{1}{\sqrt{u^2 + 1}} (u, -1). \tag{8}$$

Therefore we get

$$\int_{\Gamma_2} (\rho, \rho u) \cdot \vec{n} d\Gamma = \int_{\Gamma_2} (\rho, \rho u) \cdot (u, -1) \frac{d\Gamma}{\sqrt{u^2 + 1}} = 0. \tag{9}$$

For other two parts of the boundary we use the same way to calculate the integrals and get

$$\int_{\Gamma_3} (\rho, \rho u) \cdot \vec{n} \, d\Gamma = \int_{\Gamma_3} (\rho, \rho u) \cdot (-1, 0) \, d\Gamma = \int_{A_1}^{A_2} \rho(t_{k-1}, x) \, dx, \tag{10}$$

$$\int_{\Gamma_4} (\rho, \rho u) \cdot \vec{n} \, d\Gamma = \int_{\Gamma_4} (\rho, \rho u) \cdot (u, -1) \frac{d\Gamma}{\sqrt{u^2 + 1}} = 0. \tag{11}$$

Combine (5) – (7) and (9) – (11):

$$0 = \int_G \left( \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} \right) dG = \int_{\Gamma} (\rho, \rho u) \cdot \vec{n} \, d\Gamma = -\int_{x_1}^{x_2} \rho(t_k, x) \, dx + \int_{A_1}^{A_2} \rho(t_{k-1}, x) \, dx.$$

It implies (4).

### 3. Simple semi-discrete approximation

Now take integer  $n > 2$  and construct uniform mesh in  $x$  with nodes  $x_i = ih, i = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ , and meshsize  $h = 1/n$ . Let we know the (approximate) solution  $\rho^h(t_{k-1}, x)$  at time level  $t_{k-1}$  and construct the approximate solution at time level  $t_k$ . Integrals of solution in a small vicinities of each point  $x_i$  may be some useful intermediate data. For example, let construct integrals

$$I_i \equiv \int_{x_{i-1/2}}^{x_{i+1/2}} \rho^h(t_k, x) \, dx \tag{12}$$

at each interval  $[x_{i-1/2}, x_{i+1/2}]$ .

For this purpose in the context of previous section we take two points  $x_1 = x_{i-1/2}, x_2 = x_{i+1/2}$  and construct two trajectories  $C_1$  and  $C_2$ . These trajectories produce two points  $A_1^i$  and  $A_2^i$  at time level  $t_{k-1}$ . Due to Theorem 1 we get

$$I_i = \int_{A_1^i}^{A_2^i} \rho^h(t_{k-1}, x) \, dx. \tag{13}$$

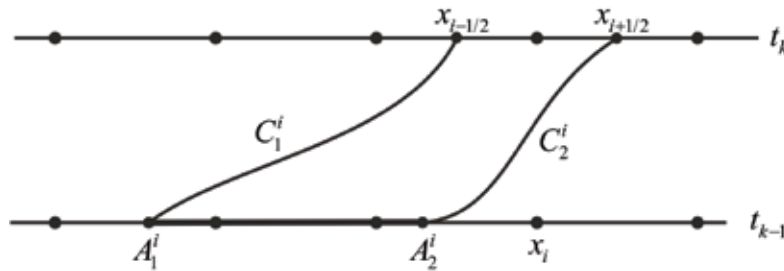


Fig. 3. Segment for partial integration on grid

But at previous level we know only integrals on segment  $[x_{i-1/2}, x_{i+1/2}]$  which generally do not coincide with segment  $[A_1^i, A_2^i]$ . For example, let we have situation at level  $t_{k-1}$  with some integer  $s$  as in Fig. 3. So, we need to use some approximation of partial integrals.

The simple way consists in approximation of solution by piece-wise constant function. Thus we put

$$\tilde{\rho}^h(t_{k-1}, x) = \tilde{\rho}^h(t_{k-1}, x_i) \equiv \frac{1}{h} \int_{x_{i-1/2}}^{x_{i+1/2}} \rho^h(t_{k-1}, x) \, dx \quad \forall x \in [x_{i-1/2}, x_{i+1/2}) \quad \forall i = 0, 1, \dots, n-1. \tag{14}$$

But this interpolation is rather rough. It gives accuracy of order  $O(h)$  only. Instead of it we take linear interpolation at each segment  $[x_i, x_{i+1}]$ . For this purpose at first we put

$$\tilde{\rho}^h(t_{k-1}, x_i) \equiv \frac{1}{h} \int_{x_{i-1/2}}^{x_{i+1/2}} \rho^h(t_{k-1}, x) \, dx \quad \forall i = 0, 1, \dots, n-1 \tag{15}$$

and then define

$$\tilde{\rho}^h(t_{k-1}, x) = \frac{1}{h}(x_{i+1} - x)\tilde{\rho}^h(t_{k-1}, x_i) + \frac{1}{h}(x - x_i)\tilde{\rho}^h(t_{k-1}, x_{i+1}) \quad \forall x \in (x_i, x_{i+1}) \quad \forall i = 0, 1, \dots, n-1 \quad (16)$$

with period  $n$  for  $i$ . This time we get interpolation accuracy of order  $O(h^2)$ .

Of course the situation at initial level ( $k=1$ ) is simpler: we can use for example trapezoidal quadrature formula for any segment  $[A_1^i, A_2^i]$  with accuracy  $O(h(A_2^i - A_1^i))$ .

Therefore our numerical algorithm for solving problem (1) – (2) is as follows. Take integer  $m > 2$  and construct uniform mesh in  $t$  with nodes  $t_k = k\tau$ ,  $k = 0, 1, 2, \dots, m$ , and meshsize  $\tau = T/m$ . Then for  $k = 0, 1, 2, \dots, m$  make the following cycle supposing that the approximate solution  $\rho^h(t_{k-1}, x_i)$  is known yet at previous time-level for  $i = 0, 1, \dots, n-1$ .

1. With the help of values in these points and periodicity we construct the piecewise linear (periodical) interpolant

$$\rho^h(t_{k-1}, x) = \frac{1}{h}(x_{i+1} - x)\rho^h(t_{k-1}, x_i) + \frac{1}{h}(x - x_i)\rho^h(t_{k-1}, x_{i+1}) \quad \forall x \in (x_i, x_{i+1}) \quad \forall i = 0, 1, \dots, n-1. \quad (17)$$

2. For each point  $(t_k, x_{i+1/2})$ ,  $i = 0, 1, \dots, n-1$ , construct trajectories  $C_{i+1/2}^k$  down to time-level  $t_{k-1}$  like in previous considerations. They produce cross-points  $(t_{k-1}, A_{i+1/2}^{k-1})$ . If  $A_{i+1/2}^{k-1}$  goes outside segment  $[0, 1]$  we use periodicity of our data.

2. For each interval  $(A_{i-1/2}^{k-1}, A_{i+1/2}^{k-1})$  compute integral

$$\tilde{I}_i = \int_{A_{i-1/2}^{k-1}}^{A_{i+1/2}^{k-1}} \rho^h(t_{k-1}, x) dx \quad (18)$$

by trapezoid quadrature formula separately at each nonempty subinterval  $(A_{i-1/2}^{k-1}, A_{i+1/2}^{k-1}) \cap (x_s, x_{s+1})$  where  $\rho^h(t_{k-1}, x)$  is linear.

3. Due to Theorem 1 it is supposed that

$$\tilde{I}_i \approx \int_{x_{i-1/2}}^{x_{i+1/2}} \rho^h(t_k, x) dx. \quad (19)$$

Therefore like in (15) – (16) we put

$$\rho^h(t_k, x_i) = \tilde{I}_i/h \quad \forall i = 0, \dots, n-1. \quad (20)$$

Thus, we complete our cycle which may be executed up to last time-level  $t_m = T$ .

Condensed form of this algorithm in terms of piecewise linear periodical interpolants is written as follows:

$$\rho^h(t_k, x_i) = \int_{A_{i-1/2}^{k-1}}^{A_{i+1/2}^{k-1}} \rho^h(t_{k-1}, x) dx/h \quad \forall i = 0, \dots, n-1, \quad \forall k = 1, 2, \dots, m. \quad (21)$$

So, we get approximate discrete solution  $\rho^h(t_k, x_i) \quad \forall i = 0, 1, \dots, n-1$  at each time-level  $t_k \quad \forall k = 1, \dots, m$ . First we prove the conservation law in discrete form.

Let a discrete function  $\rho_{\text{init}}(x_i) \quad \forall i = 0, 1, \dots, n-1$  is given, and we construct piecewise linear interpolant  $\rho_{\text{init}}^h(x) \quad \forall x \in [0, 1]$  with period 1.

**Theorem 2.** For any initial condition  $\rho_{\text{init}}(x_i) \quad \forall i = 0, 1, \dots, n-1$  the approximate solution (17)–(20)  $\rho^h(t_k, x) \quad \forall k = 1, 2, \dots, m$  satisfies the equality:

$$\int_0^1 \rho^h(t_k, x) dx = \int_0^1 \rho_{\text{init}}^h(x) dx. \quad (22)$$

**Proof.** We prove this equality by induction in  $k$ . For  $k=0$  this inequality is valid because of initial condition. Suppose that estimate (21) is valid for some  $k-1 \geq 0$  and prove it for  $k$ . Indeed, because of (18) and (20) we get

$$\int_0^1 \rho^h(t_k, x) dx = \sum_{0 \leq i \leq n-1} \int_{x_{i-1/2}}^{x_{i+1/2}} \rho^h(t_k, x) dx = \sum_{0 \leq i \leq n-1} \int_{A_{i-1/2}^{k-1}}^{A_{i+1/2}^{k-1}} \rho^h(t_{k-1}, x) dx = \int_{A_{-1/2}^{k-1}}^{A_{n-1/2}^{k-1}} \rho^h(t_{k-1}, x) dx.$$

And due to periodicity of function  $\rho^h(t_{k-1}, x)$

$$\int_{A_{-1/2}^{k-1}}^{A_{n-1/2}^{k-1}} \rho^h(t_{k-1}, x) dx = \int_0^1 \rho^h(t_{k-1}, x) dx.$$

Thus we prove

$$\int_0^1 \rho^h(t_m, x) dx = \int_0^1 \rho^h(t_{m-1}, x) dx = \dots = \int_0^1 \rho^h(t_1, x) dx = \int_0^1 \rho_{\text{init}}^h(x) dx.$$

Now we prove a stability of algorithm (17) – (20) in the discrete norm analogous to that of space  $L_1([0,1])$ :

$$\|\rho\|_1^h = \sum_{0 \leq i \leq n-1} |\rho(x_i)|h. \tag{23}$$

**Theorem 3.** For any intermediate discrete function  $\xi^h(t_{k-1}, x_i) \quad \forall k = 1, 2, \dots, m$  the solution  $\xi^h(t_k, x_i)$  of (17)–(20) satisfies the inequality:

$$\|\xi^h(t_k, \cdot)\|_1^h \leq \|\xi^h(t_{k-1}, \cdot)\|_1^h. \tag{24}$$

**Proof.** Indeed, because of (18) and (20) we get

$$\begin{aligned} \|\xi^h(t_k, \cdot)\|_1^h &= \sum_{0 \leq i \leq n-1} |\xi^h(t_k, x_i)|h = \sum_{0 \leq i \leq n-1} \left| \int_{x_{i-1/2}}^{x_{i+1/2}} \xi^h(t_k, x) dx \right| \\ &= \sum_{0 \leq i \leq n-1} \left| \int_{A_{i-1/2}^{k-1}}^{A_{i+1/2}^{k-1}} \xi^h(t_{k-1}, x) dx \right| \leq \int_{A_{i-1/2}^{k-1}}^{A_{i+1/2}^{k-1}} |\xi^h(t_{k-1}, x)| dx. \end{aligned} \tag{25}$$

Due to periodicity of functions  $\xi^h(t_{k-1}, x)$  and  $|\xi^h(t_{k-1}, x)|$

$$\int_{A_{i-1/2}^{k-1}}^{A_{i+1/2}^{k-1}} |\xi^h(t_{k-1}, x)| dx = \int_0^1 |\xi^h(t_{k-1}, x)| dx. \tag{26}$$

Let introduce the basis functions for linear interpolation

$$\varphi_i(x) = \begin{cases} (x_i - x)/h & \text{if } x \in (x_{i-1}, x_i], \\ (x - x_i)/h & \text{if } x \in (x_i, x_{i+1}), \\ 0 & \text{else.} \end{cases}$$

Then for piecewise linear interpolant we get

$$\xi^h(t_{k-1}, x) = \sum_{0 \leq i \leq n-1} \varphi_i(x) \xi^h(t_{k-1}, x_i).$$

Then

$$\begin{aligned} \int_0^1 |\xi^h(t_{k-1}, x)| dx &\leq \int_0^1 \sum_{0 \leq i \leq n-1} \varphi_i(x) |\xi^h(t_{k-1}, x_i)| dx = \sum_{0 \leq i \leq n-1} |\xi^h(t_{k-1}, x_i)| \int_{x_{i-1}}^{x_{i+1}} \varphi_i(x) dx \\ &= \sum_{0 \leq i \leq n-1} |\xi^h(t_{k-1}, x_i)|h = \|\xi^h(t_{k-1}, \cdot)\|_1^h. \end{aligned}$$

Combine this inequality with (25) and (26) we get (24).

Now evaluate an error of approximate solution in introduced discrete norm.

**Theorem 4.** For sufficiently smooth solution of problem (1)–(2) we have the following estimate for the constructed approximate solution:

$$\|\rho(t_k, \cdot) - \rho^h(t_k, \cdot)\|_1^h \leq ckh^2 \quad \forall k = 0, 1, \dots, m \tag{27}$$

with a constant  $c$  independent of  $k$  and  $h$ .

**Proof.** We prove this inequality by induction in  $k$ . For  $k = 0$  this inequality is valid because of exact initial condition (2):  $\rho^h(0, x_i) = \rho(0, x_i) = \rho_{\text{init}}(x_i) \quad \forall i = 0, 1, \dots, n-1$ . Suppose that estimate (26) is valid for some  $k-1 \geq 0$  and prove it for  $k$ .

So, at time-level  $t_{k-1}$  we have decomposition

$$\rho^h(t_{k-1}, x_i) = \rho(t_{k-1}, x_i) + \xi_{k-1}^h(x_i) \tag{28}$$

with a discrete function  $\xi_{k-1}^h(x_i)$  that satisfies the estimate

$$\|\xi_{k-1}^h\|_1^h \leq c(k-1)h^2. \tag{29}$$

Because of Taylor series in  $x$  of  $\rho(t_k, x)$  in the vicinity of point  $x_i$  we get equality

$$\rho(t_k, x_i) = \int_{x_{i-1/2}}^{x_{i+1/2}} \rho(t_k, x) dx/h + \varepsilon_i^k \quad \text{where } |\varepsilon_i^k| \leq c_1 h^2 \quad \text{with } c_1 = \frac{1}{24} \max_{x \in [0,1]} \left| \frac{\partial^2 \rho}{\partial x^2}(t_k, x) \right|. \tag{30}$$

Because of Theorem 1

$$\int_{x_{i-1/2}}^{x_{i+1/2}} \rho(t_k, x) dx/h = \int_{A_{i-1/2}^{k-1}}^{A_{i+1/2}^{k-1}} \rho(t_{k-1}, x) dx/h.$$

Instead of  $\rho(t_{k-1}, x)$  let use its piecewise linear periodical interpolant  $\rho_{\text{int}}(t_{k-1}, x)$ . Then

$$\int_{A_{i-1/2}^{k-1}}^{A_{i+1/2}^{k-1}} \rho(t_{k-1}, x) dx/h = \int_{A_{i-1/2}^{k-1}}^{A_{i+1/2}^{k-1}} \rho_{\text{int}}(t_{k-1}, x) dx/h + \eta_i^k \tag{31}$$

where  $|\eta_i^k| \leq c_2 h(A_{i+1/2}^{k-1} - A_{i-1/2}^{k-1})$  with  $c_2 = \frac{1}{8} \max_{x \in [0,1]} \left| \frac{\partial^2 \rho}{\partial x^2}(t_k, x) \right|$ .

Thus, we get equality

$$\rho(t_k, x_i) = \int_{A_{i-1/2}^{k-1}}^{A_{i+1/2}^{k-1}} \rho_{\text{int}}(t_{k-1}, x) dx/h + \eta_i^k + \varepsilon_i^k. \tag{32}$$

For  $\rho^h(t_k, x_i)$  we use (21) and (28):

$$\rho^h(t_k, x_i) = \int_{A_{i-1/2}^{k-1}}^{A_{i+1/2}^{k-1}} \rho_{\text{int}}(t_{k-1}, x) dx/h + \int_{A_{i-1/2}^{k-1}}^{A_{i+1/2}^{k-1}} \xi_{k-1}^h(x) dx/h \tag{33}$$

where values of  $\xi_{k-1}^h(x)$  are constructed by piecewise linear periodical interpolation.

Now let subtract (33) from (32), multiply its modulus by  $h$ , and sum for all  $i = 0, 1, \dots, n-1$ :

$$\|\rho(t_k, \cdot) - \rho^h(t_k, \cdot)\|_1^h \leq \sum_{0 \leq i \leq n-1} \left( |\eta_i^k| h + |\varepsilon_i^k| h + \int_{A_{i-1/2}^{k-1}}^{A_{i+1/2}^{k-1}} |\xi_{k-1}^h(x)| dx \right). \tag{34}$$

Due to Theorem 3 last terms in brackets is evaluated by  $\|\xi_{k-1}^h\|_1^h$ . Thus

$$\|\rho(t_k, \cdot) - \rho^h(t_k, \cdot)\|_1^h \leq (c_1 + c_2)h^2 + \|\xi_{k-1}^h\|_1^h. \tag{35}$$

Let put  $c = c_1 + c_2$  then this inequality is transformed with the help (29):

$$\|\rho(t_k, \cdot) - \rho^h(t_k, \cdot)\|_1^h \leq (c_1 + c_2)kh^2$$

that is equivalent to (27).

We can see that at last level we get inequality

$$\|\rho(t_m, \cdot) - \rho^h(t_m, \cdot)\|_1^h \leq cT h^2/\tau. \tag{36}$$

In some sense we got a restriction on temporal meshsize  $\tau$  to get convergence. For example, to get first order of convergence, it is enough to take

$$\tau = ch$$

with any constant  $c$  independent of  $\tau$  and  $h$ . But this restriction is not such strong up to constant as Courant–Friedrichs–Lewy (CFL) condition:



$$\max_{[0,1]} |u| \tau \leq h. \tag{37}$$

Moreover, it is opposite in meaning: here the greater  $\tau$  the better accuracy.

Thus, this approach is convenient for the problems with huge velocity  $u(t,x)$  which come from a computational aerodynamics: we have computational stability on the base of Theorem 3 and conservation law on the base of Theorem 2.

#### 4. Numerical experiment

Let take  $u(t,x)=100t$ ,  $T=1.0$  and solve this equation with initial condition

$$\rho_{\text{init}}(x) = \sin^2(2\pi x), \quad x \in [0,1].$$

Then exact solution is

$$\rho(t,x) = \rho_{\text{init}}(x - 50t^2), \quad x \in [0,1].$$

The result of implementing the presented algorithm is given in Table 1 for several  $\tau$  and  $h$ . The first column of Table 1 expresses a relation  $\tau/h$  (for most implemented values in computations) and the first string shows a number  $n$  of mesh nodes.

Other entries contain the value  $\|\rho(t_m, x) - \rho^h(t_m, x)\|_1^h$ .

Table 1

$\tau/h$ \ n	64	128	256	512	1024	2048
4	0,02358	0,01203	0,00608	0,00305	0,00153	0,00077
2	0,04536	0,02360	0,01204	0,00608	0,00305	0,00153
1	0,08423	0,04546	0,02362	0,01204	0,00608	0,00305
1/2	0,14610	0,08442	0,04548	0,02362	0,01204	0,00608
1/4	0,22493	0,14643	0,08446	0,04549	0,02362	0,01204

Thus we indeed have the first order of accuracy on  $h$  when  $\tau/h$  is fixed.

#### 5. Conclusion

Thus, we present the numerical approach which is more convenient for huge velocity  $u(t,x)$  then approaches listed in introduction. Of course, we stay some open questions like boundary condition instead of periodical one, nonlinear dependence of velocity  $u$  on solution  $p$  and other. Of course, we need to trace the effect of the approximate solving the characteristics equations instead of exact process. But we successively consider these issues in next publications, including generalization for two-dimensional and three-dimensional equations.

At first glance, this approach is some integral version of the characteristics method. Moreover, its accuracy is higher, the less time steps done in the algorithm. But in the future, we will apply it to the equations with nonzero right-hand side for the approximation of which a small time step  $\tau$  will be crucial.

#### References:

- Harten A.: On a class of high resolution total-variation-stable finite-difference schemes // SIAM J. Numer. Anal. — 1984. — V. 21. — P. 1–23.
- Harten A., Osher S.: Uniformly high-order accurate non-oscillatory schemes // I. SIAM J. Numer. Anal. — 1987. — V. 24. — P. 279–309.
- Harten A., Engquist B., Osher S., Chakravarthy S.: Uniformly high-order accurate non-oscillatory schemes, III // J. Comput. Phys. — 1987. — V. 71. — P. 231–303.
- Osher S.: Convergence of generalized MUSCL schemes // SIAM J. Numer. Anal. — 1985. — V. 22. — P. 947–961.
- Osher S., Chakravarthy S.: High-resolution schemes and entropy condition // SIAM J. Numer. Anal. — 1984. — V. 21. — P. 955–984.
- Osher S., Tadmor E.: On the convergence of different approximations to scalar conservation laws // Math. Comput. — 1988. — V. 50. — P. 19–51.

7. Sanders R.: A third-order accurate variation nonexpansive difference scheme for single nonlinear conservation laws // *Math. Comput.* — 1988. — V. 51. — P. 535–558.
8. Чирков Д.В., Черный С.Г.: Сравнение точности и сходимости некоторых TVD-схем // *Вычислительные технологии.* — 2000. — Т. 5, № 5. — С. 86–107.
9. Cockburn B., Shu C.-W.: TVB Runge-Kutta projection discontinuous Galerkin finite element method for conservation laws II: general framework // *Math. Comput.* — 1988. — V. 52. — P. 411–435.
10. Shu C.-W.: TVB uniformly high-order schemes for conservation laws // *Math. Comput.* — 1987. — V. 49. — P. 105–121.
11. Shu C.-W.: TVB boundary treatment for numerical solution of conservation laws // *Math. Comput.* — 1987. — V. 49. — P. 123–134.
12. Shu C.-W.: Total-Variation-Diminishing time discretizations // *SIAM J. Sci. Statist. Comput.* — 1988. — V. 9. — P. 1073–1084.
13. Shu C.-W., Osher S.: Efficient implementation of essentially non-oscillatory shock-capturing schemes // *J. Comput. Phys.* — 1988. — V. 77. — P. 439–471.
14. Sweby P.: High-resolution schemes using flux limiters for hyperbolic conservation laws // *SIAM J. Numer. Anal.* — 1984. — V. 21. — P. 995–1011.
15. Shaydurov V., Liu T., Zheng Z.: Four-stage computational technology with adaptive numerical methods for computational aerodynamics // *American Institute of Physics. Conference Proceedings.* — 2012. — Vol. 1484. — P. 42–48.
16. Streeter V.L., Wylie E.B.: *Fluid mechanics.* — London: McGraw-Hill. — 1998.
17. Polyanin A.D.: *Handbook of linear partial differential equations for engineers and scientists.* — Boca Raton: Chapman & Hall/CRC Press. — 2002.

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

### Анализ потребительских предпочтений при выборе творожных продуктов

Альхамова Гузель Кирамовна, старший преподаватель;  
Ребезов Максим Борисович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор;  
Амерханов Ильдар Минасхатович, аспирант;  
Мазаев Алексей Николаевич, аспирант  
Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск)

Интерес к творогу как к национальному продукту за последние годы значительно возрос, что повлекло за собой расширение ассортимента и увеличение объёмов его производства. Ранее потребители отдавали своё предпочтение творожным изделиям с повышенным содержанием жира (15–26%). В настоящее время пользуются большим спросом полужирные и обезжиренные творожные продукты, употребление которых более полезно для здоровья, так как в них содержится больше незаменимых аминокислот, обладающих высокой биологической ценностью.

С целью изучения потребительских предпочтений при выборе творожных продуктов сотрудниками кафедры «Прикладная биотехнология» ФГБОУ ВПО «ЮУрГУ» (НИУ) был проведен опрос 638 жителей г. Челябинска. Отбор респондентов проходил в соответствии со связными квотами по полу и возрасту, и отдельно — по образованию. Статистическая погрешность данных не превысила 5% (при 95%-м доверительном уровне), что считается очень высоким уровнем точности. Таким образом, выводы, сделанные в исследовании можно распространять на всех жителей г. Челябинска с точностью  $\pm 5\%$  [1, 2].

В магазинах города в основном представлена творожная продукция шести производителей: ОАО «Челябинский городской молочный комбинат», ОАО «Чебаркульский молочный комбинат», ОАО «Вимм-Билль-Данн» (г. Москва), ООО «Данон Индустрия» (г. Москва), ОАО «Камэлла Молочные Продукты» (Увельский район, Синий Бор), ООО Сыродельный завод «Оранта» (г. Челябинск) [3, 4].

Проведённый нами анализ состояния современного рынка творожных продуктов показал, что ассортимент творожных продуктов на прилавках магазинов г. Челябинска разнообразен: обезжиренный творог, творожные

десерты, массы творожные с разной массовой долей жира, массы творожные с сухофруктами, зерненный творог, творожные сырки, творожные пудинги, творожные торты, творожные казинаки и др. В качестве добавок используют: шоколад, орехи, очищенные семечки, кукурузные хлопья, печенье, кокос, сгущённое молоко, фруктово-ягодные наполнители (персик, клубника, черника, вишня, маракуйя, чернослив, малина, бананы, яблоко и др.). Ценовая разница творожных продуктов, реализуемых в различных магазинах г. Челябинска составляет примерно 4 рубля.

Однако самыми популярными продуктами из творога являются творожные глазированные сырки, их покупают 23,7% респондентов. Самыми продаваемыми марками глазированных сырков у большинства респондентов являются «Первый вкус» (ОАО «ЧГМК») и «Рыжий Ап!» (ОАО «Вимм-Билль-Данн») — продукции этих брендов отдают предпочтение порядка 30,7% и 26,4% респондентов соответственно. Среди разнообразной творожной продукции у 22,4% жителей г. Челябинска популярны творожные массы с фруктово-ягодными наполнителями; фасованный обезжиренный творог без добавок и сахара потребляют 16,8% респондентов. Творожные пудинги — сравнительно новый для России продукт, поэтому доля людей, его потребляющих, составляет 4,4%. На рынке творога и продуктов, приготовленных на основе творожных пудингов, лидируют три производителя — «Danone», «Вимм-Билль-Данн» и «Сaprina». Однако данную продукцию можно встретить чаще всего только в крупных супермаркетах.

Сравнительная характеристика предпочтений по видам творожной продукции мужчин и женщин представлена на рис. 1.

Женщины в возрасте от 18–29 лет наибольшее предпочтение отдают творожным глазированным сыркам — 41



Рис. 1. Сравнительная характеристика по видам творожной продукции в зависимости от пола респондентов

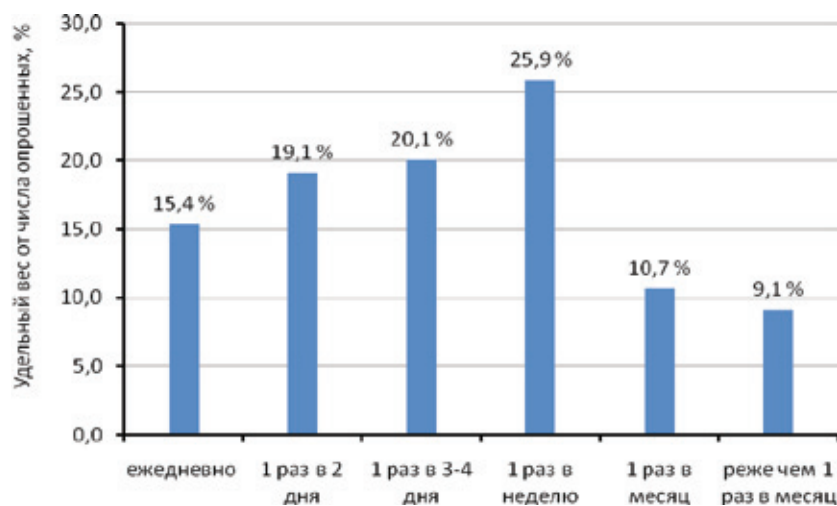


Рис. 2. Частота потребления творожных продуктов

респондент (39,8% опрошенных); женщины в возрасте от 30–39 лет – творожным массам с фруктово-ягодными наполнителями – 28 респондентов (37,8%); от 40–59 лет – творогу не более 5% жирности – 51 респондент (42,8%); в возрасте старше 59 лет – творожным глазированным сыркам – 13 респондентов (31,0%)

У мужчин в возрасте от 18–29 лет наибольшей популярностью пользуются творожные сырки – 29 респондентов (29,0% опрошенных); в возрасте от 30–39 лет – творог более 5% жирности – 25 чел. (25,0%); в возрасте от 40–49 лет – творожные массы с ягодно-фруктовыми наполнителями – 19 респондентов (33,3%); в возрасте 50–59 – обезжиренный творог – 20 респондентов (42,6%); старше 59 лет – творог жирностью не более 5% – 12 респондентов (34,3%).

Результаты проведённого опроса респондентов по вы-

явлению частоты потребления творожных продуктов представлены на рис. 2.

На рис. 3 приведены данные, характеризующие основные критерии, которыми руководствуются потребители при покупке творожных изделий.

Из диаграммы (рис. 3) видно, что при выборе творожных изделий потребители в первую очередь обращают внимание на: состав – 25,4%; срок годности – 23,8%; цену – 13,5%; внешний вид, упаковку – 11,4%; производителя – 10,7%; пищевую ценность – 10,2%; вкусовую привязанность – 5,3%.

На вопрос «Имеет ли для Вас значение калорийности творожных изделий» ответили положительно 218 женщин (61,9% опрошенных) и 112 мужчин (39,2% опрошенных), отрицательно – 134 женщины (38,1%) и 174 мужчины (60,8% опрошенных). Таким образом, калорийность яв-

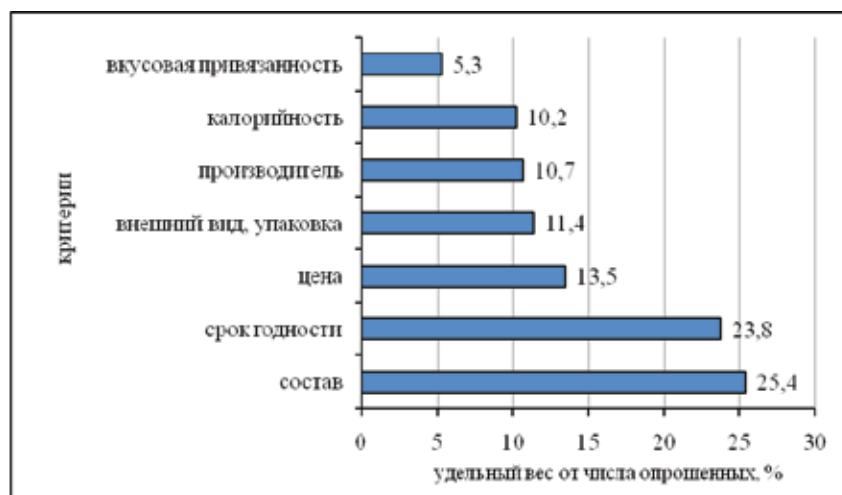


Рис. 3. Критерии при выборе респондентами творожных изделий

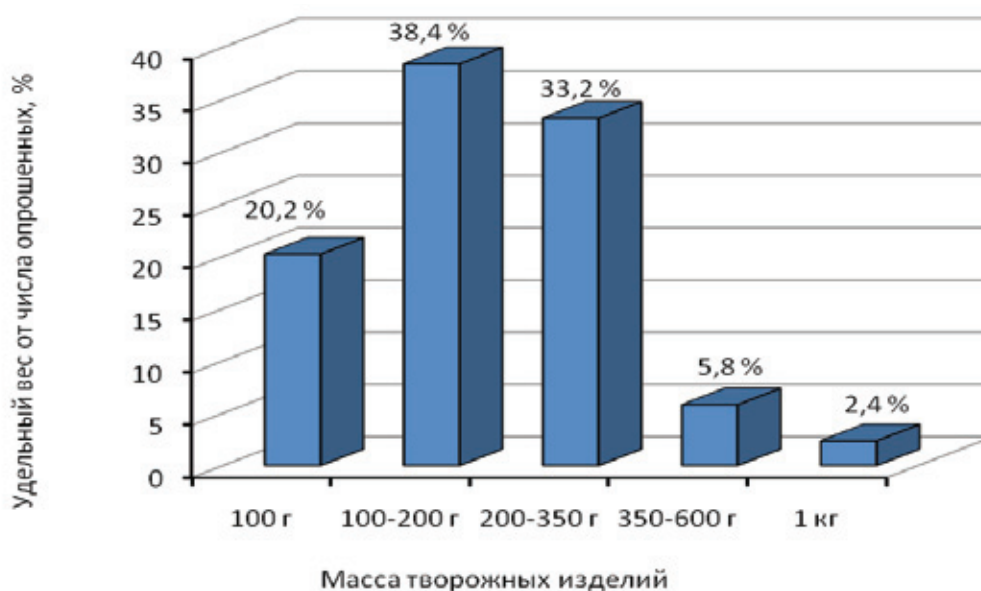


Рис. 4. Предпочтения потребителей при выборе массы творожных изделий

ляется важным критерием для женщин и для большинства мужчин не имеет значения.

На вопрос «Насколько важна для Вас полезность творожных изделий» респонденты ответили: «очень важна» – 209 респондентов (25% опрошенных), «важна» – 312 респондентов (48,9%), «не важна» – 117 респондентов (18,3%).

Респонденты в количестве 20,2% предпочитают покупать творожные изделия массой 100 г; 38,4% опрошенных – 100–200 г; 33,2% – 200–350 г; 5,8% – 350–600 г и 2,4% опрошенных предпочитают приобретать творожные изделия массой 1 кг (рис. 4).

В результате проведенного опроса было выявлено следующее:

- наиболее популярными являются творожные глазированные сырки у женщин и мужчин в возрасте от 18 до 29

лет (в основном со средним профессиональным образованием), творожные массы с фруктово-ягодными наполнителями предпочитают женщины в возрасте от 30 до 39 лет и мужчины в возрасте 40–49 лет, обезжиренный творог приобретают чаще всего женщины в возрасте 40–49 лет (в основном с высшим образованием), а творог жирностью более 5% предпочитают мужчины в возрасте 30–39 лет.

- большая часть респондентов 570 чел. (89,0% опрошенных) приобретают творожные изделия хотя бы 1 раз в неделю;

- для 218 женщин (61,9% опрошенных) и 112 мужчин (39,2% опрошенных) при выборе творожных изделий значение калорийности имеет большое значение.

Изучив потребительские предпочтения в отношении творожных продуктов, можно сделать вывод о том, что необходимо разрабатывать низкокалорийные творожные

продукты с повышенным содержанием белка и пониженным содержанием жира, что позволит способствовать профилактике ряда заболеваний, вызванных избыточной массой тела и ожирением [5].

Литература:

1. Ребезов, М.Б. Изучение отношения потребителей к обогащенным продуктам питания / М.Б. Ребезов, Н.Л. Наумова, Г.К. Альхамова и др. // Пищевая промышленность. — 2011. — №5. — С. 13–15.
2. Ребезов, М.Б. Изучение пищевого поведения потребителей / М.Б. Ребезов, Н.Л. Наумова, А.А. Лукин, Г.К. Альхамова, М.Ф. Хайруллин // Вопросы питания. — 2011. — №6. — С. 123–126.
3. Ребезов, М.Б. Творожные изделия с функциональными свойствами: монография / М.Б. Ребезов, Г.К. Альхамова, Н.Н. Максимюк и др. — Челябинск: ЮУрГУ, 2011. — 94 с.
4. Ребезов, М.Б. Конъюнктура предложения обогащённых молочных продуктов на примере Челябинска / М.Б. Ребезов, Н.Л. Наумова, Г.К. Альхамова, Е.Ю. Кожевникова, А.В. Сорокин // Молочная промышленность. — 2011. — №8. — С. 38–39.
5. Ребезов, М.Б. Сроки хранения национального творожного продукта / М.Б. Ребезов, Г.К. Альхамова, Н.Л. Наумова // Молочная промышленность. — 2011. — №11. — С. 66–67.

## Исследование напряженно-деформированного состояния деревянных гнутоклееных рам

Арискин Максим Васильевич, кандидат технических наук, старший преподаватель;

Гуляев Дмитрий Владимирович, студент;

Агеева Ирина Юрьевна, студент

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Достоверный расчет несущих конструкций является основой при их оптимизации. Одним из путей уменьшения трудоемкости, материалоемкости и стоимости дощатоклееных рам является выбор их оптимальных параметров — уклона ригеля и шага. Целесообразность проведения такого исследования очевидна, так как будет способствовать расширению применения этих, конструкций в строительстве.

Вышеуказанный комплекс взаимосвязанных вопросов определил основную цель работы, которая заключается в экспериментально-теоретическом исследовании напряженно-деформированного состояния рам типа ДГРП с целью совершенствования расчета на прочность и выбор оптимальных параметров рам, применительно к габаритным размерам зданий.

**Для разрешения изложенных выше и сопряженных с ними задач в настоящей работе поставлены следующие цели исследования:**

- теоретически исследовать напряженно-деформированное состояние рам
- выполнить сравнительный анализ одно и трех шарнирных рам.
- смоделировать и сравнить полученные результаты с результатами ранее проведенного экспериментального исследования в диссертации Табунова С.Ю. «Расчет и выбор оптимальных параметров РАМ с прямолинейным ригелем и гнутоклееными стойками для сельскохозяйственных зданий» [1]

— провести оценку полученных результатов и дать рекомендации по проектированию и расчету клееных рам.

### **Выбор формы и размеров исследуемой рамы**

Методикой предусматривалось расчет различных рам методом конечных элементов основные размеры рам приняты из условия предварительных расчетов рам: высота сечения рам назначается в пределах  $1/12 \dots 1/30$  пролета рам. Высота поперечного сечения ригеля рам в коньковом узле принимается не менее  $0,3 h$ , а в опорном сечении — не менее  $0,4 h$ .

Прямолинейные элементы рам изготавливаются из слоев толщиной после острожки 32 мм. Толщина слоев в гнутоклееных рамах зависит от внутреннего радиуса кривизны в карнизном узле и назначается в пределах 16...24 мм (см. табл. 8 СНиП [8]). Радиус гнутого узла принимается в пределах 2м — 4м.

Основные параметры гнутоклееной рамы показаны на рис. 1.

Расчет выполнен с помощью проектно-вычислительного комплекса SCAD. Комплекс реализует конечно-элементное моделирование статических и динамических расчетных схем, проверку устойчивости, выбор невыгодных сочетаний усилий, подбор арматуры железобетонных конструкций, проверку несущей способности стальных конструкций. В представленной ниже пояснительной записке описаны лишь фактически использованные при расчетах названного объекта возможности комплекса SCAD.

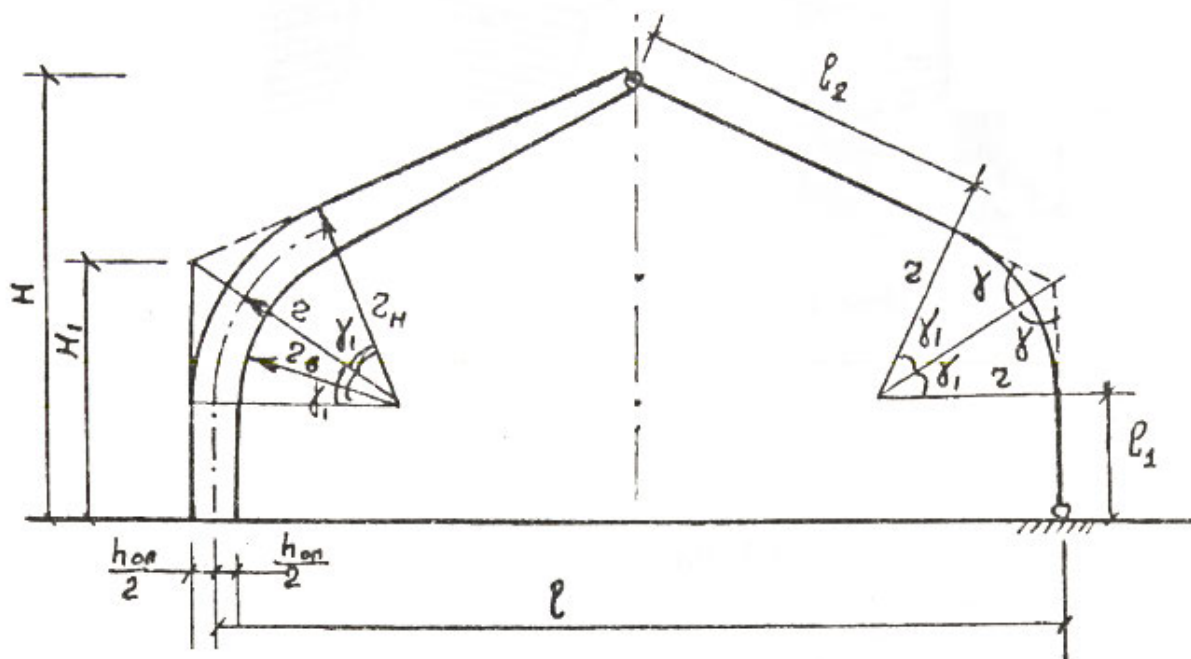


Рис. 1. Деревянная гнутоклееная рама

В основу расчета положен метод конечных элементов с использованием в качестве основных неизвестных перемещений и поворотов узлов расчетной схемы. В связи с этим идеализация конструкции выполнена в форме, приспособленной к использованию этого метода, а именно: система представлена в виде набора тел стандартного типа (стержней, пластин, оболочек и т.д.), называемых конечными элементами и присоединенных к узлам (рис 2)

Тип конечного элемента определяется его геометрической формой, правилами, определяющими зависимость между перемещениями узлов конечного элемента и узлов системы, физическим законом, определяющим зависимость между внутренними усилиями и внутренними перемещениями, и набором параметров (жесткостей), входящих в описание этого закона и др.

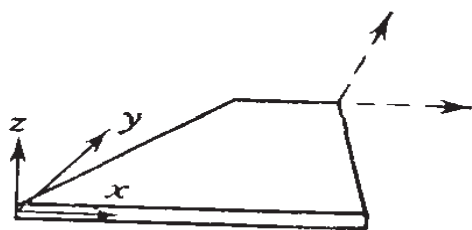


Рис. 2. Конечный элемент

Узел в расчетной схеме метода перемещений представляется в виде абсолютно жесткого тела исчезающе малых размеров. Положение узла в пространстве при деформациях системы определяется координатами центра и углами поворота трех осей, жестко связанных с узлом. Узел представлен как объект, обладающий шестью степе-

нями свободы — тремя линейными смещениями и тремя углами поворота.

Все узлы и элементы расчетной схемы нумеруются. Номера, присвоенные им, следует трактовать только, как имена, которые позволяют делать необходимые ссылки.

Конечные элементы оболочек, геометрическая форма которых на малом участке элемента является плоской (она образуют многогранник, вписанный в действительную криволинейную форму срединной поверхности оболочки). Для этих элементов, в соответствии с идеологией метода конечных элементов, истинная форма перемещений внутри элемента приближенно представлена упрощенными зависимостями. Описание их напряженного состояния связано с местной системой координат, у которой оси  $X_1$  и  $Y_1$  расположены в плоскости элемента и ось  $Z_1$  ортогональна поверхности элемента.

Треугольный элемент типа 42, не является совместным и моделирует поле нормальных перемещений внутри элемента полиномом 4 степени, а поле тангенциальных перемещений полиномом первой степени. Располагается в пространстве произвольным образом.

Четырехугольный элемент типа 44, который имеет четыре узловые точки, не является совместным и моделирует поле нормальных перемещений внутри элемента полиномом 3 степени, а поле тангенциальных перемещений неполным полиномом 2 степени. Располагается в пространстве произвольным образом.

В конечных элементах оболочки вычисляются следующие усилия (рисунок 3):

- нормальные напряжения  $N_X, N_Y$ ;
- сдвигающее напряжений  $T_{XY}$ ;

- моменты  $M_X$ ,  $M_Y$  и  $M_{XY}$ ;
- перерезывающие силы  $Q_X$  и  $Q_Y$ ;

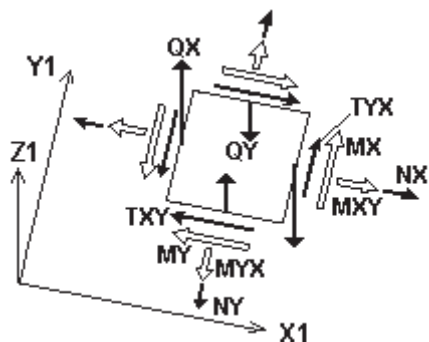


Рис. 3. Конечный элемент

На рис. 3 показаны положительные значения напряжений, перерезывающих сил и векторов моментов, действующие по граням элементарного прямоугольника, вырезанного в окрестности центра тяжести КЭ оболочки.

Основная система метода перемещений выбирается путем наложения в каждом узле всех связей, запрещающих любые узловые перемещения. Условия равенства нулю усилий в этих связях представляют собой разрешающие уравнения равновесия, а смещения указанных связей – основные неизвестные метода перемещений.

В общем случае в пространственных конструкциях в узле могут присутствовать все шесть перемещений:

- 1 – линейное перемещение вдоль оси X;
- 2 – линейное перемещение вдоль оси Y;
- 3 – линейное перемещение вдоль оси Z;
- 4 – угол поворота с вектором вдоль оси X (поворот вокруг оси X);
- 5 – угол поворота с вектором вдоль оси Y (поворот вокруг оси Y);
- 6 – угол поворота с вектором вдоль оси Z (поворот вокруг оси Z).

Нумерация перемещений в узле (степеней свободы), представленная выше, используется далее всюду без

специальных оговорок, а также используются соответственно обозначения X, Y, Z,  $U_X$ ,  $U_Y$  и  $U_Z$  для обозначения величин соответствующих линейных перемещений и углов поворота.

В соответствии с идеологией метода конечных элементов, истинная форма поля перемещений внутри элемента (за исключением элементов стержневого типа) приближенно представлена различными упрощенными зависимостями. При этом погрешность в определении напряжений и деформаций имеет порядок  $(h/L)^k$ , где  $h$  – максимальный шаг сетки;  $L$  – характерный размер области. Скорость уменьшения ошибки приближенного результата (скорость сходимости) определяется показателем степени  $k$ , который имеет разное значение для перемещений и различных компонент внутренних усилий (напряжений).

**Системы координат**

Для задания данных о расчетной схеме могут быть использованы различные системы координат, которые в дальнейшем преобразуются в декартовы. В дальнейшем для описания расчетной схемы используются следующие декартовы системы координат:

Глобальная правосторонняя система координат XYZ, связанная с расчетной схемой

Локальные правосторонние системы координат, связанные с каждым конечным элементом.

**Выбор типа расчетной схемы**

Расчетная схема определена как система с признаком 5. Это означает, что рассматривается система общего вида, деформации которой и ее основные неизвестные представлены линейными перемещениями узловых точек вдоль осей X, Y, Z и поворотами вокруг этих осей.

Гнутоклееная деревянная рама представлена как трех шарнирная и одна шарнирная. Заданные правильные граничные условия, и приложена расчетная нагрузка. рассмотрены три комбинации загрузжений:

- 1) Собственный вес (0.05 Т/м) + погонная нагрузка от покрытия (0.68 Т/м)+ снег на всю длину (0.54 Т/м)

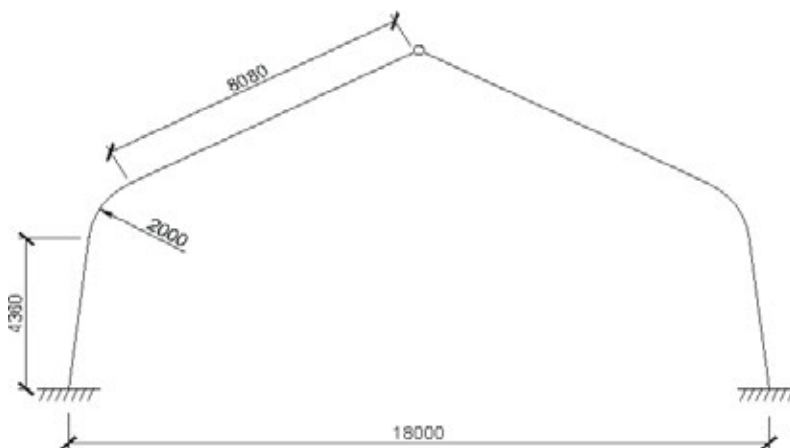


Рис. 4. Геометрические размеры рамы



2) Собственный вес (0.05 Т/м) + погонная нагрузка от покрытия (0.68 Т/м) + снег слева (0.54 Т/м)

3) Собственный вес (0.05 Т/м) + погонная нагрузка от покрытия (0.68 Т/м) + снег справа (0.54 Т/м)

При анализе результатов расчёта, было выяснено, что введение «лишних» связей, т.е. статической неопределённости в статическую работу рам, приводит к перераспределению усилий с наиболее напряженного участка (гнутой карнизной части) рамы в менее напряженные места. Учитывая то, что карнизная гнутая часть является наиболее ответственной, с точки зрения безопасности работы рамы, подобное явление благоприятно, поскольку позволяет при проектировании рамы уменьшить рабочее сечения в опасных участках и более надежно выполнить напряженный участок гнутой рамы.

Сравнивая величины максимальных изгибающих моментов, возникающих в одношарнирной и трехшарнирной рамах, можно отметить снижение расчетных усилий в на-

иболее опасном и напряженном сечении почти на 6%. Естественно что такое снижение максимального изгибающего момента в раме может привести к уменьшению высоты рабочего сечения почти на 50%

Перераспределение изгибающего момента с карнизного узла на определенную часть стоек рамы, с другой стороны, может привести к увеличению высоты сечения стоек рамы в определенных участках. Однако следует заметить, что на этих участках отсутствует кривизна (что лучше для работы деревянного клееного элемента) и выравнивание высоты сечения рамы по длине ее снимет технологические трудности при выполнении переменной высоты сечения по длине рамы.

Считаем, что изменение статической схемы рамы, т.е. переход на рамы одношарнирные может дать в целом технико-экономический эффект как в расходе клееной древесины так и в трудозатрат при их изготовлении.

#### Литература:

1. Расчет и выбор оптимальных параметров РАМ с прямолинейным ригелем и гнутоклееными стойками для сельскохозяйственных зданий: диссертация... кандидата технических наук Табунова С.Ю.: 05.23.01 61 85–5/236 Ленинград, 1984
2. СНиП II-25–80, «Деревянные конструкции». М., Стройиздат, 1980 г.

## Исследование напряженно-деформированного состояния гнутых карнизных узлов рам

Арискин Максим Васильевич, кандидат технических наук, старший преподаватель;

Гуляев Дмитрий Владимирович, студент;

Агеева Ирина Юрьевна, студент

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

В настоящее время потребность в деревянных строительных конструкциях возрастает ежегодно. Значит, выбор наиболее оптимальных и экономически выгодных конструктивных схем является наиболее перспективных областей исследований в области деревянных конструкций. В настоящей статье будут рассматриваться гнуто карнизные узлы деревянных рам. Неблагоприятные условия в карнизном узле возникают в раме с трехшарнирным закреплением, поэтому для дальнейшего исследования выберем ее.

#### Методика построения конечно элементной модели

Схема была разбита вручную МКЭ в виде пластин. Для достижения более лучшей картины напряжений разработана сетка конечных элементов с шагом 0.1 метр. Конструкции гнутого узла, ригеля и стойки разрабатывались отдельно друг от друга.

#### Последовательность разбивки гнутого узла

1. По внешнему и внутреннему контуру радиуса узла были размещены точки с шагом 0.1 м (рис. 1)

2. От точек внешнего контура рамы проводились прямые к точке построения радиуса (АО, ВО, СО и т.д.) и на пересечении этих элементов и элементов внутреннего контура отмечались точки пересечения (1, 2, 3, 4, и т.д.).

3. В зависимости от высоты сечения, элемент по высоте разбивался на определенное количество точек с шагом 0.1 м.

4. На полученном поле точек с помощью функции «добавление пластины» строились элементы по четырем точкам.

Площадь элементов уменьшается к точке построения радиуса.

Такая схема расположения пластин в пространстве была разработана и принята вследствие более точных результатов, правильной ориентации элементов, отсутствия элементов и нежелательных сопряжений дающих нечеткую картину исследуемых результатов.

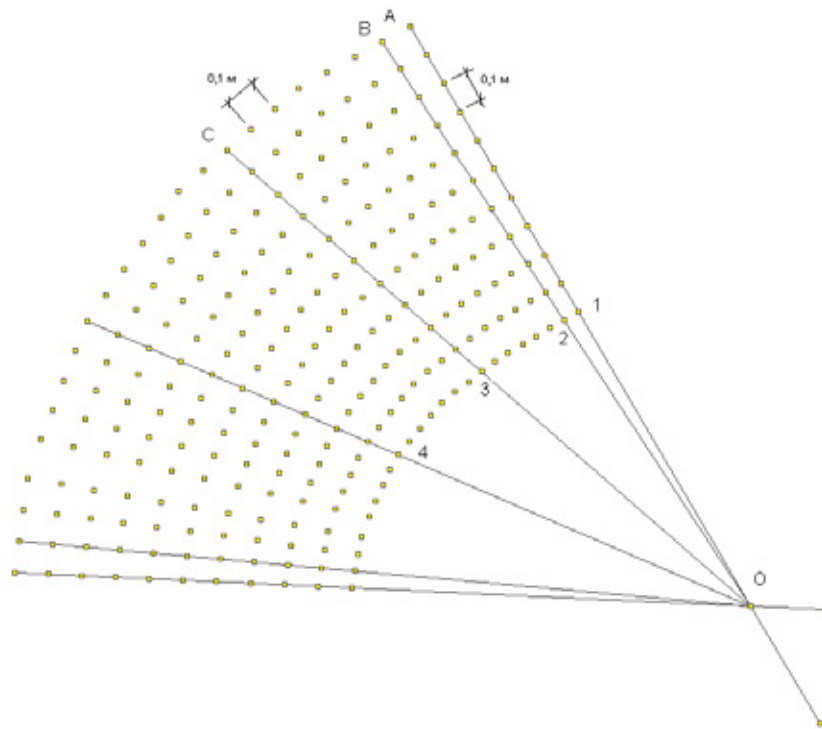


Рис. 1. Последовательность моделирования узла

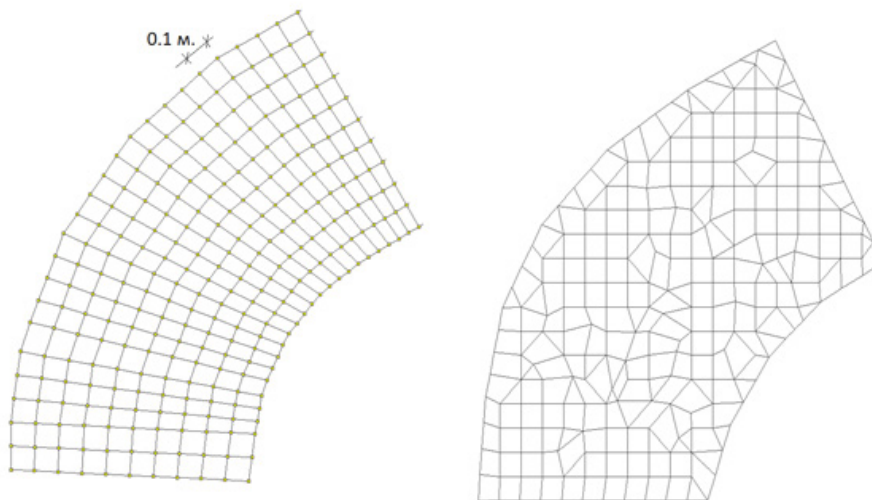


Рис. 2. а) Ручная разбивка сетки б) Автоматическая разбивкаSCAD

**Последовательность разбивки ригеля:**

1. После построения узла, в зависимости от количества горизонтальных точек верха ригеля, на такое же разбивается нижняя.
2. С помощью функции «задание контура» обозначается контур через четыре точки, из них две ближайшие верхние и соответствующие им нижние.
3. Производится разбивка контура на пластины. задается шаг разбивки 0.1 м. Действие повторяется несколько раз.

Таким образом избегается перепад напряжений, появление нежелательных сопряжений и элементов других

конфигураций. Улучшается эстетический вид.

**Граничные условия**

Для реализации расчетной схемы в М. К. Э. необходимо было правильно задать условия, что становится проблематичным, так как рассчитываемая модель становится не стержневой, а плоской. В связи с этим был разработан шарнирный узел для пластинчатого конечного элемента.

Последовательность разработки:

1. От середины нижней части рамы была удалена точка на 0,3 м. В ней были запрещены перемещения в направлениях X YZ.

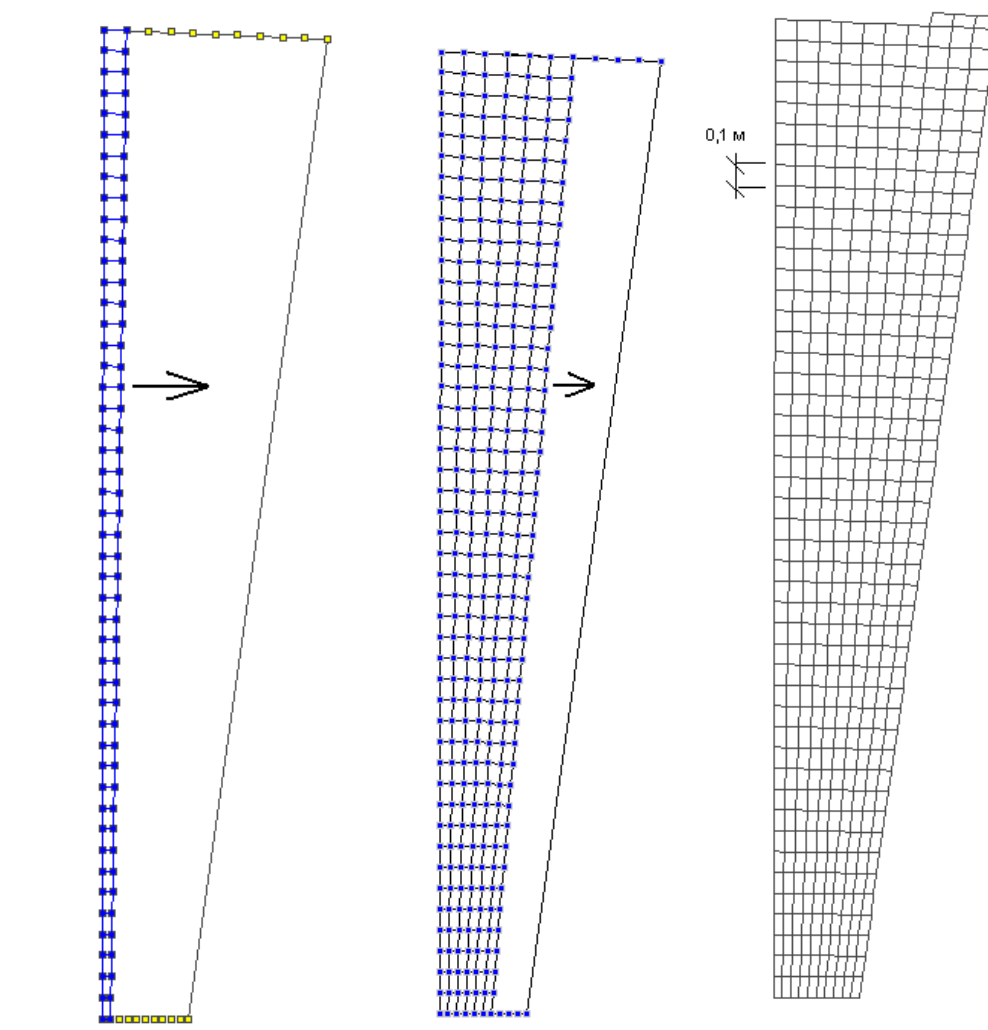


Рис. 3. Последовательность моделирования ригеля

2. В крайней точке справа запрещены перемещения в направлении X

3. с помощью команды «объединение перемещений» перемещения по направлениям X YZUxUzUy в нижних точках рамы, и точки удаленной от рамы совмещаются, как показано на Рис. 4

4. В верхней части моделируется шарнир, задаются ограничения в серединной точке по направлениям X YUxUy. Точка показана на Рис. 5

Все внутренние напряжения в каждом пластинчатом конечном элементе были выровнены по направлению вдоль волокон древесины, что предоставляет реальную картину происходящих процессов в исследуемой раме.

**Исходные данные для расчетов**

Параметры образцов, подвергаемых теоретическому расчету, назначались исходя из поставленных целей исследования. Изменяемыми параметрами являлись:

- радиус гнута рамы, r
- высота сечения рамы h.

Не изменяемыми параметрами являлись:

- ширина пролета рамы 18 м;

– толщина балок –  $\delta$

Расчет производился при действии на образец силы равной  $q=1$  т/м.

Было принято несколько видов образцов рамы, размеры которых описаны в табл.1.

Таблица 1. Основные характеристики образцов

Обозначение	r – радиус гнутой части (м)	h – высота сечения (мм)
ДГКР-1,5-1040	1,5	1040
ДГКР-2-1040	2	1040
ДГКР-2,5-1040	2,5	1040
ДГКР-3-990	3	990
ДГКР-3-1040	3	1040
ДГКР-3-1150	3	1150
ДГКР-3-1240	3	1240
ДГКР-3-1330	3	1330
ДГКР-3,5-1040	3,5	1040
ДГКР-4-1040	4	1040
ДГКР-4,5-1040	4,5	1040

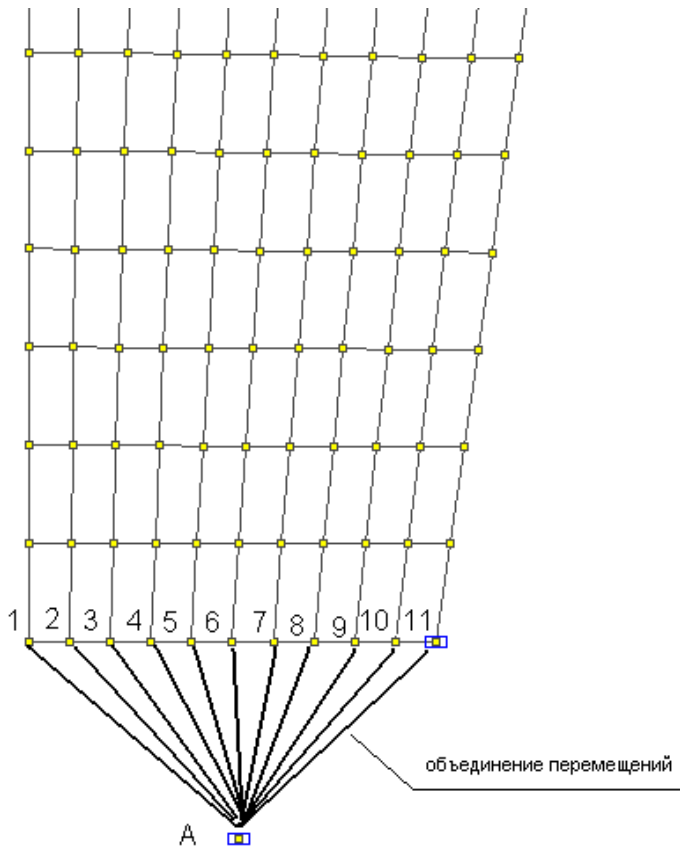


Рис. 4. Шарнирное закрепление рамы в нижней части

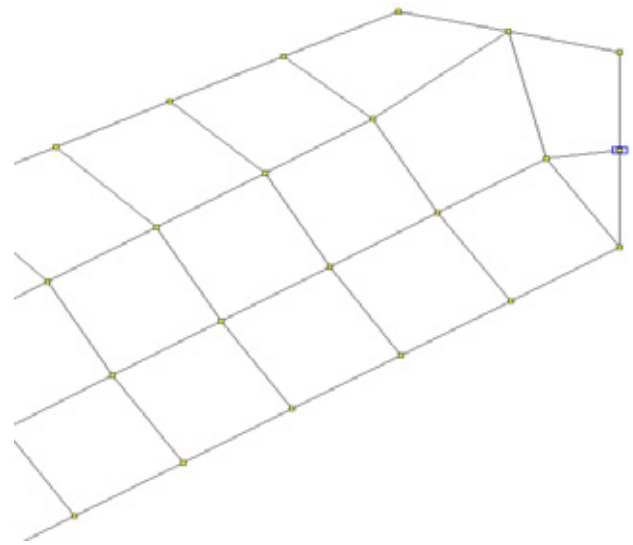


Рис. 5. Шарнирное закрепление рамы в верхней части

Результаты расчета исследуемых рам представлены в научно-исследовательской работе Сащенко Е.О. [2]

**Сравнение результатов с экспериментальными исследованиями**

**Цель сравнения данных**

Целью исследований является подтвердить целесообразность выбора модели построенной рамы и точность получаемых результатов. Для этого было принято использовать на ранее проведенные экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния клееных рам и выявление их несущей способности при статических нагрузках, описанных в диссертации Табунова С.Ю. [1]

**Разработка и моделирование проведенного эксперимента**

В программном комплексе SCAD были смоделированы две рамы с помощью принятой методике разбивки на конечные элементы, они же для экспериментальных исследований были изготовлены в диссертации. Рамы серии – пролетом 5 м моделировались по геометрической схеме с уклоном ригеля, принятым в типовых проектах (1:4), и с уклоном, принятым на основе предварительных технико-экономических расчетов. Размеры поперечных сечений назначались из расчета рам без учета дополнительного момента от нормальной силы. Расчетная нагрузка определялась из условия прочности по крайним напряжениям в карнизном узле и на скалы-

вание у опоры. Основные размеры экспериментальной рамы [1] приведены в таблица 1. Схема испытательной установки и назначение модели рамы приведены на рис. 8, 9. Результаты эксперимента приведены на рис. 10 и 11.

**Анализ результатов**

Анализируя полученные результаты, следует отметить, что нормальные (тангенциальные) напряжения меняют свою форму от линейной в прямолинейных и переходных участках до близкой к гиперболической (с незначительным искажением в виде вогнутости вблизи растянутой кромки) в зоне биссектрисы. Такой характер отклонения в растянутой зоне объясняется влиянием анизотропии. Распределение касательных напряжений так же имеет специфический характер. Если в прямолинейном участке (сечение 9) эпюра  $\tau_{xy}$  имеет симметричную параболическую форму, то в переходном участке очертание эпюры изменяется, появляется асимметричность с местным увеличением  $\tau_{xy}$  вблизи растянутых кромок. Максимальные значения касательных напряжений смещаются в сторону сжатой зоны.

**Выводы**

1. Практика отечественного и зарубежного строительства показала экономическую и техническую целесообразность применения клееных деревянных рам в качестве несущего каркаса в зданиях общественного, спортивного, промышленного и других типов зданий.

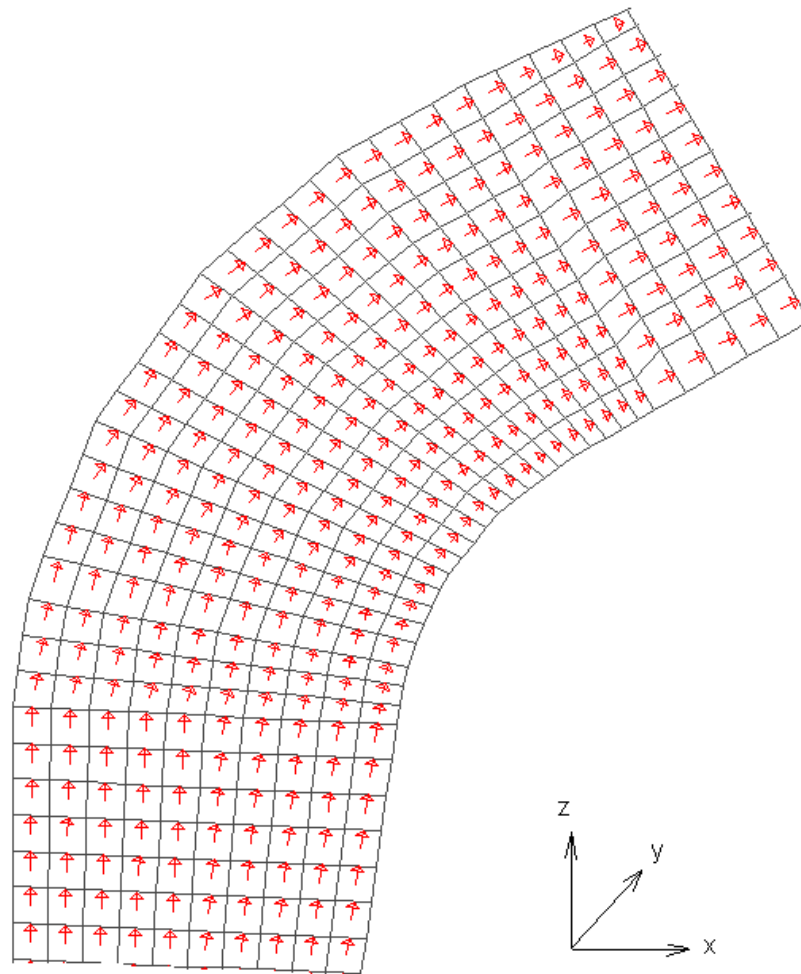


Рис. 6. Схема выдачи внутренних напряжений

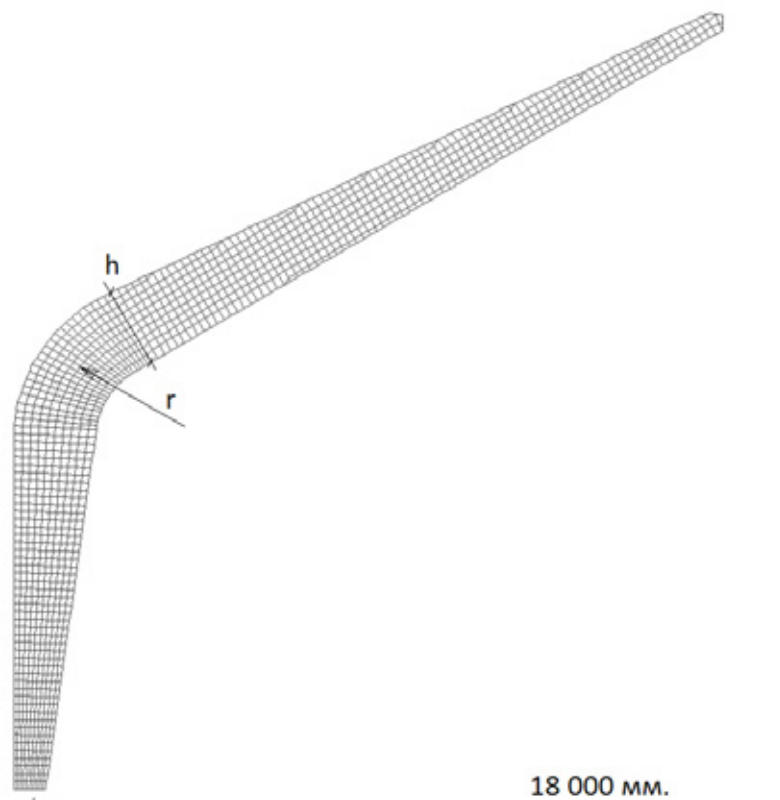


Рис. 7 Общий вид рамы разбитой на конечные элементы

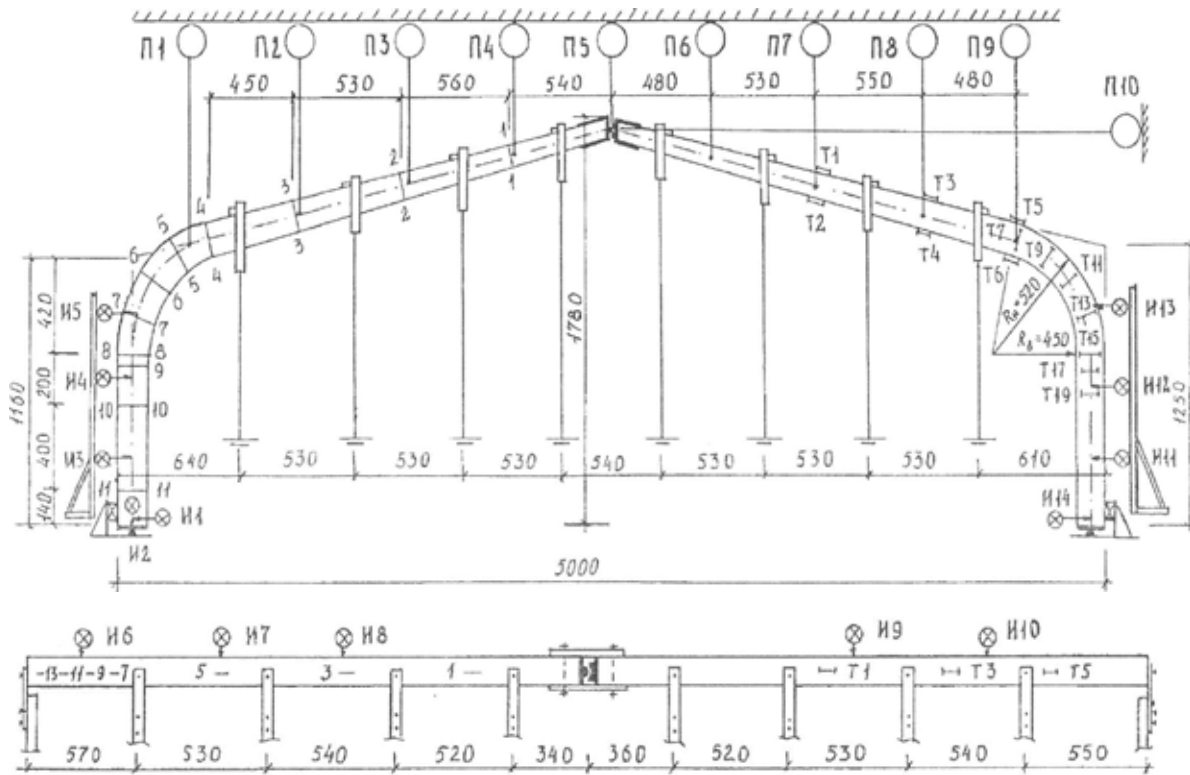


Рис. 8. Схема испытательной установки и расстановки приборов в раме [4]. П1-Прогибомеры типа 6ПА0; Т – тензометры Н.Н. Аистова; индикаторы часового типа; 5–5 – сечения (оснащенные тензорезисторами)

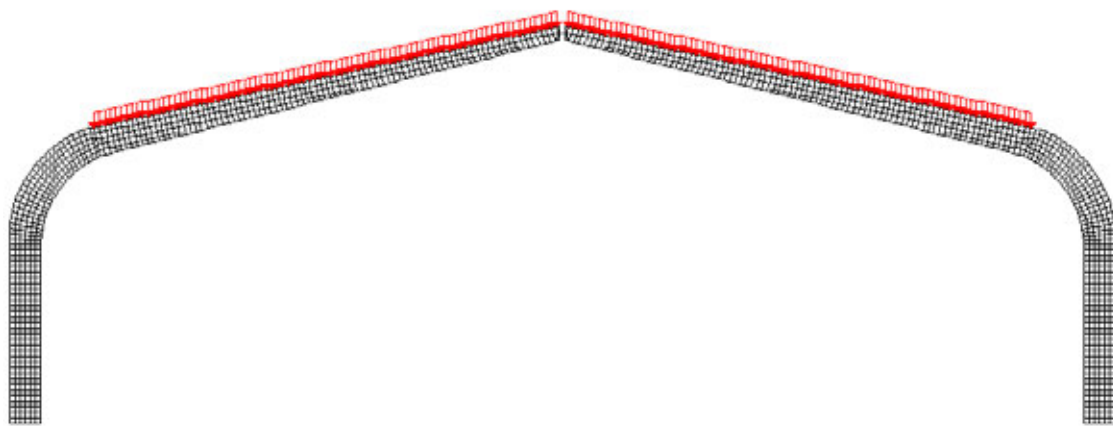


Рис. 9. Схема расчетной модели рамы построенной в Программном комплексе SCAD 11.3

Рамы имеют существенных преимуществ: транспортабельность, легкость, надежность, эстетичность, экологичность и др.

2. Конструктивные расчеты показали, что наряду с трех шарнирными клееными рамами целесообразно и экономически выгодно применять одношарнирные статически неопределимые клееные рамы. Такие рамы более технологичны в изготовлении и экономически выгодны по расходу древесины, поскольку обладают меньшими расчетными усилиями при прочих одинаковых условиях чем трехшарнирные.

3. Разработанная методика построения расчетной модели деревянной гнутоклееной рамы с помощью прямоугольных конечных элементов в программном комплексе SCAD дает более достоверный и точный результат исследуемых параметров.

4. Полученные картины напряженно деформированного состояния криволинейной части гнутоклееной деревянной рам, позволяющие оценить действительную работу рам и назначить параметры сечения, с учетом этих факторов.

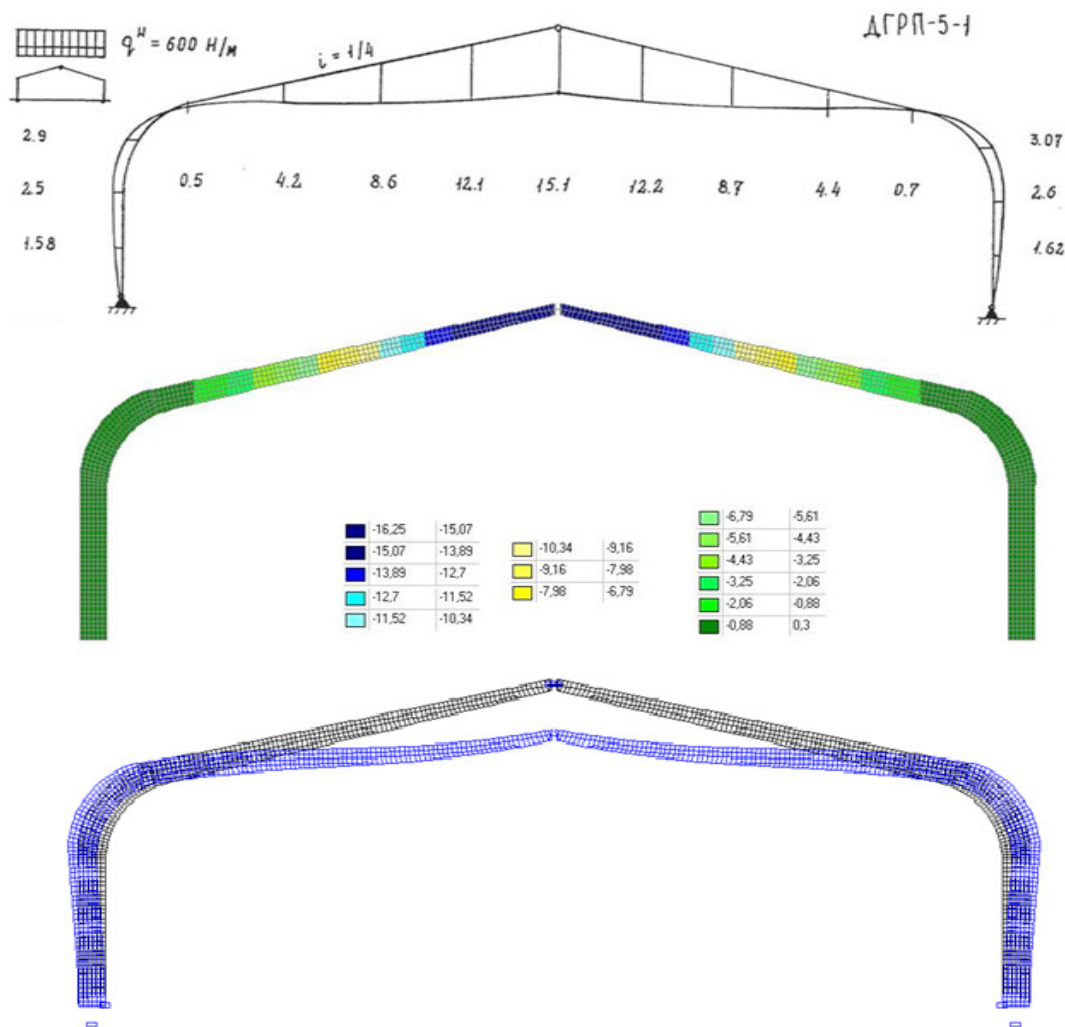


Рис. 10. Экспериментальные кривые перемещений осей рам серии ДГРП-5-1 – при нормативной нагрузке: а) симметричная по данным Табунова С.Ю. [4]; б) по расчету в SCAD 11.3

5. Проведенные теоретическое исследования показали зависимость уровня напряженного состояния гнутой части рамы от таких параметров, как радиус кривизны, высоты поперечного сечения относительно радиуса кривизны ( $r/h$ ), толщины склеенных досок по отношению к радиусу ( $\delta/r$ ) получены зависимости максимальных напряжений от исследуемых параметров рамы.

6. Полученные результаты исследований показали хорошую достоверность путем сравнения их с экспериментальными данными, приводимыми в диссертационной работе Табунова С.Ю. Расхождения при сравнительном анализе составили не более 4–8%, что указывает на возможность исследования данной методики расчета в практическом проектировании.

Литература:

1. Расчет и выбор оптимальных параметров РАМ с прямолинейным ригелем и гнутоклееными стойками для сельскохозяйственных зданий: диссертация... кандидата технических наук Табунова С.Ю.: 05.23.01 61 85–5/236 Ленинград, 1984
2. «Оптимизация параметров гнутоклееных рам и совершенствование методов их расчета» Сащенко Е.О., ПГУАС, Пенза, 2010 г

## Экспериментальное исследование статических и динамических характеристик газотурбинных двигателей на автоматизированных лабораторных установках SR-30 и TJ-100 при различных алгоритмах управления двигателем

Ахмедзянов Дмитрий Альбертович, доктор технических наук, профессор;

Кишалов Александр Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент;

Маркина Ксения Васильевна, аспирант, младший научный сотрудник;

Бакирова Зилия Нуримановна, студент

Уфимский государственный авиационный технический университет

Современный авиационный газотурбинный двигатель (ГТД) — это технический объект со сложной организацией рабочего процесса, с чрезвычайно высоким уровнем рабочих параметров потока, разветвлённой системой автоматического управления контроля и диагностики [1].

В настоящее время для ускорения и удешевления процесса проектирования новейшей перспективной техники широко применяются технологии компьютерного моделирования. На стадии выбора конструктивной схемы и основных параметров цикла ГТД применяются различные системы имитационного моделирования (СИМ) в термогазодинамическом аспекте. Одной из таких систем является СИМ DVIG\_OTLADKA [2], позволяющая моделировать установившиеся и переходные процессы, происходящие в авиационных ГТД и энергетических установках на их базе с учётом действия системы автоматического управления, контроля и диагностики (САУ) [3–5]. Для успешного применения данного программного комплекса — разработанных методов и средств имитационного моделирования, при проектировании новой перспективной авиационной техники, необходима экспериментальная проверка её работоспособности. Целью данной статьи является моделирование и экспериментальное исследование различных установившихся и переходных режимов на автоматизированных лабораторных установках SR-30 и TJ-100.

### Моделирование динамических процессов, протекающих в SR-30

В работах [3, 5] подробно описаны общие подходы к моделированию авиационных ГТД совместно с их автоматикой в СИМ DVIG\_OTLADKA. Двигатель SR-30 — это одновальный ГТД, состоящий из входного устройства, центробежного компрессора, противоточной кольцевой камеры сгорания, осевой одноступенчатой турбины и реактивного сопла [5] (рис. 1).

САУ SR-30 работает следующим образом: в зависимости от угла установки РУД поддерживается частота вращения ротора с коррекцией по температуре на входе

в двигатель (т. е. реализуются следующие законы управления  $n = f(\alpha_{\text{РУД}}, T_h)$  и  $G_t = f(n)$ ); ограничиваются предельные значения частоты вращения ротора  $n_{\text{max}}$  и температуры газов перед турбиной  $T_{\Gamma}^*$  [8].

Топологическая модель двигателя SR-30 и его САУ в СИМ DVIG\_OTLADKA представлена на рис. 2. При помощи структурного элемента (СЭ) «РУД» моделируется управление двигателем ( $\alpha_{\text{РУД}}$ ); при помощи СЭ «Насос-регулятор» выполняется поддержание заданной частоты вращения ротора изменением расхода топлива в камере сгорания ( $G_t = f(n)$ ); при помощи СЭ «Ограничитель предельных параметров (механический)» ограничивается максимальная частота вращения ротора  $n_{\text{max}}$ ; при помощи СЭ «Ограничитель предельных параметров (газодинамический)» ограничивается максимальная температура в камере сгорания  $T_{\Gamma}^*$ . СЭ «Подача топлива», «Смеситель» и «Разветвитель информационных потоков» — технологические элементы необходимые для переключения на другие программы регулирования.

Для моделирования двигателя с его САУ необходим закон расчёта, приведённый в табл. 1.

Управляющее воздействие на двигатель задаётся при помощи задания в законе расчёта (табл. 1) изменения угла установки РУД во времени  $\alpha_{\text{РУД}} = f(t)$  (рис. 3). Автоматика двигателя преобразует управляющее воздействие с учётом действия гидрозамедлителя — ограничивается темп изменения угла установки РУД  $\alpha_{\text{РУД}}$  (т. е. САУ двигателя значения  $\alpha_{\text{РУД}}$  приходят с некоторым запаздыванием).

В данном случае смоделирован процесс встречной приёмности: в начальный момент времени двигатель работал на 100% частоты вращения ротора ( $\alpha_{\text{РУД}} = 67^\circ$ ), на 1-й секунде угол установки РУД уменьшился до  $45^\circ$  за 0,1 с. На 5-й секунде угол установки РУД увеличился с  $45^\circ$  до  $67^\circ$  за 0,1 с.

На рис. 4 приведены линия рабочих режимов (дроссельная) и переходный процесс «Встречная приёмность» на характеристике компрессора.

Динамические характеристики двигателя определяются моментом инерции ротора. Для моделируемого двигателя момент инерции ротора принят равным  $0,00045 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ .



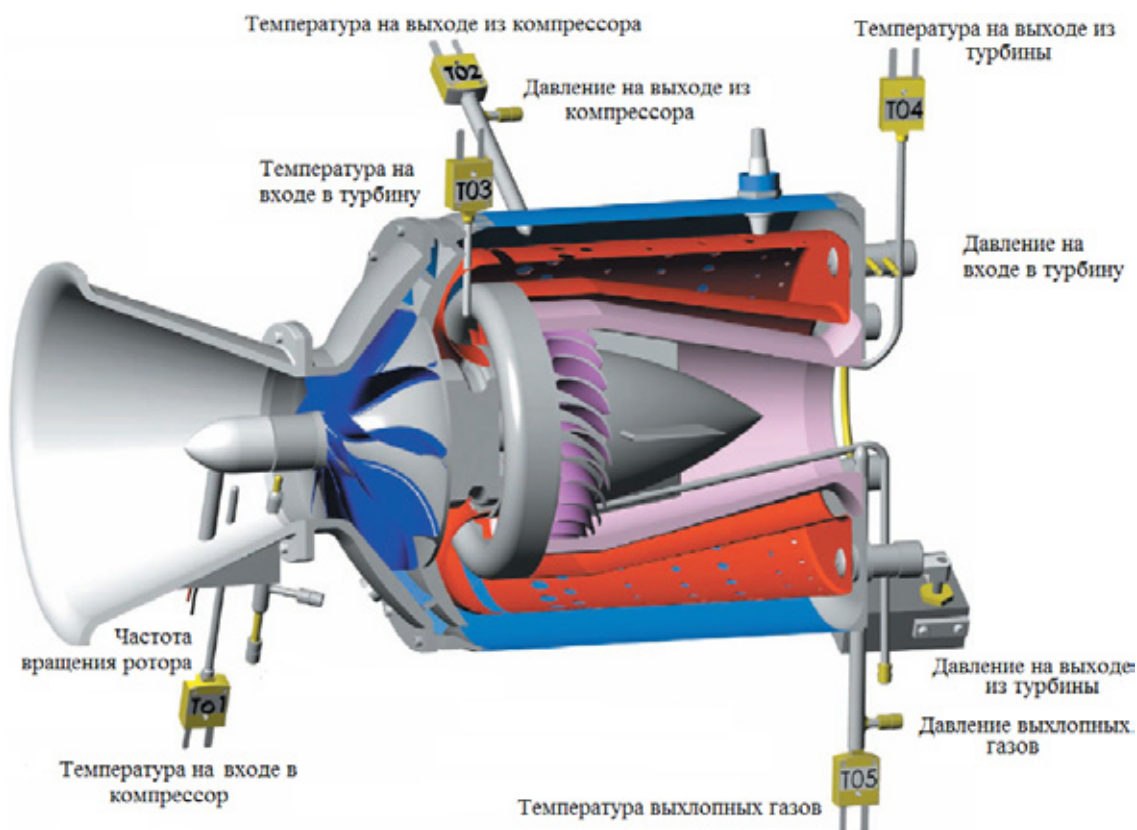


Рис. 1. Модель SR-30 и схема установки датчиков

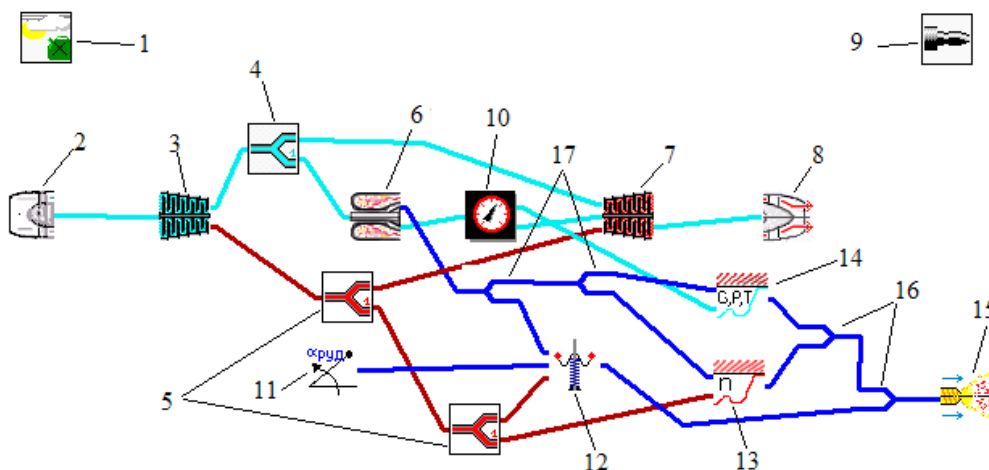


Рис. 2. Топологическая модель ГТД SR-30 и его САУ в СИМ DVIG\_OTLADKA: 1 – начальные условия; 2 – входное устройство; 3 – компрессор; 4 – отбор газа; 5 – отбор мощности; 6 – камера сгорания; 7 – турбина; 8 – реактивное сопло; 9 – общие результаты; 10 – датчик; 11 – РУД; 12 – насос-регулятор; 13 – ограничитель предельных параметров (механический); 14 – ограничитель предельных параметров (газодинамический); 15 – подача топлива; 16 – смеситель информационных потоков; 17 – разветвитель информационных потоков.

Таблица 1. Закон расчёта

Варьируемые параметры	Поддерживаемые параметры	Табулируемые параметры
$T_{Г}^*$ (Камера сгорания)	$G_{Г}$ (Камера сгорания) = $G_{Г}$ (Подача топлива)	$t = 0 \dots 10$ с шаг 0,05 с
$\pi_{К}^*$ (Компрессор)	$A_{Т}$ (Турбина)	(Начальные условия)
$G_{В.пр}$ (Входное устройство)	$F_{с.кр}$ (Реактивное сопло)	
$\alpha_{РУД}$ (РУД)	$\alpha_{РУД}$ (РУД) = $f(t)$	

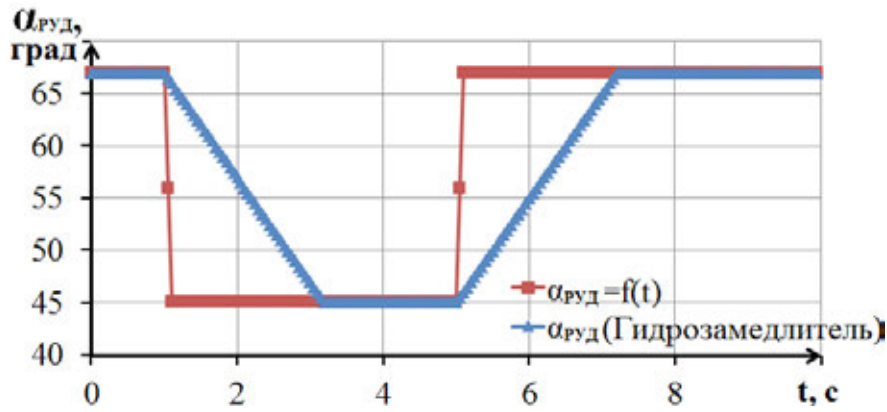


Рис. 3. Управляющее воздействие на двигатель ( $\alpha_{РУД} = f(t)$ ) и управляющее воздействие на двигатель с учётом действия гидрозамедлителя

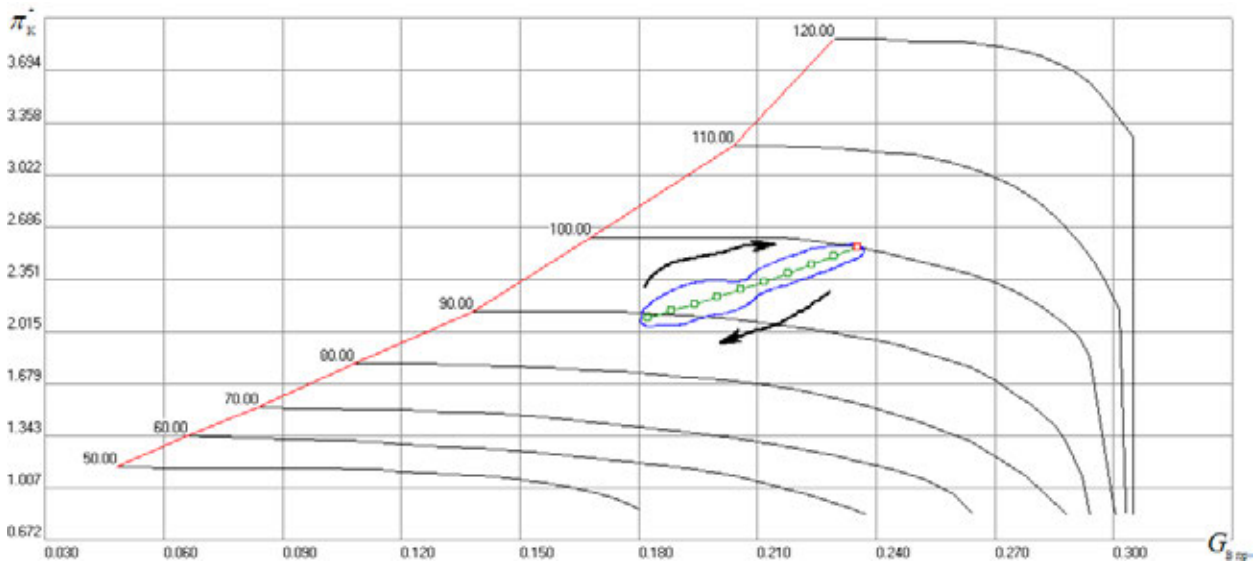


Рис. 4. Результаты моделирования: линия рабочих режимов (дрессельная) и переходный процесс на характеристике компрессора

Как описано в [4], динамические характеристики различных элементов автоматики унифицировано задаются в виде коэффициентов нелинейного дифференциального уравнения второго порядка (1):

$$kx(t) = T_K^2 \ddot{y}(t) + T_D \dot{y}(t) + y(t), \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент усиления;  $T_K$  – колебательная постоянная времени, с;  $T_D$  – дифференцирующая постоянная времени, с;  $x(t)$  – значение функции (для СЭ «Насос-регулятор» – значение расхода топлива);  $y(t)$  – значение регулируемого параметра (для СЭ «Насос-регулятор» – приведённая или физическая частота вращения ротора);  $\ddot{y}(t)$  и  $\dot{y}(t)$  соответственно вторая и первая производная значения регулируемого параметра по времени.

В зависимости от дифференцирующей и колебательной постоянной времени элементов САУ переходный

процесс в двигателе будет протекать по-разному. В данной статье рассматривается влияние различных настроек СЭ «Насос-регулятор» на переходный процесс. При этом динамические свойства остальных элементов автоматики не учитываются (СЭ «Ограничитель предельных параметров (механический)», СЭ «Ограничитель предельных параметров (газодинамический)», СЭ «Подача топлива» идеальны, т.е. не имеют колебательной и инерционной составляющих). При увеличении дифференцирующей постоянной времени  $T_D$  увеличивается инерционность СЭ «Насос-регулятор» (элемент, регулирующий подачу топлива в камеру сгорания и, в конечном итоге, регулирующий частоту вращения ротора в зависимости от угла установки РУД), т.е. расход топлива в камеру сгорания будет подаваться с запаздыванием относительно программы регулирования. При уменьшении колебательной постоянной времени  $T_K$  увеличиваются колебательные

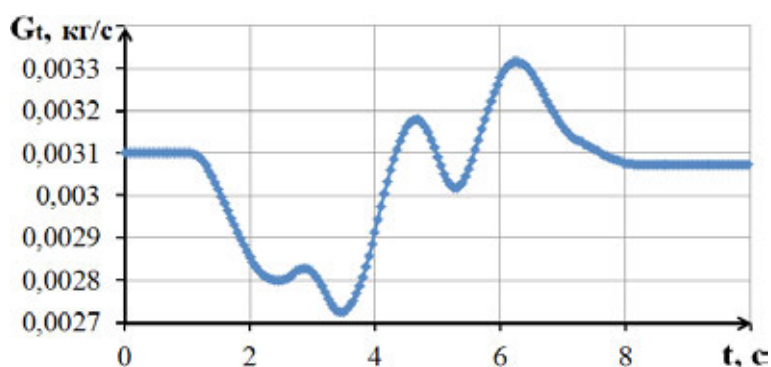


Рис. 5. Расход топлива в переходном процессе с настройками СЭ «Насос-регулятор»  $T_D = 0,15$  с,  $T_K = 0,25$  с

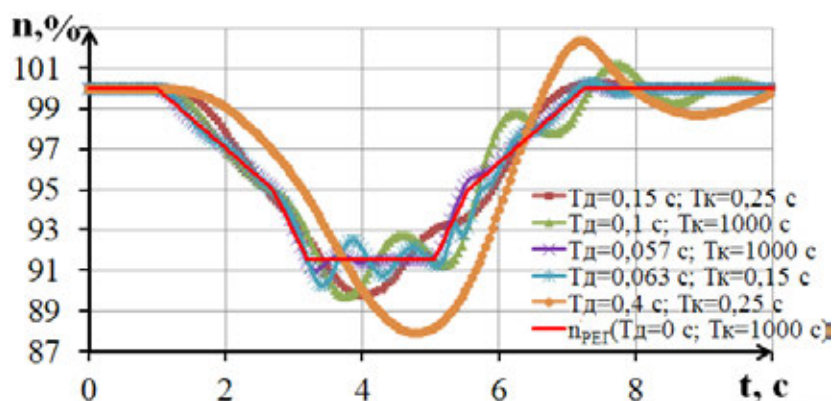


Рис. 6. Результаты моделирования переходного процесса (изменение частоты вращения ротора во времени) с различными настройками СЭ «Насос-регулятор»

свойства СЭ «Насос-регулятор», т.е. при изменении значения расхода топлива происходят его колебания (рис. 5).

На рис. 6 приведены результаты моделирования переходного процесса (изменение частоты вращения ротора во времени) с различными настройками СЭ «Насос-регулятор». При моделировании «идеального» насоса-регулятора ( $T_D = 0$  с,  $T_K = 1000$  с), частота вращения ротора полностью соответствует частоте вращения «навязываемой» автоматикой (без динамических запаздываний). При увеличении дифференцирующей постоянной времени  $T_D = 0,4$  с, переходный процесс протекает с «запаздыванием» (по сравнению с «идеальным»), автоматика не успевает корректировать расход топлива, по частоте вращения видны «забросы». При уменьшении колебательной постоянной времени  $T_K$  увеличивается колебания частоты вращения, частота вращения «колеблется» вокруг «идеальной» (процесс с настройками  $T_D = 0,063$  с,  $T_K = 0,15$  с).

Изменяя настройки отдельных элементов САУ двигателя можно подобрать такие, при которых моделируемый переходный процесс будет полностью соответствовать переходному процессу на двигателе. Данные исследования позволяют увеличить адекватность и точность моделирования переходных процессов, происходящих в дви-

гателе, позволяют детально исследовать каждый фактор, влияющий на переходный процесс и оценить качество переходного процесса.

#### Исследование статических характеристик топливной автоматики SR-30

Для имитационного моделирования какого-либо конкретного двигателя (для создания его индивидуальной модели) необходимы параметры его узлов и их характеристики. Для моделирования различных установившихся и переходных процессов, протекающих в нём, необходимы характеристики его САУ.

Данный раздел статьи посвящён экспериментальному исследованию характеристик топливной автоматики ГТД, установлению взаимосвязи между частотой вращения ротора и углом установки РУД на различных режимах работы ( $n = f(\alpha_{РУД})$ ). Для получения характеристик двигателя был проведен эксперимент с регистрацией параметров на 4 режимах работы.

Рабочий ход рычага управления двигателем (РУД) был поделен на 4 равных промежутка, каждый из которых соответствовал определенному углу установки РУД, а, следовательно, и определенному режиму работы двигателя.

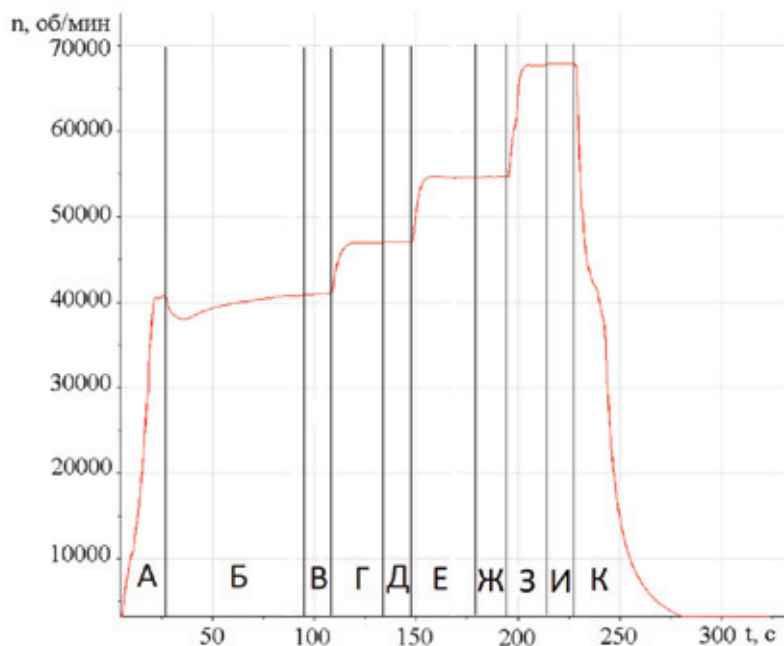


Рис. 7. Зависимость частоты вращения ротора от времени, А – переходный процесс запуска двигателя, перевод РУД с режима «0» на режим «1»; Б, Г, Е, З – переходные процессы приёмистости; В, Д, Ж, И – режимы записи параметров «1», «2», «3», «4», соответственно; К – переходный процесс останова двигателя.

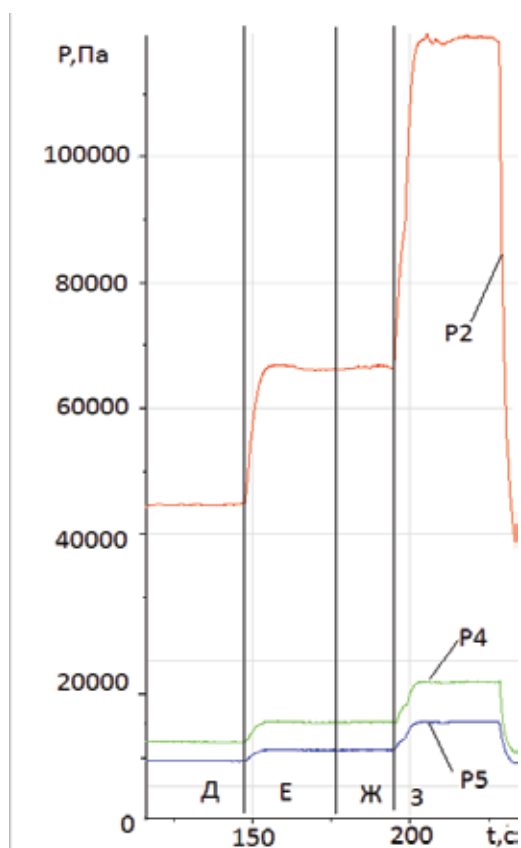


Рис. 8. Зависимость давления на входе в камеру сгорания ( $P_2$ ), давления на входе в сопло ( $P_4$ ) и давления на выходе из двигателя ( $P_5$ ) от времени

Таблица 2. Осреднённые значения измеренных параметров

Режим работы двигателя	Частота вращения ротора, об/мин	Температура на входе в турбину, К	Температура на выходе из двигателя, К	Тяга двигателя, Н	Расход топлива, кг/с	Избыточное давление на входе в камеру сгорания, Па	Избыточное давление на входе в сопло, Па	Избыточное давление на выходе из двигателя, Па
1	40896,40	909,01	682,66	26,05	0,0017	30956,55	4862,424	2912,874
2	47107,59	913,46	696,10	29,19	0,0021	44794,38	6939,151	4017,383
3	54755,67	936,26	706,21	33,57	0,0027	66606,03	10170,12	5751,172
4	67948,12	985,55	726,12	42,91	0,0038	118916,9	16549,43	10199,09

Принято, что режим «0» соответствует команде на останов двигателя; режим «1» — малый газ; режимы «2», «3» и «4» — дроссельные режимы. Режим «4» был выбран для данного эксперимента в связи с ограничениями по ресурсу двигателя на больших частотах вращения и, следовательно, с высокими температурами в камере сгорания [8].

По результатам эксперимента при помощи специального модуля SCADA-системы LabVIEW для обработки экспериментальных данных NI DIAdem [6] построен график изменения частоты вращения ротора двигателя от времени (рис. 7).

Необходимо учесть, что в рамках установившегося или неустановившегося режима всегда имеются отклонения параметров связанные с систематическими и случайными погрешностями системы измерения и различными неравномерностями и пульсациями (параметров потока) как на входе, так и по тракту двигателя в целом. Поэтому, экспериментально замеренные параметры двигателя обычно осредняются в течение какого-либо времени.

Осреднение параметров производилось на установившихся режимах (В, Д, Ж, И на рис. 7) при помощи нахождения отклонения от среднеквадратичного значения.

На рис. 8 и в табл. 2 приведены некоторые результаты испытания двигателя SR-30.

В табл. 2 приведены базовые значения основных параметров двигателя на исследованных установившихся режимах, осреднённые по методике, описанной в [8].

На рис. 9 приведена характеристика топливной автоматики исследуемого турбореактивного двигателя SR-30 — зависимость частоты вращения ротора двигателя от угла установки РУД  $n = f(\alpha_{РУД})$ . Если провести подобные исследования при других температурах на входе в двигатель, можно существенно дополнить данную характеристику САУ, которая необходима для имитационного моделирования данного двигателя в системе имитационного моделирования DVIG\_OTLADKA [9].

Таким образом, используя данную методику проведения эксперимента, можно экспериментально исследовать характеристику насоса-регулятора и другие характеристики данного двигателя и его САУ (как на установившихся, так и на переходных процессах). В то же время, увеличивая количество режимов, можно получить линию рабочих режимов двигателя, с известными по всему тракту двигателя параметрами, что в свою очередь позволяет получить характеристики узлов двигателя, таких как компрессор, камера сгорания, турбина и т.п.

### Исследование статических характеристик ТЖ-100

Лабораторная установка на базе турбореактивного двигателя ТЖ-100 предназначена для ознакомления студентов с работой двигателя на различных режимах. ТЖ-100 — одновальный ГТД с одноступенчатым центробежным компрессором, кольцевой камерой сгорания, одноступенчатой осевой турбиной и управляемым реак-

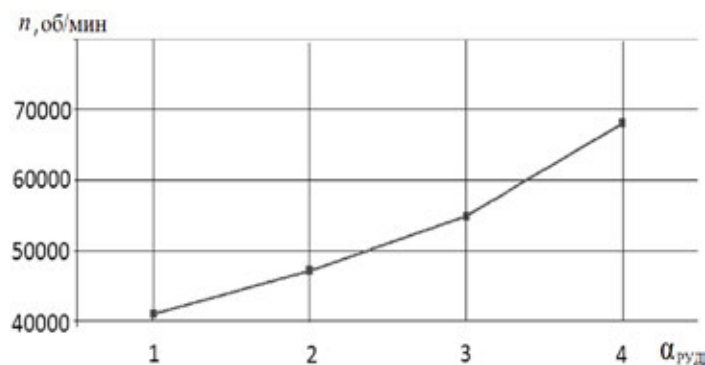


Рис. 9. Зависимость  $n = f(\alpha_{РУД})$

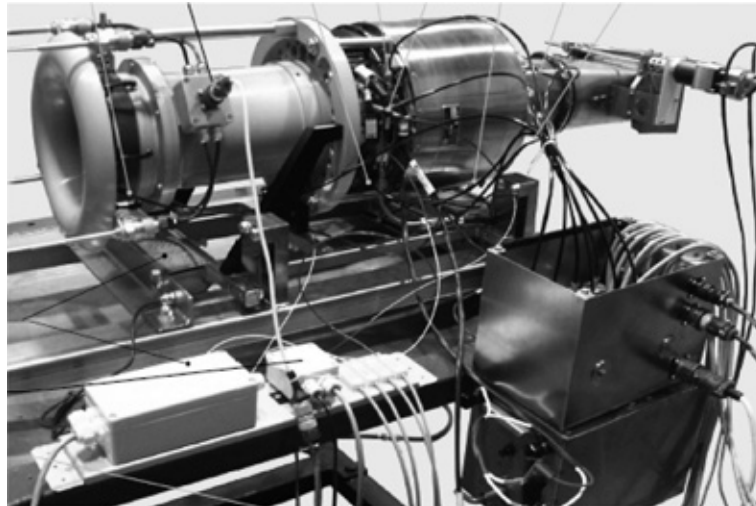


Рис. 10. Общий вид стенда

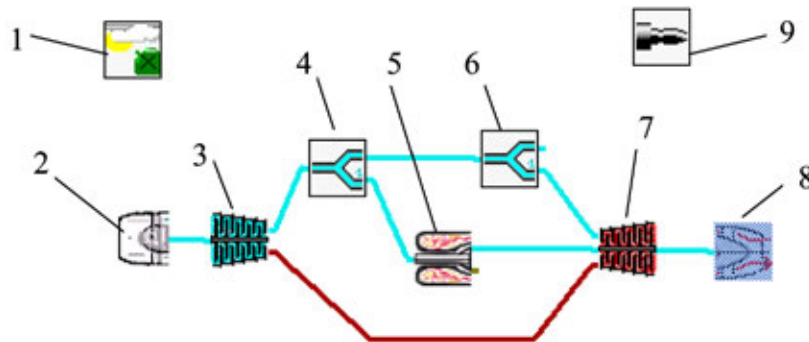


Рис. 11. Топологическая модель ГТД TJ-100 в СИМ DVIG\_OTLADKA: 1 – начальные условия; 2 – входное устройство; 3 – компрессор; 4 – отбор газа; 5 – камера сгорания; 6 – отбор газа; 7 – турбина; 8 – реактивное сопло; 9 – общие результаты

тивным соплом. Общий вид стенда приведен на рис. 10.

TJ-100 имеет собственный блок управления двигателем (CPSJ), который осуществляет полный контроль над запуском и работой двигателя. Блок управления регулирует обороты двигателя в зависимости от величины управляющего напряжения. При этом он контролирует ускорение и замедление вращения ротора двигателя, температуру выхлопных газов, а также ограничивает максимальные обороты двигателя при достижении лимитной температуры выхлопных газов.

Топологическая модель ГТД TJ-100 в СИМ DVIG\_OTLADKA приведена на рис. 11.

Для оценки изменения параметров двигателя на пониженных режимах работы рассчитана его дроссельная характеристика. Расчет дроссельной характеристики производится при табулировании частоты вращения ротора с соблюдением условий расчета, приведенных в табл. 3.

На рис. 12 и 13 приведены некоторые результатов расчетов.

**Заключение**

В данной статье показаны некоторые методики исследования статических и динамических характеристик

Таблица 3. Условия расчета дроссельной характеристики

Варьируются	Поддерживаются
$T_{Г}^*$ (Камера сгорания)	$A_T$ (Турбина)
$\pi_K^*$ (Компрессор)	$F_{кр}$ (Выходное устройство)
$G_B$ (Входное устройство)	$n$ (Компрессор)

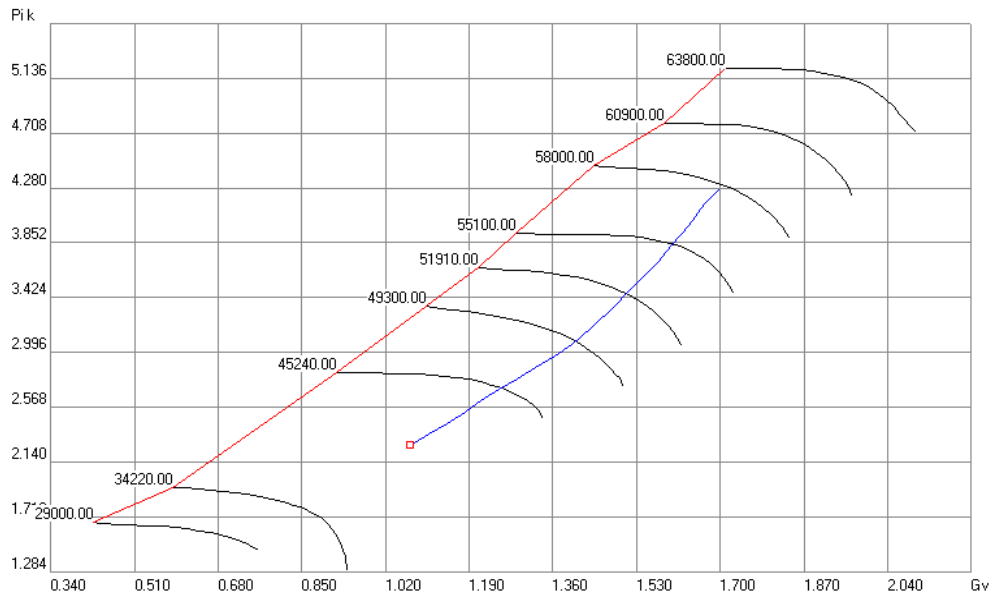


Рис. 12. Линия рабочих режимов на характеристике компрессора

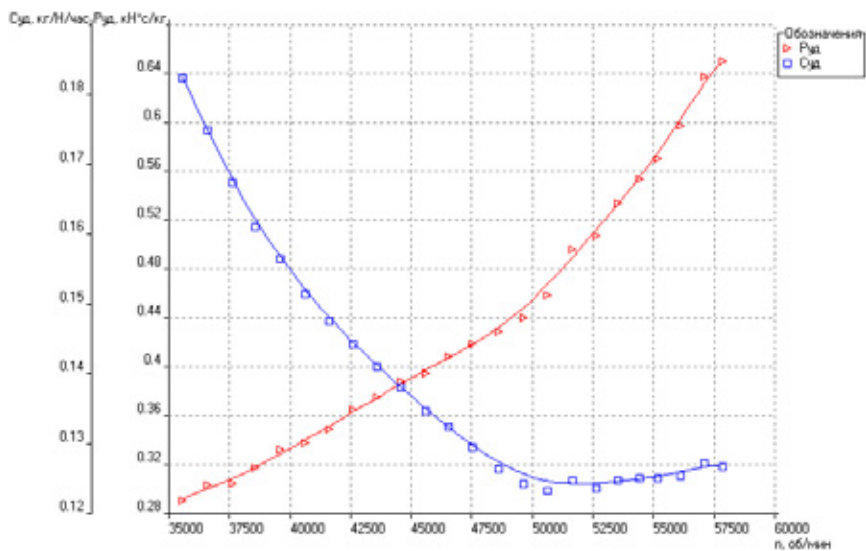


Рис. 13. Зависимость удельной тяги и удельного расхода топлива от частоты вращения ротора

различных авиационных двигателей и элементов их автоматики, необходимых для повышения точности и адекватности имитационных моделей. Применение методик имитационного моделирования при проектировании новейших перспективных авиационных двигателей позволит значительно сократить время проектирования и его стоимость.

тационного моделирования при проектировании новейших перспективных авиационных двигателей позволит значительно сократить время проектирования и его стоимость.

Литература:

1. Теория, расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок / Под общей ред. В.А. Сосунова и В.М. Чепкина. – М.: МАИ, 2003. – 688 с.
2. Ахмедзянов Д.А. DVIG\_OTLADKA (свидетельство об официальной регистрации) / Д.А. Ахмедзянов, А.Е. Кишалов, И.А. Кривошеев: Свидетельство об официальной регистрации №2009610324. – Москва: Реестр программ для ЭВМ, 2009 г.
3. Ахмедзянов Д.А. Имитационное моделирование работы авиационных ГТД с элементами систем управления / Д.А. Ахмедзянов, И.А. Кривошеев, А.Е. Кишалов // Вестник УГАТУ. – Уфа: УГАТУ, 2008. – №2 (29) серия «Машиностроение». – С. 3–11.

4. Ахмедзянов Д.А. Комплексный подход к совместному моделированию и исследованию рабочих процессов авиационных ГТД и его автоматики / Д.А. Ахмедзянов, А.Е. Кишалов // Журнал «Молодой ученый». — Чита, 2011. — Т.1. №10 (33). — С. 16–21.
5. Ахмедзянов Д.А. Моделирование авиационного ГТД совместно с элементами его автоматики / Д.А. Ахмедзянов, А.Е. Кишалов // Ежемесячный научный журнал «Молодежный Вестник УГАТУ». — Уфа, 2012. — №2 (3). — с. 54–60.
6. Ахмедзянов Д.А. Автоматизация процесса испытания авиационных ГТД на базе SCADA-системы LabView / А.Д. Ахмедзянов, А.Е. Кишалов, Р.Р. Ямалиев, А.В. Суханов // Вестник УГАТУ. — Уфа: УГАТУ, 2009. — Т.13 №2 (35) серия «Управление, вычислительная техника и информатика». — с. 61–69.
7. Августинovich В.Г. Идентификация систем управления авиационных газотурбинных двигателей / В.Г. Августинovich, В.А. Акиндинов, Б.В. Боев и др. — М.: Машиностроение, 1984. — 196 с.
8. Ахмедзянов Д.А. Методика проведения эксперимента для получения характеристик топливной автоматики однофазного газотурбинного двигателя с использованием SCADA-системы / Д.А. Ахмедзянов, А.Е. Кишалов, О.А. Баулин, А.В. Суханов // Научно-технический журнал «Нефтегазовое дело». Уфа: УГНТУ. — 2012. Т.10 №2 — С. 121–125.
9. Ахмедзянов Д.А. Повышение эффективности процесса отладки форсажных режимов при испытаниях ТРДДФ / Д.А. Ахмедзянов, А.Е. Кишалов // Вестник УГАТУ. — Уфа, 2012. — Т.16, №2 (47). — с. 87–97.

## Теплотехнический расчет солнечно-паровых установок

Вардияшвили Афтандил Аскарлович, кандидат технических наук  
Каршинский государственный университет (Узбекистан)

Узаков Гулом Норбоевич, кандидат технических наук, доцент  
Каршинский инженерно-экономический институт (Узбекистан)

Вардияшвили Асфандияр Аскарлович, преподаватель;  
Файзиев Тулкин Амирович, кандидат технических наук, доцент;  
Умиров Акмал Умирович, стажер-исследователь  
Каршинский государственный университет (Узбекистан)

Теплотехнический расчет солнечных паропроизводящих агрегатов заключается в установлении конструктивных размеров лучевоспринимающих и концентрирующих поверхностей солнечных отражателей, поверхностей нагрева парового котла. Разработанная конструкция агрегата должна обеспечить производство соответствующих количеств пара заданных параметров [1. 2].

Преобразование лучистой энергии Солнца, которая сконцентрирована зеркальными поверхностями в тепловую энергию, происходит на поверхностях нагрева. К этим поверхностям относятся экономайзер, обеспечивающий подогрев воды до температуры кипения, испаритель, в котором происходит перегрев пара.

Известно, что население ряда районов мира и республик Центральной Азии испытывает острый дефицит пресной воды, и в то же время там имеются значительные запасы соленых вод непригодных для питья.

Дефицит пресной воды ощущается на территории более 40 стран, расположенных главным образом в аридных, а также засушливых, составляющих около 60% всей поверхности земной суши, и, по расчётам, к началу 21 века достиг  $120\text{--}150 \cdot 10^9 \text{ м}^3$  в год. Этот дефицит может быть покрыт опреснением солёных (солесодержание более 10

г/л) и солоноватых (2–10 г/л) океанических, морских и подземных вод [1. 2].

В связи с этим, разработка и создание эффективной комбинированной солнечной установки предназначенной для получения пресной воды, теплохлоснабжения теплицы и овощехранилища является актуальной задачей.

Стремление увеличить производительность опреснителей привело к созданию многоступенчатых систем. В них теплота конденсации пара многократно используется для выпаривания рассолов с отдельных цистерн и резервуаров. У нас и за рубежом ведутся исследования по отысканию как конструкционных материалов, снижающих стоимость опреснения, так и способов, повышающих эффективность процесса гелиоопреснения [1. 2. 3].

Приведенный анализ по экономике солнечного опреснения указывает на отсутствие единого подхода при определении себестоимости дистиллята. Сопоставления экономических показателей солнечного опреснения с показателями других способов водоопреснения, приведенные в работах, подтвердили экономические преимущества солнечного опреснения перед такими наиболее распространенными способами, как мгновенное вскипание, многоступенчатая выпарка и пароконпрессия



дистилляция в тех сходных случаях, когда производительность установок небольшая.

Расчеты показали, что солнечное опреснение экономически выгоднее доставки пресной воды автоводо-возами в местах: а) где минерализация исходной воды 10 г/л и источник пресной воды находится на расстоянии более 35 км; б) где минерализация исходной воды доходит 40 г/л и расстояние от пресного источника больше 45 км. Таким образом, из многочисленных рассмотренных регенеративных солнечных опреснителей наиболее рациональным является опреснитель, состоящий из солнечнопарового котла с параболоцилиндрическим концентратором, работающим в блоке с опреснительной установкой с параллельным питанием [2.3].

На каждом этапе преобразования энергии в определенном элементе гелиоустановок имеет место потеря энергии, которая характеризуется коэффициентом использования энергии данным элементом. Потеря энергии в целом всего процесса преобразования характеризуется общим коэффициентом использования солнечной энергии тепловой гелиоустановкой [2.3].

Обозначим через  $Q_{п.з}$  энергию, падающую на зеркала-концентраторы, Вт;  $Q_{о.з}$  энергию, сконцентрированную зеркалами и отраженную таковыми, ккал/час;  $Q_{п.к}$  энергию, падающую на котел, Вт;  $Q_{в.к}$  энергию, воспринятую котлом, Вт;  $Q_{и.к}$  энергию, полезно использованную котлом, Вт.

Запишем коэффициент отражения зеркал

$$R_0 = Q_{о.з} / Q_{п.з} \tag{1}$$

коэффициент использования площади зеркал

$$\eta_3 = Q_{п.з} / Q_{о.з}, \tag{2}$$

коэффициент черноты поверхности нагрева котла

$$\varepsilon = Q_{в.к} / Q_{п.к}, \tag{3}$$

коэффициент полезного действия парового котла

$$\eta_к = Q_{п.к} / Q_{в.к}. \tag{4}$$

Коэффициенты, выраженные формулами (1), (2) и (3), не зависят от интенсивности солнечной радиации:

$R_0 = 0,8 \div 0,85$ ;  $\eta_3 = 0,93 \div 0,95$ ;  $\varepsilon = 0,85 \div 0,95$ , к.п.д. парового котла, как указано выше, зависит от нагрузки котла, а следовательно, и от интенсивности солнечной радиации [1.2. 3].

Общий коэффициент полезного действия солнечной энергетической установки

$$\eta_{общ} = \frac{Q_{и.к}}{Q_{п.к}} = R_0 \eta_3 \varepsilon \eta_к. \tag{5}$$

Исходными данными для расчета солнечного парового котла являются начальные параметры пара и паропроизводительность агрегата.

Количество тепла, полезно использованное котлом, равно

$$Q_{и.к} = D(i_{п} - i_{ж}); \tag{6}$$

в том числе полезно использованное экономайзером

$$Q_{и.э} = D(i_{п} - i_{п.в}); \tag{7}$$

полезно использованное испарителем

$$Q_{и.и} = D(i_{п} - i_{ж}); \tag{8}$$

полезно использованное пароперегревателем

$$Q_{и.п} = D(i_{п} - i_{п}); \tag{9}$$

В выражениях (5)–(9) приняты обозначения:  $D$  – паропроизводительность котла, кг/час;  $i_{п.в}$  – теплосодержание питательной воды, ккал/кг;  $i_{ж}$  – теплосодержание жидкости при температуре насыщения, ккал/кг;  $i_{п}$  – теплосодержание насыщенного пара, ккал/кг;  $i_{п}$  – теплосодержание перегретого пара, ккал/кг.

Энергия, воспринятая любым элементом котла, складывается из энергии, полезно использованной этими элементами, и энергии, потерянной в процессе восприятия. Энергия, воспринятая котлом, запишется в виде

$$Q_{в.к} = Q_{и.к} + Q_{к}^{пот}, \tag{10}$$

в том числе экономайзером

$$Q_{в.э} = Q_{и.э} + Q_{э}^{пот}, \tag{11}$$

$$\text{испарителем } Q_{в.и} = Q_{и.и} + Q_{и}^{пот}, \tag{12}$$

пароперегревателем

$$Q_{в.п} = Q_{и.п} + Q_{п}^{пот}. \tag{13}$$

В соответствии с равенствами (10–13) выражение для тепловых потерь котла, с учетом потерь его обшивки (обмуровки) во внешнюю среду, принимает вид

$$Q_{к}^{пот} = Q_{э}^{пот} + Q_{и}^{пот} + Q_{п}^{пот} + Q_{о}^{пот}. \tag{14}$$

В общем случае, для сложного процесса теплообмена, состоящего из конвекции, лучеиспускания и теплопроводности, потеря тепла может быть определена из формулы

$$Q_x^{пот} = K^x F^x (t_{ст}^x - t_{ср}^x), \tag{15}$$

где коэффициент теплопередачи или обратное ему значение – коэффициент термического сопротивления – определяются равенством

$$K^x = \frac{1}{R^x} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{к.н}^x} + \sum \frac{\delta^x}{\lambda^x} + \frac{1}{\alpha_{к.в}^x}}. \tag{16}$$

Полагая, что внутренняя сторона труб поверхностей нагрева котла свободна от накипи, а коэффициент теплопередачи от стенки труб к жидкости и пару очень большой, можно принять, что второй и третий члены знаменателя равенства (16) ничтожно малы. В связи с указанным, выражения для потерь тепла в окружающую среду примут вид:

$$Q_{э}^{пот} = (\alpha_{к.н}^э + \alpha_{л.н}^э) F^э (t_{ст}^э - t_{ср}^э), \tag{17}$$

для испарителя

$$Q_{и}^{пот} = (\alpha_{к.н}^и + \alpha_{л.н}^и) F^и (t_{ст}^и - t_{ср}^и), \tag{18}$$

для пароперегревателя

$$Q_{п}^{пот} = (\alpha_{к.н}^п + \alpha_{л.н}^п) F^п (t_{ст}^п - t_{ср}^п). \tag{19}$$

Коэффициент конвективного теплообмена в равенствах (16–19) можно определить по предложенной ниже

формуле, справедливой для поверхности, омываемой поперечным потоком воздуха

$$\alpha_{к.н}^x = 0,75 \sqrt{\frac{W}{d_{эк}}} \quad (20)$$

Коэффициент лучистого теплообмена в равенствах (16–19) определяется по формуле

$$\alpha_{л.н}^x = 4,88\varepsilon \left[ \frac{\left(\frac{T_{ст}^x}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{ср}}{100}\right)^4}{T_{ст}^x - T_{ср}} \right] \quad (21)$$

где  $T_{ст} = t_{ст}^x + 273, T_{ср} = t_{ср} + 273$ .

В формулах (15–21)  $t_{ст}^x, t_{ст}^3, t_{ст}^и, t_{ст}^п$  – температура соответственно стенки любого элемента котла, экономайзера, испарителя, пароперегревателя, °С;  $t_{теп}$  – температура теплоносителя, соответственно температура теплоносителя в экономайзере, испарителе и пароперегревателе, °С;  $t_{ср}$  – температура среды – наружного воздуха, °С;  $F^x, F^3, F^и, F^п, F^0$  – поверхность нагрева соответственно любого элемента котла, экономайзера, испарителя, пароперегревателя, внешней обшивки (обмуровки) котла, м<sup>2</sup>;  $q^x, q^3, q^и, q^п$  – тепловой поток, падающий соответственно на любую поверхность котла, на экономайзер, испаритель, пароперегреватель, ккал/м<sup>2</sup> час;  $\alpha_{к.н}^x, \alpha_{к.н}^3, \alpha_{к.н}^и, \alpha_{к.н}^п$  – коэффициент теплоотдачи конвекцией соответственно наружной поверхности элемента, экономайзера, испарителя, пароперегревателя, ккал/м<sup>2</sup> час;  $\alpha_{л.н}^x, \alpha_{л.н}^3, \alpha_{л.н}^и, \alpha_{л.н}^п$  – коэффициент теплоотдачи лучеиспусканием соответственно наружной поверхностью элемента, экономайзером, испарителем,

пароперегревателем, ккал/м<sup>2</sup> час;  $\alpha_{к.в}$  – коэффициент теплоотдачи конвекцией внутренней поверхности элемента, ккал/м<sup>2</sup> час;  $\sum \frac{\delta^x}{\lambda^x}$  – сумма термических сопротивлений многослойной стенки обмуровки котла, м<sup>2</sup>час·ккал;  $\alpha_{к.н}^0, \alpha_{к.в}^0$  – коэффициент теплоотдачи конвекцией соответственно наружной и внутренней поверхностью обмуровки котла, ккал/м<sup>2</sup> час,  $K^x$  – коэффициент теплоотдачи сложного процесса теплообмена, ккал/м<sup>2</sup> час,  $R^x$  – термическое сопротивление, м<sup>2</sup>час·ккал;  $W$  – скорость набегаемого потока воздуха, м<sup>2</sup>сек;  $d_{эк}$  – эквивалентный диаметр поверхности, м.

В соответствии с равенством (7–9) и (17–19) к.п.д. элементов котла примут вид:

$$\text{экономайзера } \eta_э = \frac{Q_{и.э}}{Q_{в.э}} = 1 - \frac{Q_э^{пот}}{Q_{в.э}}, \quad (22)$$

$$\text{испарителя } \eta_и = \frac{Q_{и.и}}{Q_{в.и}} = 1 - \frac{Q_и^{пот}}{Q_{в.и}}, \quad (23)$$

$$\eta_п = \frac{Q_{и.п}}{Q_{в.п}} = 1 - \frac{Q_п^{пот}}{Q_{в.п}}. \quad (24)$$

В связи с равенствами (6), (10) и (14) к.п.д. солнечного котла может быть написано в виде

$$\eta_{к.п} = \frac{Q_{и.к}}{Q_{в.к}} = 1 - \frac{Q_к^{пот}}{Q_{в.к}}. \quad (25)$$

Разработанный и представленный выше методический аппарат дает общие соотношения по определению параметров, характеризующих эффективность работы солнечной тепловой станции. Он может быть применен для поверочного теплового расчета солнечной паропроизводящей установки [1.2].

Литература:

1. Безруких П.П., Арбузов Ю.Д., Борисов Г.А. и др. Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии России. – Спб.: Наука, 2002. – 314 с.
2. Д. М. Щеголев. Паровой котел солнечной теплосиловой станции. Теплоэнергетика, вып. 1. М., Изд-во Ан СССР, 1959.
3. Asf.A.Vardiyashily, A.A. Abdurahmonov. Mathematical modelling and calculation of heliosdesalter-a boiler with a parabola-cylindrical reflector. Seventeen world conference on intelligent systems for industrial Automation. WCIS-2012. Седьмая всемирная конференция. Tashkent, Uzbekistan November 25–27. P.p 221–222.

## Изучение надежности работы водителя в России и за рубежом

Василенко Виктория Александровна, студент  
Волгоградский государственный технический университет

История становления транспортной психологии показывает, что практические задачи в ней ставились раньше научных. Начало практическому аспекту в транспортной психологии было положено в первых двух десятилетиях нынешнего столетия. Тогда еще не было как таковой системы в деятельности транспортных психологов, были лишь некоторые практические работы отдельных специалистов. В центре внимания на этом начальном этапе стояла проблема определения пригодности к управлению транспортными средствами на железной дороге, а также трамваями и конными экипажами. Хотя при этом и выдвигались первые критерии «пригодности к управлению транспортным средством» и разрабатывались предпосылки для его применения, но при этом еще совершенно отчетливо выдвигались на передний план прежде всего практические интересы. Таким образом, термин «транспортная психология» был еще не совсем уместным, так как речь шла скорее о специальной психологической проверке профессионального соответствия [4, с. 7].

В современном понимании, транспортная психология — это дисциплина, которая изучает роль человеческого фактора в обеспечении эффективности и безопасности работы транспорта. Это отрасль психологии, исследующая процессы и средства взаимодействия между человеком и машиной. Транспортная психология оправдывает свое назначение лишь в тесной взаимосвязи со всеми другими специальными психологическими дисциплинами. Но с точки зрения стоящих перед ней задач она тесно переплетается с транспортно-дорожной и автомобильной техникой, транспортной медициной и транспортной социологией, а также с транспортным правом. У истоков транспортной психологии стоял немецкий психолог Гуго Мюнстенберг, который опубликовал в 1910 г. первую работу по профессиональной оценке действий водителей городского транспорта и их водительского соответствия требованиям безопасности дорожного движения. В начале XX века он впервые стал разрабатывать и использовать психологические тесты для оценки профессиональных способностей человека [1, с. 8].

Вопросами изучения влияния индивидуальных качеств водителя на безопасность дорожного движения посвящены работы В.И. Коноплянко, В.М. Мишурина, А.Н. Романова, А.И. Вайсмана, М.А. Котика, Е.М. Лобанова, В.Н. Пушкина, В.С. Мерлина, Т.А. Поляновой, Р.В. Ротенберга, К. Марбе, У. Бингема, Р. Дональда, В. Кроуфорда, Ф. Маккена, Г. Майергофера и др.

Еще в начале прошлого столетия был составлен довольно обширный перечень различных качеств человека, отражавшихся на безошибочности и безопасности его

труда, которые в то время уже учитывали критерии профессионального отбора на опасные виды профессий. Однако психологические исследования были направлены на выявление, посредством эксперимента лишь отдельных поведенческих качеств человека, сказывающихся на безошибочности работы. Отсутствие общей теории, связывающей глубинные психические проявления человека с его поведенческими коррелятами и фактическими результатами его работы, естественно, вызывало у них неудовлетворенность.

Карл Марбе пришел к выводу, что в предметной деятельности человека могут складываться полосы (периоды) хороших и плохих результатов, обусловленные соответственно положительной и отрицательной установками. Способность к переключению установки не коррелирует с показателями уровня интеллекта, работоспособности, не зависит от скоростных качеств. Люди с хорошей переключаемостью установок будут иметь малую подверженность опасности, люди же с плохой переключаемостью будут как бы «отставать» в своём приспособлении к изменениям окружающего мира и поэтому будут подвержены несчастным случаям. Исходя из теоретических предпосылок о ведущей роли установок, Марбе заключил, что как ранние, так и более поздние травмы возникают по одной и той же причине — из-за плохой установки к работе и низкой переключаемости установок. Способность же к переключению установок он рассматривал как врожденное природное качество человека. Повторность несчастных случаев трактовалась как результат природной расположенности, вытекающей в основном из низкой врожденной способности к переключению установок. Эта теория вызвала сомнения по ряду принципиальных вопросов [2].

Отечественный ученый Т.А. Полянова исследовала индивидуальный стиль деятельности оператора применительно к работе водителя автомобиля: было введено понятие интегральной индивидуальности. Она установила, что индивидуальные особенности водителей отражаются на стиле вождения и выделила два стиля: в одном предпочтение отдавалось ориентировочному аспекту деятельности, а в другом — исполнительскому. Как показали исследования, второй стиль оказался более опасным и связан с большим числом дорожно-транспортных происшествий. В своих работах В.С. Мерлин приходит к выводу, что индивидуальный стиль деятельности является связующим звеном между разными уровнями индивидуальности — от биохимического до социально-психологического, т.е. выполняет системообразующую функцию по отношению к индивидуальности как морфологической системе. Особенности выполнения исполнительных и ори-

ентировочных действий занимают центральное место в системе трудовых приемов, так как они в первую очередь влияют на результаты деятельности. Вместе с тем эти результаты зависят и от особенностей деятельности, относящихся к другим ее сторонам [5].

Австрийский ученый Е. Миттенекер считал, что основной причиной возникновения эмоциональных помех является конфликт между двумя совместно действующими диспозициями — достижение заданной цели и недопущение при этом ошибки (сохранение безопасности). Элерс по этому поводу высказал мнение, что причины предрасположенности к несчастным случаям, по всей вероятности, следует искать в том, как субъект воспринимает ситуацию и возникшую в ней задачу, в какой мере он устремлен к достижению цели и насколько реальным при этом он считает возникновение несчастного случая. Д. Клеббельсберг также выявил две общие диспозиции в поведении водителей: стремление к удовольствию от быстрой и удачной езды и стремление к автономии, соперничеству [4].

Большую известность в начале XX века получили исследования американского ученого Гуго Мюнстерберга. Он разрабатывал основы психотехники, изучал проблемы руководства предприятиями, профотбора, профориентации, производственного обучения, приспособления техники к психическим возможностям человека и другие факторы повышения производительности труда рабочих и доходов предпринимателей. Занимался также вопросами судебной психологии и свидетельских показаний, клинической психологией, психологией образования. Мюнстерберг доказывал, что наилучший способ повысить производительность труда — подбирать работникам должности, которые соответствуют их индивидуально-психологическим особенностям, в частности характерологическим и интеллектуальным. Была разработана специальная инструментальная методика, предназначенная для оценки способностей к водительскому труду. Его исследования в своих работах продолжал К. Трамм, который добавил к профессионально-важным качествам водителя следующие: хорошее зрение и слух, хорошая память, способность противодействовать усталости, способность к работе с техникой [1].

Американский ученый У. Бингем, изучая аварийность у водителей автомобилей, обнаружил, что небольшая группа водителей за 2–3 года «набирала» столько несчастных случаев и аварий, сколько не набирали все остальные водители большого автомобильного предприятия [6]. Он выделил три характерные особенности водителей, склонных к авариям: эти люди чаще других совершали общественно-неприемлимые поступки, имели больше дефектов в состоянии здоровья, отличались худшими способностями (по результатам тестирования).

В нашей стране проблеме дорожной аварийности и адаптивного поведения участников движения также уделялось немало внимания. В 1928 году Ж.М. Лям исследовал профессиональную пригодность водителей автомобилей.

С.М. Василевский опубликовал труды по совершенствованию квалификации водителей. В 40-е годы профотбору были посвящены работы Ф.Н. Браиловского и П.В. Венециана, а психологическими характеристиками профессии водителя занимались Г.М. Левигурович, В.Н. Арбузов, В.Н. Ланина, К.В. Старкова и др. [4].

Значительное место в развитии транспортной психологии занимают творческая переработка и взаимообогащение аналогичных направлений на железнодорожном, морском транспорте и авиации. Во всем мире известны имена советских ученых Д.Ф. Горбова, Е.А. Деревянко, В.Д. Небылицина, К.К. Платонова, Е.А. Милеряна, М.А. Котика, К.М. Гуревича и многих других [4, с. 10].

Заслуженный деятель науки и техники проф. Л.Л. Афанасьев, к.м.н. Н.А. Игнатов и Ю. Боровер в своих работах указывают на многообразие психофизиологических особенностей водителя и зависимость их от условий деятельности, создающие определенные трудности в оценке влияния человеческого фактора на безопасность дорожного движения. Наиболее фундаментальные исследования психофизиологических характеристик водителя провели в нашей стране В.Н. Пушкин, Л.Н. Нерсесян и Н.А. Игнатов. Основные идеи этих работ заключаются в разработке рекомендаций и методик для проведения психофизиологических исследований водителя [5,7,10].

В наше время вопросы влияния водителей различных транспортных средств на безопасность движения продолжают широко изучаться.

В работах В.М. Мишурина и А.Н. Романова раскрывается сущность влияния психофизиологических и личностных качеств водителя на безопасность движения. В частности, указывается, что психологическая устойчивость субъекта зависит от таких особенностей как: ощущение и восприятие, скорость и точность сенсомоторных реакций, внимание, мышление, память, эмоции, а также от таких качеств личности, как: темперамент и характер, морально-нравственные качества. Ошибки водителя обусловлены различными негативными факторами: плохими дорогами, неудовлетворительной организацией дорожного движения, техническим несовершенством или неисправностью автомобиля, неблагоприятными погодными условиями [2]. И как следствие, одним из направлений снижения количества ошибок по этим причинам является максимальный учет психофизиологических особенностей водителей. Причем, психологическая надежность водителя достигается целенаправленно, путем тренировки профессионально-важных качеств, в процессе обучения и последующей профессиональной деятельности.

Р.В. Ротенберг основной причиной дорожно-транспортных происшествий называет психическую инертность водителя при переходе с одних условий движения к другим. Водитель упускает тот момент, когда необходимо снизить скорость, тем самым не обеспечивается достаточный контроль над движением автомобиля. А.И. Вайсман с коллегами разработал теоретические основы ме-

тодики психофизиологического профотбора водителей, которая включает в себя определение времени и точности простых дифференцированных реакций, способности к оценке пространственно-временных соотношений, способности к вероятностному прогнозированию, эмоциональной устойчивости, оперативной и долговременной памяти и ряд других показателей. Надежность водителя может снижаться в результате его повышенной склонности к риску, эмоциональной неустойчивости, агрессивности, неадекватной реальности иерархии ценностей, ощущения превосходства над другими [8].

В.И. Коноплянку в своих работах отмечает, что значительное влияние на надежность работы водителя оказывает такие качества, как время сложной реакции, показатели внимания, скорость переработки информации [3].

М.А. Котик и А.М. Емельянов, раскрывая сущность природы человека при управлении движущимися объектами, выделяют следующие аспекты этой проблемы: влияние его индивидуальных психических качеств, влияние его текущих психических состояний, влияние психических процессов, возникающих при его управляющей деятельности [9]. В работах В.Д. Небылицына и Е.А. Милеряна исследуют силу нервной системы, внимание, распределение внимания, сенсомоторную реакцию. Анализируя различные точки зрения о связи темперамента и свойств нервной системы, авторы приходят к выводу, что свойства нервной системы, тип высшей нервной деятельности не тождественны темпераменту, а составляет лишь природную основу, на которой формируется темперамент. В.Д. Небылицын ввел понятие «надежность человека-оператора» и развивал представление о том, что ведущая роль в «человеческом факторе» принадлежит природным свойствам нервной системы [5, с. 15]. В.Д. Небылицын всегда настаивал на том, что исследование отдельных свойств нервной системы, их структуры и комбинаций

должно предшествовать выделению типов нервной деятельности. Анализируя различные точки зрения о связи темперамента и свойств нервной системы, он пришел к выводу, что свойства нервной системы, тип высшей нервной деятельности не тождественны темпераменту, а составляет лишь природную основу, на которой формируется темперамент.

В настоящее время психофизиологический отбор водителей автомобилей проводится почти во всех странах, где автомобилизация достигла высокого уровня. Введение такого отбора позволяет повысить надежность водителей, снизить количество ДТП, уменьшить материальные потери и человеческие жертвы. Повышение надежности водителя может достигаться посредством улучшения его профессионального обучения и тренировки навыков, что является одной из задач организации профессионального отбора и обучения.

Транспортная психология освещает проблему, как с помощью перестройки дорожного поведения сократить транспортную аварийность, сделать процесс управления автомобилем более безопасным. Стремиться к совершенствованию дорожного движения и не учитывать при этом человеческий фактор — означает заранее обрекать всю работу системы на неудачу. Транспортная психология в процессе своего становления, как научной дисциплины, обозначила очень острые проблемы взаимодействия человека и техники, она изучает основные формы участников дорожного движения и способы воздействия на них, позволяет применять результаты фундаментальных исследований для решения прикладных задач. Актуальность современных прикладных исследований в области транспортной психофизиологии во многом определяется современными требованиями к безопасности, направленными на сохранение жизни и здоровья человека в современном обществе.

#### Литература:

1. Жирков Р.А. Аппаратно-программный комплекс для психофизиологического отбора водителей/Р. А. Жирков, П.А. Колпаков, В.Ю. Ветлужских; Отраслевой фонд алгоритмов и программ. — М., — 2003. — 116 с.
2. Романов А.Н. Автотранспортная психология: учеб. пособие для студ. Высш. учеб. заведений/А. Н. Романов. — М.: Академия, 2002. — 224 с.
3. Коноплянку В.И. Основы управления автомобилем и безопасность дорожного движения: учеб. пособие / В.И. Коноплянку, В.В. Зырянов, Ю.В. Воробьев. — М.: Высш. шк. 2005. — 271 с.
4. Клебельсберг Д. Транспортная психология / Д. Клебельсберг; пер. с нем. М.: Транспорт, 1989. — 367 с.
5. Небылицын В.Д. Проблемы психологии индивидуальности. Москва — Воронеж, 2000.
6. Небылицын В.Д. Психофизиологические исследования индивидуальных различий. — М.: Изд-во «Наука», 1976
7. Пушкин В.П., Нерсесян Л.С. Психология водителя. М.: Знание, 1969. — 32 с.
8. Вайсман А.И. Ещё раз о психофизиологическом профотборе//Автомобильный транспорт № 12, 1992, С. 9.
9. Котик М.А., Емельянов А.М. Природа ошибок человека-оператора (на примерах управления транспортными средствами). М.: Транспорт, 1933. — 252 с.
10. Нерсесян Л. С. Психологические аспекты повышения надёжности управления движущимися объектами. М.: Промедэк, 1992.— 287 с.

## Получение и диагностика наноматериалов на основе металлооксидов, химически осажденных из паровой фазы

Воробьев Дмитрий Михайлович, студент

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

### Введение

Сенсорика в современном мире является одним из самых прогрессирующих направлений в науке. Возрастает потребность создания химических газовых сенсоров — устройств, преобразующих информацию об изменении состава газовой фазы в электрический сигнал. Область применения таких газовых датчиков велика.

Пленочная технология перспективна для изготовления чувствительных элементов газовых адсорбционных полупроводниковых сенсоров. Это обусловлено тем, что активные слои на основе тонких плёнок имеют выгодное отношение поверхности к объёму [1]. Большой практический интерес представляет сетчатые структуры с иерархией пор [2–3]. По сравнению с сенсорами на основе толстых плёнок или спечённых слоёв для тонкоплёночных датчиков характерны: повышенное быстродействие, меньшее энергопотребление и простота интеграции в сложные устройства. [4].

Принцип действия полупроводниковых газовых сенсоров на основе металлооксидных слоев заключается в обратимом изменении электрофизических свойств при адсорбции заряженных форм кислорода и десорбции продуктов их реакций с молекулами восстанавливающих газов при рабочих температурах [5].

Такие же сетчатые структуры перспективны для создания поликристаллических чувствительных ИК-фотоприемников, работоспособных при комнатной температуре [6].

Использование метода химического осаждения из паровой фазы перспективно при создании газочувствительных наноструктур на основе металлооксидов, особенно при получении смешанных многокомпонентных соединений и нанокompозитов. В этом методе диффузионные процессы протекают между соприкасающимися наночастицами, что позволяет получать смешанные многокомпонентные материалы сложного состава. Механизмы образования перитектик и фаз переменного состава твердотельной части диаграммы состояния, в течение многих лет изучались в СПбГЭТУ «ЛЭТИ». При этом были разработаны установки и методики изменения состава путем формирования многослойных структур с чередующимися по составу слоями. [7–8]

Этими методами были получены объёмные кристаллы новых тройных перитектических соединений  $PbGa_6Te_{10}$ ,  $SnGa_6Te_{10}$  и твердые растворы на их основе. [9–12]

На наш взгляд метод формирования смешанных ме-

таллооксидов путем химического осаждения из паровой фазы является не менее перспективным.

Целью настоящей работы являлось получение пленочных наноструктур на основе металлооксидов методом химического осаждения из паровой фазы для создания сенсорных устройств. В таких наноструктурах теоритически возможно снижение рабочих температур детектирования восстанавливающих газов-реагентов вплоть до комнатных температур.

При достижении поставленной цели в магистерской диссертации были решены следующие задачи:

- Создана лабораторная установка для химического осаждения слоев бинарных и многокомпонентных металлооксидных систем из паровой фазы.

- Получены пленочные структуры на основе оксидов олова, оксидов цинка и стannата цинка при вариации условий химического осаждения из паровой фазы (CVD — синтеза).

- Проведены исследования полученных нанокompозитов методами электронной дифракции, эллипсометрии, атомно-силовой микроскопии и спектроскопии импеданса.

Выбор материалов обусловлен резко возросшим интересом в исследовании и практическом применении стannата цинка Стannат цинка  $ZnSnO_3$  — широкозонный полупроводник n-типа, используется в основном в газовых сенсорах и совсем недавно в качестве материалов из которых состоит канал тонкоплёночного транзистора. [13]

### Получение нанокompозитов на основе $SnO_2$ и $ZnO$

Процесс формирования слоёв на основе металлооксидов методом химического осаждения из паровой фазы проводили на лабораторной установке, представленной на рис. 1.

Внутри кварцевого реактора 1 с помощью нагревателей 2 поддерживается необходимая температура в зонах расположения столика с подложкой и лодочки с неорганической солью. Поток воздуха из компрессоров 6 подаётся через полимерные трубки 7. Кварцевый реактор 1 плотно закрывается с помощью держателя 3 (гайка, держатель и прокладка). Для перемещения лодочки с раствором используется специальное приспособление 5.

Формирование плёнок с помощью приведённой выше установки происходило в три последовательных этапа: разложение исходных солей металлов под действием температуры, последующий перенос продуктов разложения к подложке и осаждение при высокой температуре.

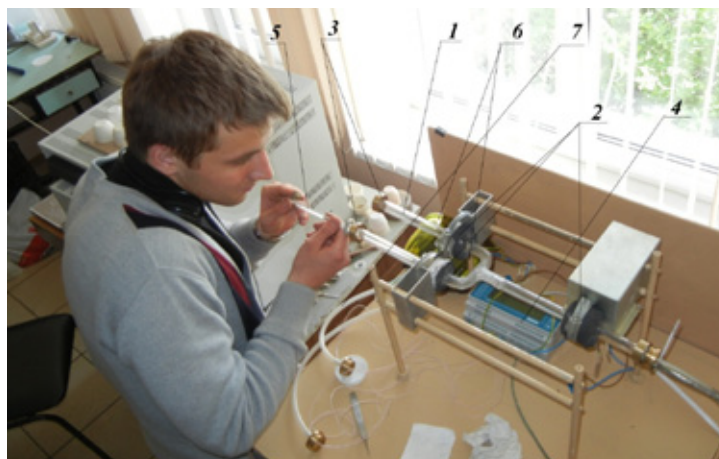


Рис. 1. Изображение лабораторной установки

### Результаты эксперимента

При варьировании условий синтеза были получены образцы наноматериалов на основе металлооксидов с помощью специально созданной установки на кафедре микро- и наноэлектроники CVD-установки. Полученные образцы были исследованы методом электронографии и была выявлена возможность создания пленочных наноструктур на основе оксида олова и стannата цинка (рис. 2) толщиной 40–610 нм методом химического осаждения из паровой фазы при температурах разложения исходных солей металлов 70–200 °С и осаждения продуктов разложения в зоне расположения подложек при температуре 500 °С.

Выявлено, что дополнительный отжиг при температуре 600 °С в атмосфере воздуха в течение 20 минут приводит к окислению SnO до SnO<sub>2</sub>.

Исследуя морфологию пленочных наноструктур методом АСМ, было установлено, что полученные материалы представляются собой пористые системы (рис. 3), состоящие из агрегированных частиц размером от де-

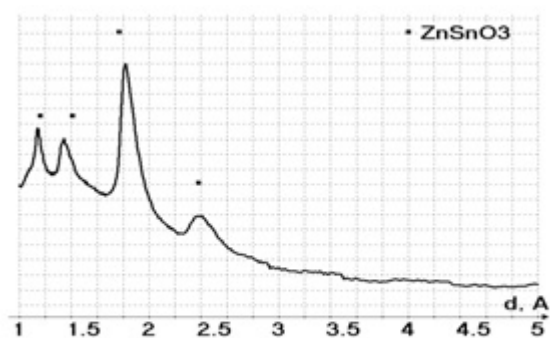
сятков до сотен нанометров и пор, являющихся промежутками между частиц. [14–15]

Установлено, что при осуществлении процесса транспортировки продуктов разложения неорганических солей металлов увлажненным воздухом средняя высота выступов зерен стannата цинка с диаметром, равным 30–180 нм, на подложке окисленного кремния, составила 94 нм, а средняя высота выступов зерен стannата цинка с диаметром, равным 50–150 нм, на подложке пористого кремния – 82 нм.

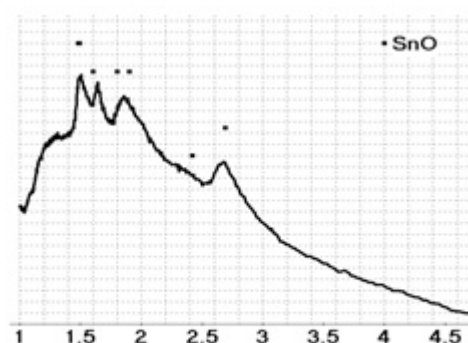
При проведении реакций гидропиролитического синтеза в атмосфере сухого воздуха средняя высота выступов зерен стannата цинка с диаметром менее 50 нм составила 12 нм. Показано, что изменяя условия синтеза можно управлять размером зерен и пор корпускулярно – пористых наносистем.

Исследование синтезированных образцов методом спектроскопии импеданса проводилось при фиксированной комнатной температуре, в пяти режимах:

- в потоке атмосферного воздуха;
- в потоке атмосферного воздуха в присутствии паров ацетона;



а)



б)

Рис. 2. (а) и (б) расшифровка образцов 12CVDK32 и 12CVDK13

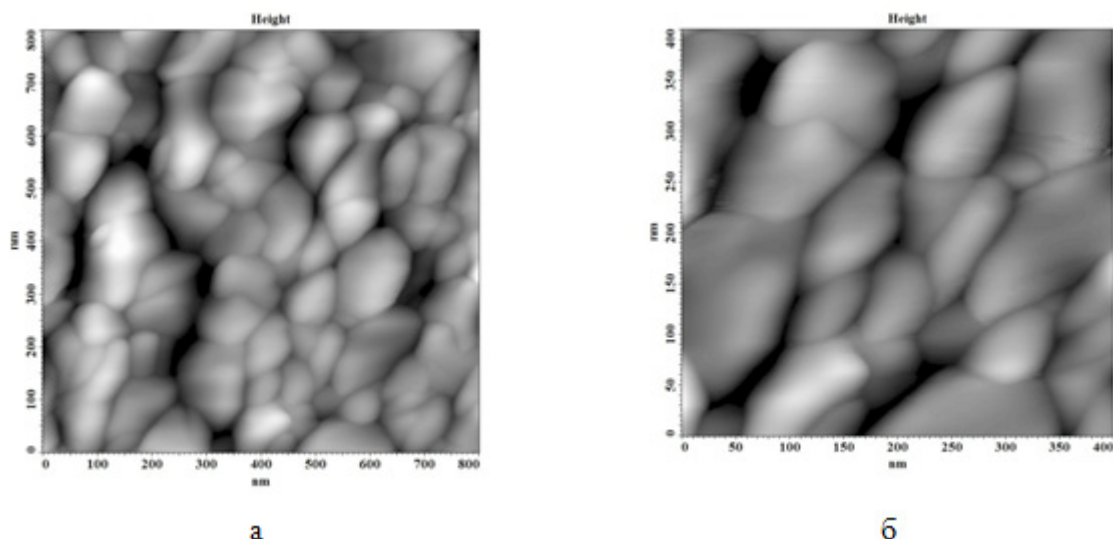


Рис. 3. Атомно-силовые изображения образца 12CVDOK22, размер изображения:  
а) 0,8 мкм x 0,8 мкм; б) 0,4 мкм x 0,4 мкм

- в потоке атмосферного воздуха в присутствии паров этанола;
- в потоке атмосферного воздуха в присутствии паров воды;
- в потоке атмосферного воздуха при освещении образца.

Диагностирование сенсорных наноструктур синтезированных методом химического осаждения из паровой фазы, производилось с помощью спектроскопии адмиттанса в диапазоне частот от 1 Гц до 5 МГц. [16–18]

Выявлено, что пленочные наноматериалы на основе диоксида олова и стannата цинка, созданные на подложках окисленного кремния обладают чувствительностью к газам-реагентам при комнатной температуре в переменном электрическом поле.

Данные спектроскопии импеданса можно интерпретировать 2 – мя связанными  $R - CPE$  цепочками. При этом одну цепь можно связать объемом зерен, а вторую цепь – с областью характеризующую межзеренные границы металлооксидов. Показано, что можно управлять резистивно-емкостными свойствами образцов по причине различного дипольного момента анализируемых мо-

лекул газов-реагентов, что можно использовать для увеличения чувствительности полупроводниковых газовых сенсоров [19–21] на основе металлооксидов. [22–25]

### Заключение

В ходе выполнения работы на кафедре микро- и нанoeлектроники была создана лабораторная установка, позволяющая создавать нанокomпозиты на основе двухкомпонентных систем, методом CVD, что позволит формировать наноструктурированные материалы различного функционального назначения, в том числе для сенсорных устройств, детектирующих восстанавливающие газы.

При варьировании условий синтеза были получены образцы наноматериалов на основе металлооксидов. Показана возможность создания пленочных наноструктур на основе оксида олова, оксида цинка и стannата цинка. Выявлено, что дополнительный отжиг при температуре 600 °C в атмосфере воздуха в течение 20 минут приводит к окислению SnO до SnO<sub>2</sub>.

Выявлено, что полученные материалы представляются собой корпускулярно-пористые системы, состоящие

Таблица 1. Параметры для релаксаторов

Атмосфера	Образец 12CVDOK22 комнатная температура					
	$R_1$ , МОм	$R_2$ , МОм	$A_1$ , нФ	$A_2$ , нФ	$n_1$	$n_2$
воздух	5	1,4	0,4	3,96	0,75	0,44
увлажненный воздух	1,3	3,7	0,2	4,3	0,63	1
ацетон	36,8	0,1	0,4	3,96	0,95	0,44
Атмосфера	Образец 12CVDOK11 температура 350 °C					
	$R_1$ , КОм	$R_2$ , КОм	$A_1$ , нФ	$A_2$ , нФ	$n_1$	$n_2$
воздух	19,3	4,7	0,3	4,16	0,95	1
спирт	4.1	2,5	0,4	3,93	0,99	0,5



из агрегированных частиц размером от десятков до сотен нанометров и пор, являющихся промежутками между частиц.

Выявлено, что пленочные наноматериалы на основе диоксида олова и стannата цинка, созданные на подложках окисленного кремния обладают чувствительно-

стью к газам-реагентам при комнатной температуре в переменном электрическом поле. Данные спектроскопии импеданса можно интерпретировать 2 — мя связанными R — CPE цепочками. При этом одну цепь можно связать объемом зерен, а вторую цепь — с областью характеризующую межзеренные границы металлооксидов.

#### Литература:

1. Давыдов С.Ю., Мошников В.А., Томаев В.В. Адсорбционные явления в поликристаллических полупроводниковых сенсорах. СПб. СПбГЭТУ «ЛЭТИ» — 1998
2. Gracheva I.E., Moshnikov V.A., Karpova S.S., Maraeva E.V. Net-like structured materials for gas sensors Journal of Physics: Conference Series. 2011. Т. 291. №1. С. 012017.
3. Gracheva I.E., Moshnikov V.A., Maraeva E.V., Karpova S.S., Aleksandrova O.A., Alekseyev N.I., Kuznetsov V.V., Semenov K.N., Startseva A.V., Sitnikov A.V., Olchowiak G., Olchowiak J.M. Nanostructured materials obtained under conditions of hierarchical self-assembly and modified by derivative forms of fullerenes. Journal of Non-Crystalline Solids. 2012. Т. 358. №2. С. 433–439
4. Мясоедов Б.Ф., Давыдов А.В. Химические сенсоры: возможности и перспективы. Журнал аналитической химии. 1990. — Т. 45. — В. 7. — С. 1259–1278.
5. Gopel W., Reinhardt G. New Metal Oxide Sensors: Materials and Properties in Sensors Update. in: Balthes H., Gopel W., Hesse J. (Eds.), V. 2. 1996.
6. Spivak Y.M., Moshnikov V.A. Features of photosensitive polycrystalline pbcde layers with a network-like structure Journal of Surface Investigation: X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques. 2010. Т. 4. №1. С. 71–76.
7. Беседин С.Н., Ильин Д.Р., Лагкуев В.А. Автоматизированная установка для выращивания полупроводниковых кристаллов. Приборы и техника эксперимента, 1989. т.№1. -с. 217–219.
8. Дегоев М.А., Мошников В.А. Послойная кристаллизация полупроводников AIVBVI в условиях вращающейся печи. Известия ЛЭТИ, 1990. т.Вып. 420:Материалы для фотоприемных и излучающих устройств. -с. 29–34
9. Дедегкаев Т.Т., Дугужев Ш.М., Мошников В.А. Исследование локальных неоднородностей в PbTe и Pb<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>Te, легированных галлием. Журнал технической физики, 1985. т.Т. 55,N №3.-с. 618–620
10. Dedegkaev T.T; Duguzhev S.M; Zhukova T.B. Production and investigation of composition and structure of new sngate10 compounds Zhurnal Tekhnicheskoi Fiziki Volume: 55 Issue: 12 Pages: 2408–2410 Published: DEC 1985
11. Dedegkaev T.T; Duguzhev S.M; Zhukova T.B. The PbTe-Ga<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> system near PbGa<sub>6</sub>Te<sub>10</sub>.Inorganic materials Volume: 22 Issue: 10 Pages: 1526–1528 Published: OCT 1986
12. Baranetz S.M; Dedegkaev T.T; Duguzhev S.M. The PbTe-Ga<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> system. Inorganic materials Volume: 23 Issue: 7 Pages: 1088–1091 Published: JUL 1987
13. Chang Y.-J., Lee D.-H., Herman G.S., Chang C.-H. High-Performance, Spin-Coated Zinc Tin Oxide Thin-Film Transistors. Electrochemical and Solid-State Letters. — 2008. — 10 (5). — H135-H138
14. Грачева И.Е., Гареев К.Г., Мошников В.А., Кайралиева Т.Г., Шалапанов А.А. Исследование наноконпозиционных материалов на основе оксидов эрбия и железа, полученных в условиях спинодального распада и нуклеофильного роста. Физика и химия обработки материалов. 2012. №6. С. 58–64.
15. Мошников В.А., Спивак Ю.М. Атомно-силовая микроскопия для нанотехнологии и диагностики. Учеб. пособие. СПб. Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2009.
16. Barsoukov, J. Ross Macdonald, Impedance Spectroscopy, Theory, Experiment, and Applications, Second Edition, Interscience, Willey, 2005, p. 595
17. Томаев В.В., Мошников В.А., Мирошкин В.Р., Гаркин Л.Н., Zhivago A.Yu. Impedance spectroscopy of metal-oxide nanocomposites. Физика и химия стекла. 2004. Т. 30. №5. С. 624.
18. Porous silicon with embedded metal oxides for gas sensing applications / Moshnikov V.A., Gracheva I., Lenshin A.S. et. al. // Journal of Non-Crystalline Solids. 2012. Т. 358. №3. С. 590–595.
19. Грачева И.Е., Мошников В.А. Возмущающее электрическое воздействие с переменной частотой как новая перспектива для увеличения чувствительности и селективности в системах типа «электронный нос» / Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. 2009. №79. С. 100–107.
20. A computer-aided setup for gas-sensing measurement of sensors based on semiconductor nanocomposites / I.E. Gracheva, A.I. Maksimov, V.A. Moshnikov, M.E. Plekh // Instruments and Experimental Techniques. — 2008. — Т. 51, №3. — С. 462–465.
21. Датчик газового анализа и система газового анализа с его использованием / В.П. Афанасьев, П.В. Афанасьев, И.Е. Грачева // Патент на изобретение. RUS 2413210. — 11.01.2010.

22. Фазовые и структурные превращения в нанокompозитах на основе SnO<sub>2</sub> – SiO<sub>2</sub> – In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / Известия Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета ЛЭТИ. 2006. №2. С. 40.
23. Сетчатые иерархические пористые структуры с электроадгезионными контактами / И.Е. Грачева, С.С. Карпова, В.А. Мошников, Н.С. Пщелко // Известия Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета ЛЭТИ. 2010. №8. С. 27–32
24. Мошников В.А., Грачева И.Е., Налимова С.С. Смешанные металлооксидные наноматериалы с отклонением от стехиометрии и перспективы их технического применения. Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2012. №42–2. С. 59–67.
25. Мошников В.А., Грачева И.Е. Сетчатые газочувствительные нанокompозиты на основе диоксидов олова и кремния / Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2009. № S30. С. 92–98.

## Идентификация и аппроксимация колебаний конструктивных элементов

Гарькина Ирина Александровна, доктор технических наук, доцент;  
 Гарькин Игорь Николаевич, аспирант  
 Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Анализ и синтез сложных конструкций во многих случаях связаны с построением вибрационной карты и селекцией конструктивных элементов с недопустимым уровнем вибрации. Положительный эффект при решении этих задач дает использование метода экспоненциально-тригонометрической аппроксимации функции  $y = f(x)$ , заданной таблично (экспериментальные данные) на отрезке  $0 \leq x \leq X$ . Для определенности будем искать приближение  $f(x)$  выражением вида

$$Q(x) = Ae^{-\alpha x}G(x),$$

где  $G(x)$  – чётный тригонометрический полином. Для определения параметров  $A$  и  $\alpha$  экспоненциального множителя  $Ae^{-\alpha x}$  построим огибающую заданной функции, выделив из конечной последовательности модулей заданных значений функции строго убывающую, вогнутую последовательность ординат:

- построим (конечную) последовательность модулей заданных значений функций  $z_k = |y_k| = |f(x_k)|$ ,  $k = \overline{0, n}$ ;
- извлечём из этой последовательности строго убывающую последовательность  $w_k = |f(v_k)|$ ,  $k = \overline{0, m}$ , сравнивая поочерёдно смежные члены; если данный член окажется не меньше предыдущего, то все предыдущие члены, которые не больше данного, исключаются;
- из полученной последовательности извлечем строго вогнутую последовательность  $s_k = |f(r_k)|$ ,  $k = \overline{0, p}$ , сравнивая поочерёдно угловые коэффициенты смежных звеньев полученной ломаной; если данный угловой коэффициент не больше предыдущего, то исключим все те предыдущие вершины ломаной, которые окажутся, ниже прямой, продолжающей влево данное звено. Ординаты вершин полученной ломаной и дадут требуемую конечную строго убывающую, строго вогнутую последовательность  $y = s_k = |f(r_k)|$ , где  $x = r_k$  – отобранные значения независимой переменной  $x$ ,  $k = \overline{0, p}$ .

Далее полученную зависимость  $s_k = |f(r_k)|$ ,  $k = \overline{0, p}$  аппроксимируем экспоненциальной функцией  $Ae^{-\alpha x}$  методом наименьших квадратов. Параметры  $A$  и  $\alpha$  определяются из системы уравнений

$$(p+1)\ln A - \alpha \sum_{k=0}^p r_k = \sum_{k=0}^p \ln s_k,$$

$$\ln A \sum_{k=0}^p r_k - \alpha \sum_{k=0}^p r_k^2 = \sum_{k=0}^p r_k \ln s_k.$$

Затем по заданной таблице значений функции  $y = f(x)$  построим таблицу значений функции  $t = \frac{1}{A}e^{\alpha x}y$  и интерполируем величину  $t$  чётным тригонометрическим полиномом

$$G(x) = \frac{1}{A} \sum_{k=0}^n e^{\alpha x_k} y_k l_k(x) \quad , \quad l_k(x) = \prod_{j \neq k} \left( \frac{\cos \frac{\pi}{X} x - \cos \frac{\pi}{X} x_j}{\cos \frac{\pi}{X} x_k - \cos \frac{\pi}{X} x_j} \right)$$

Окончательно:

$$Q(x) = Ae^{-\alpha x} G(x) .$$

В качестве иллюстрации рассмотрим экспоненциально тригонометрическую аппроксимацию экспериментальных данных (табличные значения  $y = f(x)$ ), полученные по осциллограммам, табл.1)

Таблица 1

<i>x</i>	<i>y</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>x</i>	<i>y</i>
1	0,2967	19	0,2803	37	-0,0322	55	-0,1925	73	0,0430
3	0,0499	21	0,1622	39	-0,0156	57	-0,1668	75	0,0517
5	-0,3358	23	0,0932	41	0,0315	59	-0,1060	77	0,0549
7	-0,7092	25	0,0794	43	0,0772	61	-0,0380	79	0,0340
9	-0,5298	27	0,0769	45	0,0970	63	0,0366	81	-0,0100
11	-0,5676	29	0,0675	47	0,0717	65	0,0901	83	-0,0481
13	-0,1125	31	0,0409	49	0,0057	67	0,1051	85	-0,0451
15	0,2613	33	0,0057	51	-0,0897	69	0,0835	87	-0,0519
17	0,5613	35	-0,0284	53	-0,1655	71	0,0535	89	-0,0313

Определим параметры *A* и  $\alpha$  экспоненциального множителя  $Ae^{-\alpha x}$  (график функции  $y = f(x)$  вписывается в область, ограниченную кривыми  $y = Ae^{-\alpha x}$ ,  $y = -Ae^{-\alpha x}$ ). Для этого по заданной последовательности  $y_k = f(x_k)$  значений функции, где  $x_k = x_0 + kh$  ( $x_0 = 1, h = 2, k = 0, n, n = 44$  – четное число) построим последовательность  $|y_k| = |f(x_k)|$  модулей этих значений и из неё извлечём строго убывающую последовательность  $w_k = |f(v_k)|, k = 0, q$ . А именно последовательность:

$$w_0 = |f(9)| = 0,8293, \quad w_1 = |f(17)| = 0,5613, \quad w_2 = |f(55)| = 0,1925, \quad w_3 = |f(67)| = 0,1051, \quad w_4 = |f(77)| = 0,0549, \quad w_5 = |f(87)| = 0,0519; (q=5).$$

Угловые коэффициенты звеньев полученной ломаной (-0,0336; -0,0097; -0,0073; -0,0050; -0,0033) строго возрастают; последовательность  $w_k$  совпадает с выделяемой из неё строго убывающей, вогнутой последовательностью  $s_k = |f(r_k)|: s_k = w_k, r_k = v_k, k = 0, p; p = q = 5$ . Аппроксимируем эту последовательность функцией вида  $Ae^{-\alpha x}$  методом наименьших квадратов, используя результаты, приведенные в табл.2.

Таблица 2

<i>k</i>	<i>l</i>	<i>r<sub>k</sub></i>	<i>S<sub>k</sub></i>	<i>r<sub>k</sub><sup>2</sup></i>	ln <i>S<sub>k</sub></i>	<i>r<sub>k</sub></i> ln <i>S<sub>k</sub></i>
0	1	9	0,8298	81	-0,18657	-1,67913
1	1	17	0,5613	289	-0,57750	-9,8175
2	1	55	0,1925	3025	-0,64766	-90,6213
3	1	67	0,1021	4489	-2,25284	-150,94028
4	1	77	0,0549	5929	-0,90224	-223,47263
5	1	87	0,0519	7569	-0,29844	-257,38428
Σ	6	312	-	21382	-10,525292	-733,91522

Получим

$$6 \ln A - 312 \alpha = -10,525292,$$

$$312 \ln A - 21382 \alpha = -733,91522.$$

Откуда:

$$\ln A = 0,12698, \quad A = 1,13539, \quad \alpha = 0,03618 \quad (e^\alpha = 1,03684, e^{-\alpha} = 0,96447).$$

Далее функцию  $\frac{1}{A}e^{\alpha x}f(x)$  аппроксимируем частной суммой  $G(x)$  ряда Фурье, добавляя в неё новые члены до тех пор, пока не будет достигнута требуемая точность аппроксимации. В рассматриваемом случае функция  $\frac{1}{A}e^{\alpha x}f(x)$  на заданном отрезке обнаруживает приблизительную периодичность с периодом  $2l=48=24h$ . Рассмотрим разложение на отрезке длиной  $2l=48$  тригонометрическим полиномом

$$G(x) = a_0 + a_1 \cos \frac{\pi}{l}x + a_2 \cos \frac{2\pi}{l}x + a_3 \cos \frac{3\pi}{l}x + b_1 \sin \frac{\pi}{l}x + b_2 \sin \frac{2\pi}{l}x + b_3 \sin \frac{3\pi}{l}x$$

(в данном случае достигается удовлетворительная точность; для достижения большей точности следует добавить новые члены).

Коэффициенты Фурье

$$a_k = \frac{1}{l} \int_{x_0}^{x_0+2l} \frac{1}{A} e^{\alpha x} f(x) \cos \frac{k\pi}{l}x dx, \quad b_k = \frac{1}{l} \int_{x_0}^{x_0+2l} \frac{1}{A} e^{\alpha x} f(x) \sin \frac{k\pi}{l}x dx$$

приблизённо определялись по формуле Симпсона. Для этого составлялись следующие таблицы (табл. 3, 4), где  $e^\alpha = 1,03684, l=24$

Таблица 3

$i$	$x_i$	$f(x_i)$	$(e^\alpha)^{x_i}$	$\cos \frac{\pi}{l}x_i$	$\cos \frac{2\pi}{l}x_i$	$\cos \frac{3\pi}{l}x_i$	$(e^\alpha)^{x_i} f(x_i)$
0	1	0,2967	1,03684	0,99144486	0,965926	0,92338796	0,30763
1	3	0,0499	1,1146414	0,92387955	0,707107	0,38268946	0,05562
2	5	-0,3358	1,198208	0,79335337	0,258819	-0,38268346	-0,40238
3	7	-0,7092	1,2881963	0,60876152	-0,258819	-0,9236796	-0,91359
4	9	-0,8298	1,3848588	0,32268346	-0,707107	-0,9238796	-1,14916
5	11	-0,5676	1,4887745	0,13052629	-0,965926	-0,38268346	-0,84503
6	13	-0,1125	1,6004878	-0,13052629	-0,965926	0,38268346	-0,18005
7	15	0,2613	1,7205837	-0,32268346	-0,707107	0,9238796	0,44959
8	17	0,5613	1,8496913	-0,60876152	-0,258819	0,9238769	1,03883
9	19	0,2803	1,9884867	-0,79335337	0,258819	0,38268346	0,55737
10	21	0,1622	2,1376969	-0,92387955	0,707107	-0,38268346	0,34673
11	23	0,0932	2,298134	-0,99144486	0,965926	-0,9238796	0,21419
12	25	0,0794	2,4705464	0,99144486	0,965926	-0,9238796	0,19616
13	27	0,0769	2,655929	-0,32387955	0,707107	-0,38268346	0,20424
14	29	0,0675	2,8552222	-0,79335337	0,258819	0,38268346	0,19273
15	31	0,0409	3,0694697	-0,60876152	-0,258819	0,9238796	0,12554
16	33	0,0057	3,2997938	-0,32268346	-0,707107	0,9238796	0,01881
17	35	-0,0284	3,5474007	-0,13052629	-0,965926	0,38268346	-0,10075
18	37	-0,0332	3,8135873	0,13052629	-0,965926	-0,38268346	-0,12661
19	39	-0,0156	4,0997478	0,32268346	-0,707107	-0,92387696	-0,06396
20	41	0,0315	4,4073809	0,60876152	-0,258819	-0,92387696	-0,13883
21	43	0,0772	4,7380979	0,79335337	0,258819	-0,38268346	0,36578
22	45	0,0970	5,093631	0,92387955	0,707107	0,38268346	0,49408
23	47	0,0717	5,4758422	0,99144486	0,965926	0,9238796	0,39262
24	49	0,0057	5,8867335	0,99144486	0,965926	0,9238796	0,03355

Таблица 4

$i$	$x_i$	$f(x_i)$	$(e^\alpha)^{x_i}$	$\sin \frac{\pi}{l} x_i$	$\sin \frac{2\pi}{l} x_i$	$\sin \frac{3\pi}{l} x_i$	$(e^\alpha)^{x_i} f(x_i)$
0	1	0,2967	1,03684	0,13052629	0,25881903	0,38268343	0,30763
1	3	0,0499	1,1146414	0,32268346	0,707107	0,9238796	0,05562
2	5	-0,3358	1,198208	0,60876152	0,965926	0,9238796	-0,40238
3	7	-0,7092	1,2881963	0,793353337	0,965926	0,38268343	-0,91359
4	9	-0,8298	1,3848588	0,92397955	0,707107	-0,38268343	-1,14916
5	11	-0,5676	1,4887745	0,99144486	0,25881903	-0,9238796	-0,84503
6	13	-0,1125	1,6004878	0,99144486	-0,25881903	-0,9238796	-0,18005
7	15	0,2613	1,7205837	0,92397955	-0,707107	-0,38268343	0,44959
8	17	0,5613	1,8496913	0,793353337	-0,965926	0,38268343	1,03823
9	19	0,2803	1,9884867	0,60876152	0,965926	0,9238796	0,55737
10	21	0,1622	2,1376969	0,32268346	-0,707107	0,9238796	0,34673
11	23	0,0932	2,298134	0,13052629	-0,25881903	0,38268343	0,21419
12	25	0,0794	2,4705464	-0,13052629	0,25881903	-0,38268343	0,19616
13	27	0,0769	2,655929	-0,3226846	0,707107	-0,9238796	0,20424
14	29	0,0675	2,8552222	-0,60876152	0,965926	-0,9238796	0,19273
15	31	0,0409	3,0694697	-0,793353337	0,965926	-0,38268343	0,12554
16	33	0,0057	3,2997938	-0,92397955	0,707107	0,38268343	0,01881
17	35	-0,0284	3,5474007	-0,99144486	0,25881903	0,9238796	-0,10075
18	37	-0,0332	3,8135873	-0,99144486	-0,25881903	0,9238796	-0,12661
19	39	-0,0156	4,0997478	-0,92397955	-0,707107	0,38268343	-0,06396
20	41	0,0315	4,4073809	-0,793353337	-0,965926	-0,38268343	-0,13883
21	43	0,0772	4,7380979	-0,60876152	-0,965926	-0,9238796	0,36578
22	45	0,0970	5,093631	-0,3226846	-0,707107	-0,9238796	0,49408
23	47	0,0717	5,4758422	-0,13052629	-0,25881903	-0,38268343	0,39262
24	49	0,0057	5,8867335	0,13052629	0,25881903	0,38268343	0,03355

По формуле Симпсона имеем:

$$a_k = \frac{1}{lA} \cdot \frac{h}{3} (c_{k_0} + c_{k_{24}} + 4(c_{k_1} + c_{k_3} + \dots + c_{k_{23}}) + 2(c_{k_2} + c_{k_4} + \dots + c_{k_{22}})), \quad k = \overline{0,3};$$

$$b_k = \frac{1}{lA} \cdot \frac{h}{3} (s_{k_0} + s_{k_{24}} + 4(s_{k_1} + s_{k_3} + \dots + s_{k_{23}}) + 2(s_{k_2} + s_{k_4} + \dots + s_{k_{22}})), \quad k = \overline{1,3};$$

$$c_{ki} = (e^\alpha)^{x_i} f(x_i) \cos \frac{k\pi}{l} x_i, \quad k = \overline{0,3}; \quad s_{ki} = (e^\alpha)^{x_i} f(x_i) \sin \frac{k\pi}{l} x_i, \quad k = \overline{1,3};$$

$$x_i = x_0 + ih = 1 + 2i, \quad \left( i = 0, 1, \dots, \frac{2l}{h}; \frac{2l}{h} - 24 \right).$$

Подставляя  $a_0 = 0,07933$ ,  $a_1 = -0,17080$ ,  $b_1 = -0,13193$ ,  $a_2 = 0,23027$ ,  $b_2 = -0,32187$ ,  $a_3 = 0,30377$ ,  $b_3 = 0,02186$ , получим

$$f(x) \approx Q(x) = 1,13539e^{-0,03618x} (0,07933 - 0,017080 \cos \frac{\pi}{24} x - 0,13193 \sin \frac{\pi}{24} x + 0,23027 \cos \frac{2\pi}{24} x - 0,32187 \sin \frac{2\pi}{24} x + 0,30377 \cos \frac{3\pi}{24} x + 0,02186 \sin \frac{3\pi}{24} x).$$

Эту аппроксимацию табулируем с помощью следующей таблицы:

$x_i$	$-0,1708 \cdot \cos \frac{\pi}{24}x$	$0,23027 \cdot \cos \frac{2\pi}{24}x$	$0,30377 \cdot \cos \frac{3\pi}{24}x$	$-0,13193 \cdot \sin \frac{\pi}{24}x$	$-0,32187 \cdot \sin \frac{2\pi}{24}x$	$0,02186 \cdot \sin \frac{3\pi}{24}x$	$e_i = \frac{x}{1,03684}$	$Q(x)$	$f(x_i)$
1	-0,1693	0,2224	0,2813	-0,0172	-0,0833	0,0084	1,0368	0,3785	0,2967
9	-0,0551	-0,1628	-0,2806	-0,1219	-0,2276	-0,0084	1,3849	-0,6375	-0,8298
17	0,1039	-0,0596	0,2803	-0,1047	0,3109	0,0084	1,8497	0,3799	0,5613
25	0,1693	0,2224	-0,2806	0,0172	0,0833	-0,0084	2,4705	0,0506	0,0794
29	0,1355	0,0259	0,1162	0,0803	-0,3109	-0,2872	2,8552	0,0315	0,0675
33	0,0551	-0,1625	-0,2806	0,1219	-0,2276	0,0084	3,2988	0,0533	0,0057
37	-0,0223	-0,2224	-0,1162	0,1308	0,0833	0,0202	3,8136	-0,0141	-0,0332
45	-0,1578	0,1628	0,1162	0,0803	0,2276	-0,0202	5,0936	1,0885	0,0970

Рассмотренный метод аппроксимации с большой эффективностью использовался при выполнении научно-исследовательских работ в соответствии с тематическим планом ВУЗа [1,2].

Литература:

1. Гарькина И.А. Математическое и компьютерное моделирование сложных систем / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Э.Р. Домке. — Пенза: ПГУАС, 2011. — 296 с.
2. Данилов А.М., Гарькина И.А., Гарькин И.Н. Защита от удара и сопровождающей вибрации: экспоненциально-тригонометрическая аппроксимация функций / Региональная архитектура и строительство, №3 (14), 2012 г.с. 85–89.

### Оценка параметров распределения амплитуд в управляющих движениях оператора

Данилов Александр Максимович, доктор технических наук, профессор;  
 Пылайкин Сергей Александрович, аспирант  
 Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Известно [1,2], в процессе нормальной эксплуатации многих транспортных эргатических систем оператор при управлении опрашивает объект, определяет его реакцию и работает в импульсном режиме. Управление  $u(t)$  может рассматриваться как последовательность импульсов разной формы, следующих друг за другом через некоторые промежутки времени. При заданной форме импульсов основными характеристиками управляющих воздействий будут случайные параметры импульсов: амплитуда (высота) —  $A_v$ , длительность —  $\tau_v$ , время появления —  $t_v$  и вероятности их распределений. Информация о состоянии объекта и его систем поступает к оператору через систему отображения информации или воспринимается им непосредственно через зрительные, слуховые и т.д. рецепторы. В результате полученной информации в центральной нервной системе формируется *текущая информационная модель* движения объекта. На основе сравнения ее с *концептуальной моделью* (формируется в сознании оператора на основе обученности, тренировки, опыта) определяются управляющие сигналы, передаваемые на органы управления (*информационно-исполнительная модель*).

Параметры импульсов можно являются результатом воздействия многих случайных факторов. Так что при установлении законов их распределений можно воспользоваться центральной предельной теоремой. В соответствии с ней, если в сумме  $Y_n = \sum X_i$  нет слагаемых, влияние которых на рассеяние  $Y_n$  подавляюще велико по сравнению с влиянием всех остальных, и нет большого числа слагаемых с чрезмерно малым влиянием по сравнению с суммарным влиянием остальных, то распределение  $Y_n$  будет нормальным с математическим ожиданием  $\sum_{i=1}^n a_i$  и дисперсией  $\sum_{i=1}^n \sigma_i^2$ . Здесь

$X_1, X_2, \dots, X_n$  – независимые случайные величины,  $M[X_i] = a$ ,  $D[X_i] = \sigma^2$ ,  $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{\left(\sum_{i=1}^n \sigma_i^2\right)^{\frac{3}{2}}} = 0$ ,  $M[|X_i - a|^3] = m_i$ ;

удельный вес каждого отдельного слагаемого стремится к нулю при увеличении числа слагаемых.

Займемся проверкой гипотезы о нормальности закона распределения амплитуд  $A_v$  импульсов в управляющих воздействиях оператора транспортной эргатической системы. Статистический ряд, полученный по экспериментальным данным, приводится в таблице 1.

Таблица 1

$I_i$	2; 4	4; 5	5; 6	6; 7	7; 9	9; 11	11; 19
$\tilde{a}_i$	3	4,5	5,5	6,5	8	10	12
$\tilde{a}_i - \bar{a}$	-4,81	-2,81	-1,81	-0,81	0,69	2,69	7,69
$m_i$	6	5	4	10	5	5	5
$p_i^*$	0,15	0,125	0,1	0,25	0,125	0,125	0,125
$(\tilde{a}_i - \bar{a})^2$	18,6	7,9	3,28	0,656	0,476	7,24	59,1

В таблице указаны экспериментальные значения случайной амплитуды  $A$  в управляющих движениях для каждого из разрядов  $I_i = (a_i, a_{i+1})$ ;  $\tilde{a}_i = \frac{1}{2}(a_i + a_{i+1})$ ; определены частоты  $m_i$  и относительные частоты  $p_i^* = \frac{m_i}{m}$ ;  $\sum_{i=1}^k p_i^* = 1$ . Точечные оценки параметров нормального распределения определяются методом моментов Пирсона из условий:

$$\bar{a} = \frac{\sum_{i=1}^k \tilde{a}_i m_i}{\sum_{i=1}^k m_i} = \sum_{i=1}^k \tilde{a}_i p_i^*; \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k m_i (\tilde{a}_i - \bar{a})^2}{\sum_{i=1}^k m_i}} = \sqrt{\sum_{i=1}^k (\tilde{a}_i - \bar{a})^2 p_i^*}.$$

Здесь «теоретический» закон распределения случайной амплитуды  $A_v$  будет иметь вид

$$f(a) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(a-\bar{a})^2}{2\sigma^2}},$$

а теоретические вероятности  $p_i$  попадания значений  $A_v$  в  $i$ -й разряд определяются из соотношения

$$p_i = P(a_i < A < a_{i+1}) = \Phi^*\left(\frac{a_{i+1} - \bar{a}}{\sigma}\right) - \Phi^*\left(\frac{a_i - \bar{a}}{\sigma}\right), \quad \Phi^*(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt.$$

При проверке согласованности «теоретического» нормального закона распределения со статистическим распределением случайной величины  $A_v$  будем исходить из расхождений между теоретическими вероятностями  $p_i$  и наблюдаемыми частотами  $p_i^*$ . В качестве меры расхождения между «теоретическим» и статистическим распределениями будем рассматривать случайную величину

$$U = \sum_{i=1}^k c_i (p_i^* - p_i)^2.$$

Отклонения  $(p_i^* - p^i)$  относятся к разным разрядам, поэтому по значимости они, в общем случае, не равноправны: одно и то же по абсолютной величине отклонение может быть малозначительным, если сама вероятность  $p_i$  велика, и очень заметным, если она мала. Поэтому веса  $c_i$  обычно принимаются пропорциональными вероятностям разрядов  $p_i$ , то есть предполагается, что  $c_i = \frac{b}{p_i}$ .

Возникает вопрос, как выбрать коэффициент пропорциональности  $b$ . Известно, если число опытов  $n \rightarrow \infty$ , а  $c_i = \frac{n}{p_i}$ , ( $b = n$ ), то закон распределения  $U$  практически не зависит от функции распределения и от числа опытов  $n$ , а зависит только от числа разрядов  $k$ . А именно, закон распределения  $U$  приближается к распределению  $\chi^2$  с плотностью распределения

$$f(u) = \begin{cases} \frac{1}{2^{\frac{r}{2}} \Gamma(\frac{r}{2})} u^{\frac{r}{2}-1} e^{-\frac{u}{2}} & \text{при } u > 0, \\ 0 & \text{при } u < 0, \end{cases}$$

где гамма-функция  $\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty t^{\alpha-1} e^{-t} dt$ . Как видим, распределение  $f(u)$  зависит от числа степеней свободы  $r$ . Оно равно числу разрядов за исключением числа независимых условий (связей), наложенных на частоты  $p_i^*$ :

$$\sum_{i=1}^k p_i^* = 1,$$

$$\sum_{i=1}^k \tilde{a}_i p_i^* = \bar{a},$$

$$\sum_{i=1}^k (\tilde{a}_i - \bar{a})^2 p_i^* = \sigma^2,$$

так что  $r = k - 3$ .  
При этом

$$U = \sum_{i=1}^k \frac{n}{p_i} (p_i^* - p_i)^2 = \sum_{i=1}^k \frac{n^2}{p_i} \left( \frac{m_i}{n} - p_i \right)^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(m_i - p_i)^2}{p_i}$$

Если амплитуда  $A_v$  действительно распределена по нормальному закону, то  $F(u_{\text{набл}}) = \int_0^{u_{\text{набл}}} f(u) du$  характеризует вероятность того, что за счет чисто случайных причин мера расхождения  $U$  теоретического нормального и статистического распределений не превосходит величину  $u_{\text{набл}}$ , то есть

$$F(u_{\text{набл}}) = P(U < u_{\text{набл}}).$$

В соответствии с таблицей 1 имеем  $k = 7$ ,  $r = 4$ ,  $n = 40$ ;  $\bar{a} = 7,31$ ;  $\sigma = 3,55$ . При этом «теоретический» нормальный закон распределения имеет вид:

$$f(a) = \frac{1}{3,55\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(a-7,31)^2}{25,2}}$$

Результаты вычислений значений  $u_{\text{набл}}$  приводятся в таблице 2.



Таблица 2

$I_i$	2; 4	4; 5	5; 6	6; 7	7; 9	9; 11	11; 19
$a_{i+1} - \bar{a}$	-3,31	-2,31	-1,31	-0,31	1,69	3,69	11,69
$a_i - \bar{a}$	-5,31	-3,31	-2,31	-1,31	-0,31	1,69	3,69
$\frac{a_{i+1} - \bar{a}}{\sigma}$	-0,932	-0,650	-0,369	-0,0873	0,476	1,04	3,29
$\frac{a_i - \bar{a}}{\sigma}$	-1,500	-0,932	-0,650	-0,369	-0,0873	0,476	1,04
$\Phi^*\left(\frac{a_{i+1} - \bar{a}}{\sigma}\right)$	0,1757	0,2578	0,3561	0,4653	0,6830	0,8508	0,9995
$\Phi^*\left(\frac{a_i - \bar{a}}{\sigma}\right)$	0,0668	0,1757	0,2578	0,3561	0,4653	0,6830	0,8508
$p_i^*$	0,15	0,125	0,1	0,25	0,125	0,125	0,125
$(p_i - p_i^*)^2$	0,00169	0,00184	0,00966	0,0119	0,0474	0,0282	0,0221
$\tilde{n}_i = \frac{n}{p_i}$	367	488	406	367	183	238	268
$c_i(p_i - p_i^*)^2$	0,62023	0,89792	3,92196	4,3673	8,6742	6,7116	5,9228
$u_{\text{набл}} = \chi^2 u_{\text{набл}}$	<b>31,116</b>						

С учетом, что вероятность  $P(\chi_{\text{набл}}^2 < \chi_{\text{кр}}^2)$  весьма мала, то гипотезу о нормальном распределении амплитуды  $A_j$  можно считать неверной. При этом, как показала обработка экспериментальных данных, дискретные значения централизованных мгновенных значений амплитуд  $\dot{u}_j(t_s)$  распределены нормально.

Полученный результат на первый взгляд может показаться неожиданным, но только на первый взгляд. Дело в том, что, работая в импульсном режиме, оператор формирует импульсы, исходя из отклонений параметров состояния от требуемых (по оперативной концептуальной модели). При этом число учитываемых параметров *минимизируется* (селекция информативных сигналов возможна с использованием функций частной когерентности, а минимизация размерности факторного пространства – методом главных компонент), а в *центральной предельной теореме* – *принимается*  $n \rightarrow \infty$ .

Приведенные результаты эффективно использовались при оценке характеристик *стиля управления* по каждому из каналов. А именно, определялись параметры *внутренней структуры* случайной функции

$$\dot{u}_j(t) = u_j(t) - M[u_j(t)],$$

которые рассматривались как *управляющее воздействие первого приближения*. Здесь

$$M[u_j(t)] = \frac{1}{2T_0} \int_{-T_0}^{T_0} u_j(t) dt$$

зависит от выбора интервала усреднения  $2T_0$ . Выбор значения  $T_0$  осуществлялся с учетом значения доминирующей в  $u_j(t)$  частоты  $\omega_c = 2\pi f_c$ ;  $f_c = T_c^{-1}$  (принималось  $T_0 = 0,5T_c$ ). Вообще говоря, внутреннюю структуру можно охарактеризовать и корреляционной функцией или совокупностью законов распределения первого, второго и т.д. порядков. Однако они не обладают достаточной наглядностью и простотой практического использования. Удобными оказались приводимые в [3, 4] показатели, обладающие простым физическим смыслом (импульсы, узкополосный и непрерывный случайные процессы, поток событий, выбросы, временной ряд).

Литература:

1. Илкинд Дж., Миллер Д. О процессе адаптации человека-оператора / Дискретные, самонастраивающиеся и обучающиеся системы. — М.: Наука. 1971. — 440 с.
2. Milsum J.H. Biological control systems Analysis. — McGraw Hill, NY, 1966. — 466 p.
3. Данилов А.М., Домке Э.Р., Гарькина И.А. Математическое моделирование управляющих воздействий оператора в эргатической системе / Вестник МАДИ, №2, 2011. — с. 18–23.
4. Данилов А.М., Домке Э.Р., Гарькина И.А. Формализация оценки оператором характеристик объекта управления / Известия ОрелГТУ. Информационные системы и технологии, 2012. — №2 (70). — с. 5–11.

## Электронные системы обучения водителя транспортного средства

Дятлов Максим Николаевич, старший преподаватель  
Волгоград, Волгоградский государственный технический университет

Увеличение объема автомобильных перевозок в условиях безопасности дорожного движения является основной задачей автомобильного транспорта. Первостепенное значение при этом приобретает человеческий фактор. По статистическим данным, 70–80% дорожно-транспортных происшествий (ДТП) происходит из-за ошибок водителей.

Профессиональная деятельность водителя оценивается двумя взаимосвязанными требованиями. Во-первых, водитель должен работать эффективно, т.е., используя эксплуатационные качества транспортного средства, быстро выполнять задачи по перевозке пассажиров или грузов. Во-вторых, при этом он не должен нарушать требования безопасности движения, т.е. работать надежно. В простых дорожных условиях, когда отсутствуют помехи движению, работать быстро, эффективно и надежно могут многие водители. В сложных условиях работать эффективно могут лишь водители, отличающиеся достаточной надежностью.

Надежность водителя зависит от его профессиональной пригодности, подготовленности и работоспособности. Пригодность зависит от состояния здоровья водителя, его психофизиологических и личностных особенностей. Подготовленность определяется наличием у водителя специальных знаний и навыков. Работоспособность водителя — это состояние, позволяющее ему выполнять работу качественно и с высокой производительностью [1, с. 807].

Интенсивный рост количества эксплуатируемых автомобилей вызывает необходимость в пропорциональном развитии системы подготовки водителей. В количественном выражении эта проблема в настоящее время решается успешно. В стране ежегодно около 2 млн. чел. проходят обучение и получают водительское удостоверение. Однако при такой массовости процесса зачастую теряется качество подготовки. В связи с этим происходит самообучение и «доучивание» значительной части водителей после получения ими водительских удостоверений —

в процессе дорожного движения, что осложняет решение задачи обеспечения безопасности движения [2, с. 96].

Успешное решение данной задачи возможно при использовании современных методик обучения на тренажерах, автодромах, в сложных дорожных условиях при использовании технических средств обучения, позволяющих интенсифицировать процесс обучения вождению [3, с. 3].

Использование автотренажеров стало неотъемлемым элементом современной подготовки водителей. Автотренажеры позволяют приблизить условия обучения к реальным, не подвергая учащегося и инструктора опасности. Кроме того, они позволяют использовать индивидуальный подход к каждому из обучаемых и допускают многократное повторение отдельных операций по управлению автомобилем, добиваясь четкого их выполнения. Используя автотренажеры, можно разбить сложный процесс вождения на отдельные элементы и воспроизвести аварийные ситуации, отработка которых на автодроме и на дороге сопряжена с опасностью, а также уменьшить расходы на обучение водителя.

Основная задача тренажерного этапа подготовки — выработать у учащегося в безопасных условиях элементарные начальные зрительно-двигательные навыки управления автомобилем и восприятия среды движения. Поэтому при обучении на автотренажерах изучаются основные, базовые навыки управления автомобилем, которые отрабатываются более подробно на следующих этапах подготовки водителей.

Объем и разнообразие учебного материала, изучаемого на автотренажере, весьма велик, поэтому овладевают им поэтапно, в следующем порядке:

— на первом этапе приобретаются и закрепляются знания о назначении и расположении органов управления автомобилем, приборов сигнализации и контрольно-измерительных приборов, расположенных в кабине автомобиля (тренажере);

— на втором этапе, будущий водитель, знакомится с правильной посадкой водителя на рабочем месте, с при-

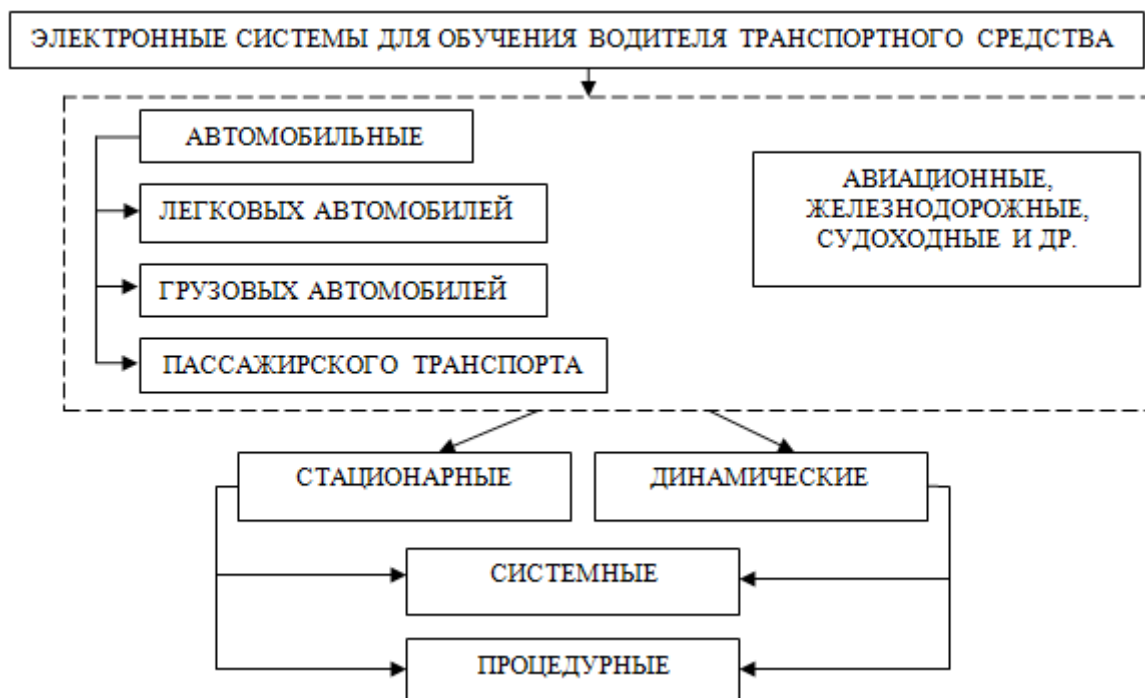


Рис. 1. Электронные системы для обучения водителя транспортного средства

емами регулирования сиденья, зеркал заднего вида, правильным положением рук на рулевом колесе и ног на педалях управления;

- на третьем этапе знакомят с действиями органами управления автомобиля;

- на четвертом этапе – с приемами подготовки органов управления автомобиля к пуску двигателя, самого пуска его, трогания автомобиля с места, его движения и остановки, а также основными приемами маневрирования [3, с. 5].

Тренажеры выполняют две основные функции. Во-первых, это задача предоставления информации, аналогичной той, что предоставляется некоторой имитируемой ими реальной системой. Тренажер хранит, обрабатывает и отображает информацию, отражающую функциональные характеристики системы, а также влияние релевантных внешних условий и входных управляющих воздействий, вводимых оператором.

Во-вторых, тренажеры оснащены специальными средствами, улучшающими и расширяющими их возможности по обеспечению тренировки и обучению операторов, что оказывает непосредственное воздействие на их деятельность при работе в реальной системе.

Многие тренировочные средства имеют общие черты с имитаторами, но служат для других целей. Несмотря на то, что классификация тренировочных средств является до некоторой степени субъективной, она полезна для систематизации видов оборудования, обычно необходимого для эффективного обучения многим сложным навыкам. Двумя наиболее общими видами имитационного обо-

рудования являются соответственно процедурный и системный тренажеры.

Одним из устройств нижнего уровня в иерархии тренировочных средств является процедурный тренажер. Он содержит достаточное количество информации для того, чтобы основные процедурные управляющие входные действия нашли отражение в выводимой средствами индикации информации, непосредственно связанной с функцией управления. Однако в таком тренажере информация предоставляется лишь в том объеме, в каком это необходимо для наблюдения и изучения оператором основных процедурных шагов в работе системы или в ходе ее проверки.

Системные тренажеры являются более совершенными устройствами в смысле обеспечиваемого ими уровня имитации, однако они решают задачи, связанные с конкретной подсистемой, с которой связаны наиболее важные, трудные или требующие больших затрат времени цели обучения.

Тренажеры применяются везде, где использование реальной системы для целей обучения оказывается неэффективным, дорогостоящим, опасным, неудобным или невозможным делом. Разнообразная современная тренажерная техника была создана для целей обучения летному мастерству, но аналогичные комплексы нашли широкое применение в качестве тренировочных средств и в других областях.

На рис. 1 представлена классификация электронных систем для обучения водителя транспортного средства.

Стимулом к появлению современной авиационной тре-



Рис. 2. Тренажер КАМАЗ 4350/5350 на динамической электромеханической платформе

нажерной техники послужила отчасти высокая стоимость обучения с использованием летательных аппаратов, но основным стимулом стало неудобство обучения непосредственно в реальном полете и тот факт, что самолет представляет собой весьма неудобное тренировочное средство для обучения сложным навыкам.

Тренажеры используются во многих учебных программах для подготовки водителей наземных транспортных средств. Например, производственная фирма «Логос» является одной из наиболее известных отечественных компаний на рынке компьютеризированных тренажеров. Тренажер грузового автомобиля КАМАЗ 4350/5350, производимый этим предприятием, предназначен для обучения и совершенствования приемов вождения в различных ландшафтных и погодных условиях, а также в условиях городского движения (рис. 2). Тренажер вождения представляет собой учебно-тренировочный программно-аппаратный комплекс, включающий модуль инструктора и модуль водителя.

Отличительные характеристики тренажера:

- наличие системы определения положения головы водителя для формирования закабинного изображения с учетом перемещения точки наблюдения водителя – при изменении положения водителя происходит изменение отображаемой обстановки, как в реальной машине;
- моделированием трехмерной модели фрагментов дорожной сети г. Москвы;
- имитацией транспортного потока переменной плотности.
- несколько тренажеров могут быть объединены в локальную компьютерную сеть для совместной обработки учебных задач. С одного модуля инструктора возможно управление несколькими тренажерами.
- привод 3-х/6-ти степенной динамической платформы – электромеханический, обеспечивает передачу динамических воздействий на кабину.

Стоимость тренажера: 3 млн. руб. без НДС (без учета стоимости кабины КАМАЗ) [4].

Тренажеры дают много преимуществ при подготовке новичков и тренировке опытных операторов. Многие годы они использовались в основном как экономичная, безопасная и удобная альтернатива реальным системам. В последние годы они начали применяться не только в этом качестве, но также как средство формирования важных навыков на таком уровне, который просто недостижим при обучении на многих реальных системах.

Современные тренажеры – это огромный набор устройств, каждое из которых имеет строго определенное назначение. В зависимости от степени сложности тренажер может имитировать как отдельные функции реальной машины, так и полностью весь процесс управления, включая визуальную обстановку, звуковое сопровождение, ускорения и перегрузки. Однако чем реалистичнее тренажер, тем он дороже. Аппараты с максимальной реалистичностью (близкой к 100%) стоят гораздо дороже чем, транспортное средство, которое они имитируют. Зато они позволяют совершенно безопасно и очень экономно проводить подготовку людей или научные эксперименты, воспроизводя любые, самые сложные, опасные и редкие ситуации, которые сложно или рискованно получить на реальной технике.

Стоимость комплексного тренажера гражданского самолета превышает цену нового авиалайнера. Автотренажер на динамической платформе с круговым обзором в несколько раз дороже реального автомобиля. Тренажер начального уровня значительно доступнее по цене, он не передаст все ощущения от управления настоящей машиной, но позволит отработать базовые навыки, довести до автоматизма необходимые профессиональные рефлексы, которые затем необходимо закрепить, управляя реальным агрегатом.

Для повышения уровня профессионально важных психофизиологических качеств водителей (ПВК) созданы



Рис. 3. Блок-схема методического состава психофизиологического тренажера ТА-2 автомобильный

психофизиологические автомобильные тренажеры. Их функциональные возможности направлены на повышение надежности управления автотранспортом за счет тренировки ПВК, непосредственно влияющих на безопасность движения. На рис. 3 представлена блок-схема методического состава психофизиологического тренажера ТА-2 автомобильный.

В тренажере ТА-2 предусмотрена регулировка степени сложности заданий, что дает возможность повышать уровень профессионально важных психофизиологических качеств водителей в широком диапазоне, с учетом имеющегося уровня ПВК и требований профессии. Аппарат рекомендован для использования при обучении учащихся автошкол и действующих водителей различных видов перевозок [5].

Освоение профессии идет значительно быстрее, если перед тем как сесть за руль или рычаги настоящего автомобиля, трактора, крана и т.п. ученик сначала отработает несколько часов на тренажере. Такой специалист впоследствии будет гораздо внимательнее, увереннее, спокойнее и бережнее управлять техникой.

Поэтому, при выборе тренажера очень важно точно понимать, какая задача на него возлагается:

- Первичная подготовка — тренажер начального уровня, как переходная ступень перед обучением на реальной технике.

- Переподготовка профессионалов — тренажер высокого уровня, хорошо имитирующие все особенности работы реальной техники, позволяющий воспроизводить сложные ситуации и решать типовые профессиональные задачи.

- Научные исследования — максимальная реалистичность, особенно для проведения медицинских экспериментов [6].

Пути снижения количества аварий банально ясны и понятны. Следует повышать технический уровень и поддерживать эксплуатационную надежность автомобиля, устранять дорожные «ловушки», но в большей мере надо помогать и своевременно, с упреждением обращать внимание водителя на опасность воспроизводимого режима движения (нагрузка, скорость, повороты руля, интенсивность разгона, торможения) [7, с. 3].

#### Литература:

1. Например А.А. и др. Автомобильная подготовка. — Челябинск.: Воениздат, 2006. — 947 с.
2. Касаткин Ф.П., Коновалов С.И., Касаткина Э.Ф. Организация перевозочных услуг и безопасность транспортного процесса: Учебное пособие для высшей школы. — М.: Академический Проект, 2004. — 352 с. — («Gaudeamus»).
3. Ваганов В.И., Рывкин А.А. Вождение автотранспортных средств: Учебник водителя. — М.: Транспорт, 1991. — 224 с.: ил., табл.

4. Тренажеры производственной фирмы «Логос» (сайт в интернете logos.merphi.ru).
5. ЗАО «НЕЙРОКОМ» (сайт в интернете neugocom.ru).
6. Центр тренажерных технологий (сайт в интернете simtt.ru).
7. Ходес И.В. Управляемость и активная безопасность автомобиля (водителю, механику, инженеру) / И.В. Ходес. — Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2010. — 140 с.

## Экспериментальное исследование процессов гидродинамики в трубках теплообменника при применении локальных турбулизаторов

Ибрагимов Умиджон Хикматуллаевич, соискатель  
Каршинский инженерно-экономический институт (Узбекистан)

Бобоходжаев Рахимжан Пачеханович, кандидат технических наук, доцент  
Ташкентский государственный технический университет

Узаков Гулом Норбоевич, кандидат технических наук, доцент;

Хамраев Толиб Ярашевич, соискатель;

Боймуродова Хуршида Узоковна, соискатель

Каршинский инженерно-экономический институт (Узбекистан)

Теплообменные аппараты и устройства широко применяются в энергетике и во многих других областях техники: авиационной, химической, нефтеперерабатывающей, пищевой промышленности, холодильной и криогенной технике, в системах отопления и горячего водоснабжения, кондиционирования, в различных тепловых двигателях [1].

В настоящее время на производство теплообменного оборудования расходуется огромное количество легированных и цветных металлов. Поэтому, при проектировании и изготовлении современных теплообменников необходимо стремиться к тому, чтобы они, выполняя свои основные функции, обладали высокой надежностью и при этом были компактными, а, следовательно, имели бы малую массу.

Таким образом, уменьшение массы и габаритов теплообменных аппаратов является актуальной проблемой. Наиболее перспективный путь решения этой проблемы — интенсификация теплообмена.

Опыт создания и эксплуатации, различных тепломасообменных устройств показал, что разработанные методы интенсификации теплообмена обеспечивают снижение габаритов и массы этих устройствах в 1,5...2 раза и более по сравнению с аналогичными серийно выпускаемыми устройствами при одинаковой тепловой мощности и мощности на прокачку теплоносителей.

К настоящему времени предложены и исследованы разнообразные методы интенсификации конвективного теплообмена [2]. Применительно к течению однофазных теплоносителей используются турбулизаторы потока на поверхности, шероховатые поверхности и поверхности, развитые за счет оребрения, закрутка потока спиральными ребрами, шнековыми устройствами, завихрителями, установленными на входе в канал, подмешивание к потоку

жидкости газовых пузырей, а к потоку газа — твердых частиц или капель жидкости, вращение или вибрация поверхности теплообмена, пульсации теплоносителя, воздействие на поток электростатических полей, отсос потока из пограничного слоя, струйные системы. Эффективность этих способов различна, в лучшем случае удается увеличить теплоотдачу в 2—3 раза, при существенно различных затратах энергии.

В связи с вышесказанным, актуальными задачами становятся разработка и исследования современных конструкций локальных турбулизаторов (ЛТ), которые с интенсификацией теплообмена могут существенно снизить темп образования солеотложений на теплообменивающих поверхностях кожухотрубчатых аппаратов.

Актуальность исследуемой проблемы обусловлена необходимостью решения следующих задач: снижение темпов образования отложений на теплообменных поверхностях нагрева, уменьшение гидравлического сопротивления тракта потока воды, интенсификация теплообмена с повышением удельной тепловой мощности и унификация конструкции аппарата.

С целью улучшения гидродинамической обстановки в трубках теплообменников и резкого снижения темпов образования отложений на теплообменивающих поверхностях нами предлагается устанавливать ЛТ для турбулизации потока жидкости. При этом следует отметить, что необходимо обратить внимание на вопрос достижения небольшого приращения гидравлического сопротивления тракта.

Для проведения научно-исследовательских работ, в лабораторных условиях был разработан экспериментальный стенд [3], где исследовалась гидродинамика потока воды при различных режимах течения. Повышение турбулизации потока воды в трубке достигалась путем ис-

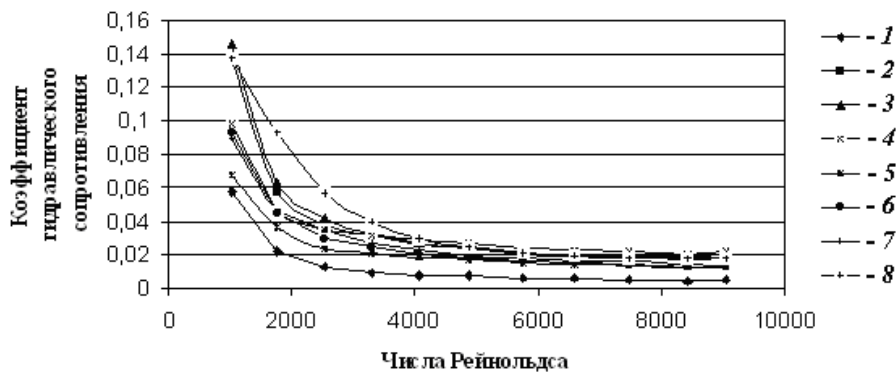


Рис. 1. Зависимость коэффициента гидравлического сопротивления от числа Рейнольдса. 1 – гладкая стеклянная трубка без ЛТ, 2–8 – локальные турбулизаторы с различными конфигурациями.

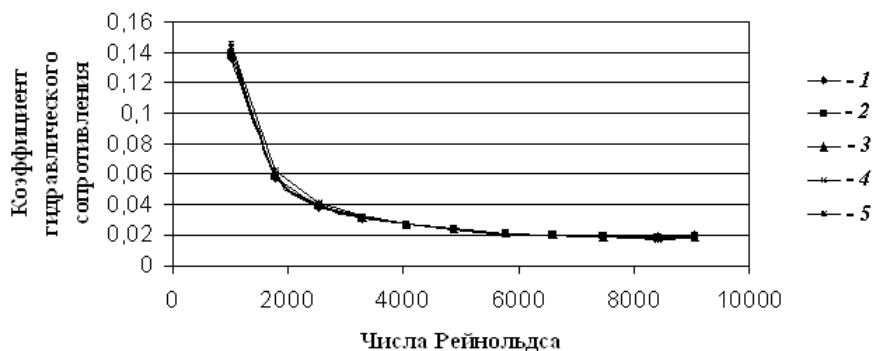


Рис. 2. Изменение коэффициента гидравлического сопротивления при различных шагах локальных турбулизаторов. 1 –  $s=100$  мм; 2 –  $s=110$  мм; 3 –  $s=120$  мм; 4 –  $s=130$  мм; 5 –  $s=150$  мм;

пользования вновь разработанных авторами конструкций ЛТ [4].

Экспериментальная трубка была выполнена из прозрачного стекла. Ее внутренний диаметр и длина соответственно составляли  $D=20$  мм,  $L=1200$  мм. ЛТ представляет из себя проволоку свободной конфигурации с небольшими сгибами по длине, через каждые 5...12 см. В местах сгиба крепились элементы ЛТ – полимерные пустотела, путем пропуска проволоки через центр этих тел. Пустотела, могут быть установлены в различной комбинации. При этом один конец проволоки крепился на входе в трубку, а другой конец оставался свободным, и к нему крепилось пустотело в форме конуса. Последнее служило приданию проволоке колебательного движения за счет энергии набегающего потока. В зависимости от плотности теплоносителя в качестве проволоки могут быть использованы различные материалы с соответствующим удельным весом, например, сталь, полимер и др.

Геометрическая форма пустотела (элемента ЛТ) может быть выполнена различной конфигурации. Критериями оптимального выбора формы элементов являются,

число Рейнольдса и коэффициент гидравлического сопротивления канала аппарата  $\xi$ . Отсюда следует, что необходимо стремиться получить хорошую турбулизацию потока воды с наименьшим относительным приращением гидравлического сопротивления канала.

Результаты исследований гидродинамики потока воды в трубке с использованием разработанных ЛТ показали, что главным фактором, влияющим, на процесс является геометрическая форма, род материала пустотела, шаг крепления, а также упругость проволоки. Визуальное наблюдение показало, что энергия набегающего потока воды придает колебательное движение всем элементам ЛТ, при  $1000 \leq Re$ . Результаты исследований представлены на рис. 1.

На основе проведенных экспериментов выбрана наиболее выгоднейшая конфигурация локального турбулизатора. Исследования проводились при различных шагах турбулизатора. Полученные результаты по гидродинамике представлены в виде графиков и представлены на рис. 2.

Таким образом, используя разработанную конструкцию ЛТ в определенных условиях, можно повысить турбулизацию потока жидкости в трубках теплообменников с от-

носителем небольшим увеличением гидравлического сопротивления канала.

На наш взгляд появляется перспектива использования данной конструкции ЛТ с целью интенсификации процесса теплообмена и снижения темпа образования

отложений, т.к. колебательное движение ЛТ создает в объеме трубки подвижные вихревые течения. Кроме того, данная конструкция ЛТ проста в изготовлении, малозатратна и не требует замены действующего оборудования.

Литература:

1. Калинин Э.К., Дрейцер Г.А. Интенсификация теплообмена в каналах. М.: Машиностроение, 1990.
2. Кузма-Кичта Ю.А. Методы интенсификации теплообмена. М.: МЭИ, 2001.
3. Ибрагимов У.Х., Пулатова Д.М., Исламов Р., Цой К. Экспериментальный стенд для исследования гидродинамики турбулизированного потока воды. // Вестник ТашГТУ. — Ташкент, 2010. — №3. — 79–80 с.
4. Бабаходжаев Р.П., Мухиддинов Д.Н., Тохтохунов Қ.А., Ходжаев Б.А., Ибрагимов У.Х., Юсупов Б.В., Хужанов Р.А. Заявка на получение патента РУз по теме «Турбулизирующее устройство теплообменной трубы». Регистрационный номер заявки № IAP 20100041, дата 05.02.2010 г.

## Экспериментальная установка для исследования процессов гидродинамики и теплообмена в трубках теплообменника

Ибрагимов Умиджон Хикматуллаевич, соискатель  
Каршинский инженерно-экономический институт (Узбекистан)

Бобоходжаев Рахимжан Пачеханович, кандидат технических наук, доцент  
Ташкентский государственный технический университет

Узаков Гулом Норбоевич, кандидат технических наук, доцент;  
Шомуратова Сохиба Мустафакуловна, соискатель  
Каршинский инженерно-экономический институт (Узбекистан)

**П**роблема экономии топливно-энергетических ресурсов является одной из важнейших в экономике страны. С ростом энергетических мощностей и объема производства все более увеличиваются масса и габариты применяемых теплообменных аппаратов [1].

Теплообменные аппараты широко используются в энергетике, химической, нефтеперерабатывающей, пищевой промышленности, в системах кондиционирования воздуха сельском хозяйстве и гражданских зданиях. Основную долю из числа эксплуатируемых теплообменников в промышленности составляют рекуперативные. Техничко-экономические показатели рекуперативных теплообменных аппаратов определяет эффективность проводимых процессов.

Актуальность интенсификации теплообмена в элементах техники и технологических оборудовании обусловлена необходимостью решения следующих задач:

- уменьшение размеров теплоотдающей поверхности;
- снижение мощности на прокачку теплоносителя по контуру;
- повышение надежности поверхности нагрева;
- уменьшение массы и габаритных размеров теплообменных аппаратов;
- уменьшение отложений на теплообменивающих поверхностях;

— сокращение производительности аппаратов.

Интенсификация теплообмена является эффективным путем решения проблемы уменьшения массы и габаритных размеров теплообменных аппаратов и устройств [2]. Поэтому проблема интенсификации процессов конвективного теплообмена является одной из актуальных.

К началу 21-го столетия методы интенсификации теплообмена широко применяются в элементах оборудования энергетики.

Наиболее распространенные методы интенсификации теплообмена — использование эффекта начального участка, искусственная турбулизация потока, осуществляемая в пристенном слое или по всему сечению потока с помощью кольцевых или спиральных канавок, лунок, оребрения поверхности, закрученных лент, шнеков, спиральных труб [3–5]. Для интенсификации теплообмена используется также струйное натекание теплоносителя на поверхность, пористые и щеточные вставки, воздействие ультразвуковых колебаний, электрического поля.

Комбинированные методы интенсификации теплоотдачи основаны на использовании, по крайней мере, двух методов повышения интенсивности теплосъема. Например:

- использование искусственной шероховатости поверхности и закрученной ленты;



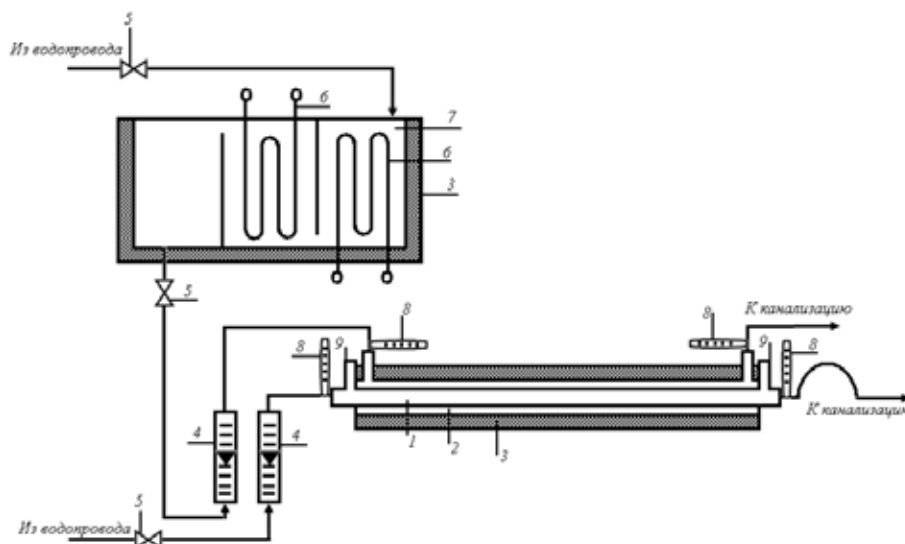


Рис. 1. Экспериментальная установка для исследования процессов гидродинамики и теплообмена в трубках теплообменника.

- 1 – внутренняя трубка теплообменника; 2 – внешняя трубка теплообменника; 3 – теплоизоляционный материал; 4 – ротаметры; 5 – вентили; 6 – трубчатый электронагреватель; 7 – бак для горячей воды; 8 – термометры; 9 – штуцеры для соединения манометров;

- использование спиральной трубы и пористого покрытия;
- использование шероховатой поверхности и генерации акустических колебаний в жидкости.

С целью интенсификации теплообмена и резкого снижения образования отложений на теплообменивающих поверхностях нами предлагается устанавливать в трубках теплообменника локальные турбулизаторы потока воды. Применение указанных типов турбулизаторов не только интенсифицирует процесс теплообмена и снижает скорость отложений, но и приводит к повышению гидравлического сопротивления всего аппарата.

На основе проведенных исследований кафедры «Теплоэнергетика» Каршинского инженерного экономического института были разработаны новые конструкции локальных турбулизаторов [6]. Для исследования процессов гидродинамики и теплообмена в трубках теплообменника разработана экспериментальная установка, приведенная на рисунке 1.

Принцип работы предлагаемой установки приведен ниже.

Холодная вода поступает из водопровода в бак 7 и нагревается с помощью электронагревателя 6 до определенной температуры. После открытия вентиля 5 горячая вода через ротаметр 4 поступает в межтрубное пространство теплообменника. Холодная вода поступает из водо-

провода, через вентиль 5 и ротаметр 4 во внутреннюю трубу теплообменника. Для измерения температуры горячей и холодной воды на входе и выходе установлены термометры 8. Холодная вода нагревается до определенной температуры, а горячая вода охлаждается. Для обеспечения равномерности течения установлен гидравлический затвор. Для измерения гидравлического сопротивления используется U-образный манометр, шланги манометра соединены со штуцером 9. Интенсификаторы (локальные турбулизаторы) устанавливаются во внутри внутренней трубе. Наружная стенка теплообменника теплоизолирована на требуемом уровне.

Таким образом, появляется возможность проведения научно-исследовательских работ по изучению процессов теплообмена в разработанной установке. Кроме того, в рассматриваемой установке предусмотрено проведение исследовательских работ по изучению процессов образования отложений на внутренних теплообменивающих поверхностях теплообменников. В разработанной экспериментальной установке проведены первичные эксперименты по определению гидравлического сопротивления труб теплообменника при использовании турбулизаторов. Анализ полученных результатов показывают, что при использовании локальных турбулизаторов в трубках гидравлическое сопротивление повышается на 20–30 %.

Литература:

1. Кузма-Кичта Ю.А. Методы интенсификации теплообмена. М.: МЭИ, 2001.
2. Калинин Э.К., Дрейцер Г.А. Интенсификация теплообмена в каналах. М.: Машиностроение, 1990.

3. Мигай В.К. Повышение эффективности современных теплообменников. Л.: Энергия, 1980.
4. Шукин В.К. Теплообмен и гидродинамика внутренних потоков в полях массовых сил. М.: Машиностроение, 1970.
5. Субботин В.И., Ибрагимов М.Х., Ушаков П.А. и др. Гидродинамика и теплообмен в атомных энергетических установках. М.: Атомиздат, 1975.
6. Бабаходжаев Р.П., Мухиддинов Д.Н., Тохтохунов К.А., Ходжаев Б.А., Ибрагимов У.Х., Юсупов Б.В., Хужанов Р.А. Заявка на получение патента РУз по теме «Турбулизирующее устройство теплообменной трубы». Регистрационный номер заявки № IAP 20100041, дата 05.02.2010 г.

## Перспективы получения резино-битумных вяжущих для повышения долговечности автомобильных дорог

Иванов Сергей Александрович, студент

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева (г. Кемерово)

Ежегодное увеличение отходов в виде отработанных шин, которых уже скопилось в Кузбассе более 160 тысяч тонн, требует поиска способов их утилизации в промышленном масштабе. Так, Новокузнецкое ООО «Эко Шина», которая делает плитку, спортивный инвентарь и покрытия из резиновой крошки, не может принимать большое количество шин, так как нет рынка сбыта крошки. При мощности производства до 250 тонн в месяц, действительно реальным рынком сбыта резиновой крошки могут стать дороги [3].

Исследование возможности использования резиновой крошки при производстве асфальтобетонных смесей и укладке из них слоев покрытия предпринимались еще с 60–70-х годов прошлого столетия. Однако большое количество построенных опытных участков как в России, так и за рубежом не давали положительных результатов, причем как при «сухом», так и при «мокром» методах получения. В действительности только одна из разновидностей «мокрого» метода получила достаточно широкое распространение сначала в США, а затем и в других странах. Это так называемый прорезиненный битум «Asphalt Rubber», который был изобретен в конце 1960-х годов Чарльзом Макдональдом. После окончания действия патента в 1992 году произошел резкий скачок потребления AR вяжущего, который в последние годы был усовершенствован [2].

Между тем, несмотря на преимущества AR вяжущего, такие как снижение трещинообразования, повышение надежности как в жарком, так и в холодном климате, снижение шума от движения транспорта, важно отметить и недостатки таких композиционных вяжущих:

- наличие специального высокотехнологичного дорожного оборудования для работы с AR вяжущими, имеющими повышенную вязкость;
- отсутствие специальных отечественных битумов;
- высокая стоимость вяжущего по сравнению с обычными битумами.

Важно подчеркнуть, что, во-первых, дорожные битумы российского и зарубежного производства существенно отличаются по качеству, а для получения AR вяжущего в европейских странах получают специальный битум, обогащенный ароматическими фракциями и имеющий определенный химический состав. Большинство российских же нефтеперерабатывающих заводов не заинтересовано в получении высококачественных битумов, что связано с необходимостью вкладывания дополнительных средств на оборудование при низком экономическом эффекте. При этом «Росавтодор» считает, что резко ужесточать действующие в России стандарты на битумы на данном этапе преждевременно. Поэтому чтобы повысить качество вяжущего в последние годы было рекомендовано использовать улучшенные битумы, т.е. полимерно-битумные вяжущие. Введение же полимеров на основе добавок типа стирол-бутадиен-стирол в количестве 5% от массы битума, увеличивает стоимость вяжущего в 2–2,5 раза.

Во-вторых, Большинство европейских стран озабочены проблемой утилизации отработанных шин. По последней информации лишь 20–25% всех отработанных покрышек в мире перерабатывается. Однако в наиболее развитых странах, таких как Япония, Германия, страны Скандинавского полуострова, уровень переработки шин приближается к 90–100%. С 2006 года в ЕЭС действует программа, запрещающая захоронение изношенных шин, поощряется только их экологическая переработка, что позволило поднять средний уровень переработки шин в Европе в целом до 82%. В США данный показатель составляет 86%, в Японии 89% [6].

В настоящее время в Европе представлены три модели организации и финансирования сбора и утилизации изношенных автопокрышек:

1. Государство обязывает производителей шин выплачивать специальные налоги, которые служат основным источником дотаций для перерабатывающих производств (Венгрия, Дания, Словакия и др.).

2. Ответственность за утилизацию несут производители и импортеры новых автопокрышек путем отчисления в специально созданный фонд, т.е. расходы на утилизацию шин учтены в стоимости новых автопокрышек (страны Скандинавского полуострова, Франция, Португалия и др.).

3. Свободная рыночная модель, при которой каждый участник рынка переработки шин самостоятельно выбирает контрагента (Германия, Италия).

В США в различных штатах реализуются различные модели. Так в большинстве штатов реализуется 2-я модель, в ряде штатов действует 3-я модель. В Японии законодательные акты обязывают каждого гражданина лично доставлять отработавшие покрышки на пункты сбора и при этом оплатить за их утилизацию. В России же законодательными актами регламентирована 3-я модель, однако практический опыт показывает, что система корпорации не позволяет решить экологическую проблему таким способом. Следовательно, возможен переход на другую модель, либо создание таких рыночных условий, при которых переработка шин станет экономически более выгоднее, чем уплата административного штрафа за несоблюдение экологических и санитарно-эпидемиологических требований.

Одним из направлений утилизации шин служит дробление (измельчение) изношенных шин, чем и занимается ООО «Эко шина». При этом, как отмечалось ранее, мощным толчком к массовой утилизации резины может быть использование резиновой крошки при получении резино-битумного вяжущего. Однако для этого необходимо решить целый ряд проблем, свойственных для России, а именно:

- получение резино-битумного вяжущего на тех битумах, которые выпускаются в России;
- получения резино-битумных вяжущих такой консистенции, с которой могло бы массово работать современное дорожное оборудование, применяемое в России;
- стоимость резино-битумных вяжущих должна быть сопоставима со стоимостью битумов;
- физико-химические характеристики резино-битумных вяжущих должны быть такими, чтобы максимально эффективно их применять в погодных условиях как Кемеровской области в частности, так и всей России в целом.

Для определения требуемых физико-химических характеристик был произведен анализ, результаты которого приведены в таблице 1.

К вяжущим полимерно-битумным дорожным на основе блок-сополимеров типа стирол-бутадиен-стирол в соответствии с ГОСТ Р 52056–2003, а также резинобитумным композиционным вяжущим материалам, предъявляются требования по тем же показателям, что и к битумам нефтяным дорожным вязким по ГОСТ 22245–90\*, при этом дополнительно введены показатели эластичности, однородности и сцепления с песком. В тоже время, к полимерно-битумным вяжущим рекомендуется предъ-

являть региональные требования по температуре размягчения и температуре хрупкости в соответствии с характерными погодными-климатическими условиями. Так, в соответствии с ОДМ 218.2.003–2007 «Рекомендации по использованию полимерно-битумных вяжущих материалов на основе блок-сополимеров типа СБС при строительстве и реконструкции автомобильных дорог», для Кемеровской области температура хрупкости полимерно-битумного вяжущего должна составлять не выше минус 43°, а температура размягчения – не ниже 62°С.

Битумно-резиновые экологические композиционные вяжущие материалы «БИТРЭК» неоднородны по фазовому и химическому составу и состоят из битума и резиновой крошки химически связанных между собой. По заявлению производителей, опытные участки через несколько лет эксплуатации имели значительно лучшее состояние по сравнению с соседними участками, выполненные как с использованием обычного битума, так и модифицированными битумами на основе СБС. Подобный опыт был и в Кузбассе, однако технология, которая была на тот момент (1997 год) себя не оправдала. Возможно, это связано с отсутствием химической сшивки частиц резины с компонентами битума и отличными от европейской части России погодными-климатическими условиями [1].

Также на рынке представлен модификатор асфальтобетона «УНИРЕМ», основным компонентом которого является порошковая шинная резина. В отличие от других модификаторов «УНИРЕМ» можно вводить как в вяжущее, то есть получать резинобитумное вяжущее («мокрый» способ), так и непосредственно в горячую асфальтобетонную смесь на стадии ее приготовления («сухой» способ). При попадании в горячий битум или горячую асфальтобетонную смесь порошковые частицы быстро распадаются, при этом происходит изменение свойств битума и, что очень важно, увеличивается его адгезия к каменным материалам в 3–5 раз. По словам изготовителей, покрытие с добавками «УНИРЕМ» обладает повышенной стойкостью к образованию колеи и циклическим деформациям. Количество вводимого в асфальтобетонную смесь модификатора составляет около 10% от массы вяжущего. Введение в состав щебеночно-мастичного асфальтобетона модификатора «УНИРЕМ» позволяет полностью отказаться от введения стабилизирующей добавки. По данным производителя (г. Москва) стоимость добавки составляет 11–12 тысяч рублей за тонну [5].

Еще одна марка резино-битумного вяжущего «БРК-ИГУ» по представленным физико-химическим показателям является наиболее подходящей для погодных-климатических условий Кемеровской области, однако характеристики заявлены не все, к тому же представленное вяжущее не прошло опытной проверки, что не может гарантировать удовлетворительного результата. По данным разработчиков стоимость резино-битумного вяжущего сопоставима со стоимостью битума.

Из всех представленных научных разработок ни одна в полной мере не соответствует требованиям по физико-

химическим показателям, характерным для Кемеровской области, однако они показывают, что использование резиновой крошки для получения резино-битумного вяжущего в России возможно.

В Кузбасском государственном техническом университете имени Т.Ф. Горбачева при поддержке ОАО «Кемеровоспецстрой» также проводятся исследования по получению резино-битумного вяжущего с требуемыми техническими и технологическими параметрами. Результаты предварительных испытаний, показывают значительное улучшение свойств резино-битумного вяжущего по ряду показателей.

Так значительное улучшение показателей вяжущего наблюдается по таким важным показателям как температура размягчения по «кольцу и шару» и температура хрупкости, что должно обуславливать большую теплоустойчивость и трещиностойкость устраиваемых из них асфальтобетонных покрытий. Также стоит отметить улучшение адгезионной способности вяжущего.

Стоимость резиновой крошки, производимой в Кузбассе, сопоставима со стоимостью битума и составляет

порядка 16 тысяч рублей за тонну. Таким образом стоимость резино-битумного вяжущего возрастет на величину затрат, связанных с его приготовлением и транспортных затрат по доставке резиновой крошки.

Таким образом, в Кузбассе имеется большое число отработанных шин, требующих утилизации, используемые битумы в дорожном хозяйстве не соответствуют предпочтительным значениям для Кемеровской области, стоимость модифицированных битумов на основе СБС в несколько раз превышает стоимость не модифицированных битумов, в связи с чем встает вопрос о необходимости проведения исследований по получению резино-битумных вяжущих по стоимости сопоставимых со стоимостью самого битума, при этом имеющих технические и технологические параметры, дающие возможность работать с вяжущими на имеющемся технологическом оборудовании и эффективно их использовать в погоднo-климатических условиях Кемеровской области. Получение таких вяжущих не только приведет к повышению надежности и долговечности дорожных покрытий, но и улучшит экологическую обстановку в Кузбассе и так достаточно напряженную.

#### Литература:

1. Битумнорезиновые экологически чистые композиционные материалы БИТРЭК [Электронный ресурс] // bitrack.ru – Режим доступа: <http://www.bitrack.ru>. – Загл. с экрана.
2. Bitumen-rubber composite [Электронный ресурс] // bitumen-rubber.com. Режим доступа: <http://www.bitumen-rubber.com/?brc=17>. – Загл. с экрана.
3. Кузбасс – главное [Электронный ресурс] // kuzbass85.ru. Режим доступа: <http://www.kuzbass85.ru>. – Загл. с экрана.
4. Испытания резинобитумоминеральных композиций [Электронный ресурс] // dom-kmv.ru. – Режим доступа: <http://dom-kmv.ru/tag/rezinovy/>. – Загл. с экрана.
5. «Унирем» и другие модификаторы [Текст]: журнал «Автомобильные дороги». – №4 (941) Апрель, 2010 г.
6. Центр развития дорожных технологий [Электронный ресурс] // <http://crdtech.ru>. Режим доступа: <http://crdtech.ru/index.php/publications/articles/7-2011-06-23-17-54-16>. – Загл. с экрана.

## Решение двумерной задачи выбора места проведения ремонтных работ

Иванов Александр Васильевич, соискатель

Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа (Украина)

*Рассматривается оптимизация ремонтного обслуживания, решается задача выбора стратегии технического обслуживания и выбора места проведения ремонтно-восстановительных работ. Подается методика расчета стоимости и времени на проведение ремонтных работ.*

**Ключевые слова:** блочно-комплектное оборудование, техническое обслуживание, стратегии обслуживания и ремонта.

#### Введение

Результативность ремонтных работ зависит от организационно-технологических принципов их изготовления. Именно эти принципы, отражая единство организационных форм производства, технологических процессов и

оборудования, в конечном счете определяют содержание всех этапов и элементов ремонтного цикла. Изменение одного из указанных компонентов приводит к изменению других. Так, при ремонте ГПА оборудования, состав и последовательность операций и даже специальности ремонтников, а значит, и организация работ различны при вы-

полнении операций на месте, без извлечения деталей из блоков и узлов, или при осуществлении их в условиях специализированного ремонтного предприятия (базы, цеха, завода) после демонтажа и разборки узлов.

Оптимизация ремонтного обслуживания требует оценки всех возможных вариантов, а для этого необходима общая классификация организационно-технологических принципов ремонта. Такая классификация, охватывая все известные принципы и показывая новые возможные подходы, будет способствовать выбору наилучшего для данных условий варианта выполнения ремонтных работ.

### Освещение основного материала

Многообразие объектов и условий ремонта, принятых систем его проведения, изменения в принципах осуществления ремонтов затрудняет установление организационно-технологических признаков классификации ремонтов и саму ее построение. Вероятно поэтому до настоящего времени отсутствуют обобщающие классификационные схемы ремонтных работ, хотя широко используется множество их вариантов.

Сравнение будем проводить для трех различных стратегий обслуживания:

Стратегия А. В начальный момент эксплуатации блочно-комплектного оборудования планируется:

Сроки и объемы технического обслуживания (виды ТО);

Сроки замены элементов по наработке

Стратегия В. В начальный момент эксплуатации блочно-комплектного оборудования планируются:

Сроки проведения и объемы технических обслуживаний (виды ТО);

Сроки замены элементов по наработки,

Сроки проведения дополнительных проверок, по результатам которых также проводятся замены элементов.

Стратегия С. В начальный момент времени планируется:

Сроки и объемы технических обслуживаний (виды ТО);

Дополнительные периодические проверки.

В качестве критерия классификации ремонтных работ выбираем фактор, присущий именно ремонтному производству, не проявляется или слабо отражается на процессах изготовления и монтажа. Таким фактором является обстоятельства или условия осуществления работ, т.е. выполнение работ на месте использования или вне его, в специальных ремонтных условиях. Предлагаемая классификация организационно-технологических принципов ремонтов блочно-комплектных объектов и оборудования магистральных газопроводов, построена по признаку выполнения производственных работ, имеет достаточно целостный, конструктивный вид.

Два уровня обеспеченности запасными элементами отражают наличие или отсутствие обменного фонда для технического обслуживания и ремонта БКУ магистральных газопроводов.

При наличии обменного фонда ремонт БКУ производится методом замены элементов с последующим их восстановлением в мастерской на месте эксплуатации или на специализированном ремонтном предприятии. При этом различными будут только стоимостные показатели. Время восстановления самих элементов не влияет на время ремонта БКУ, а, следовательно, и на коэффициент готовности.

В условиях отсутствия обменного фонда сняты с эксплуатации элементы БКУ можно ремонтировать как на месте эксплуатации, так и вне его, т.е. на ремонтной базе или заводе. Затем восстановленные элементы монтируются на БКУ, что возвращается в эксплуатацию. В этом случае и время, и стоимость ремонта на месте и на базе будут разными.

В общем случае стоимость ремонтного обслуживания находим из выражения:

$$C_{рем} = C_{осм} + C_{дм} + C_{ср} + C_m + C_{обк}; \quad (1)$$

где  $C_{осм}$  — стоимость осмотра, установления наличия и характера неисправности, поиск неисправного элемента;

$C_{дм}$  — стоимость демонтажа элемента;

$C_{ср}$  — стоимость транспортировки и восстановления элемента;

$C_m$  — стоимость монтажа элемента на месте эксплуатации;

$C_{обк}$  — стоимость проверки БКУ после ремонта, обкатки и пуска.

При неограниченном запасе в (1) выпадает слагаемое  $C_{ср}$ , поскольку элемент отказал, заменяется новым. При этом подразумевается, что стоимость нового элемента проходит по статье расходов «Запасы».

Соответственно для времени ремонта имеем:

$$\tau_{рем} = \tau_{осм} + \tau_{дм} + \tau_{ср} + \tau_m + \tau_{обк}; \quad (2)$$

Индексы в (1) аналогичные (2).

Дополнительные расходы, связанные с транспортировкой блоков или других элементов на специализированное ремонтное предприятие, определяются по формуле:

$$C_T = 2Nm_{ср}\rho l, \quad (3)$$

где  $C_T$  — транспортные расходы, грн.;

$N$  — годовая программа ремонта данного вида оборудования, шт.

$m_{ср}$  — средняя масса единицы блока (или иного элемента оборудования);

$\rho$  — стоимость 1 тонно-километра, грн.;

$l$  — среднее расстояние от места эксплуатации оборудования до специализированного ремонтного предприятия, км.

Из общего числа элементов БКУ магистральных газопроводов 43–56% можно ремонтировать на месте, с этого оборудования мерно 15–20% экономически целесообразно ремонтировать на месте установки выездными бригадами специализированных ремонтных предприятий. При этом дополнительные расходы, связанные с командировками, рассчитываем по эмпирической формуле:

$$C_K = \frac{П\beta}{8} (C_{сум} + C_{кс}) + 2NC_{мар}n_{бр}, \quad (4)$$

где  $C_K$  — расходы на командировку, грн.;

Таблица 1. Определения стратегии обслуживания и места ремонта блочно-комплектных ГПА

Тип ГПА	Стратегия	$K_{Г\ min}^0$	Режим обслуживания		Удельные затраты $\bar{Z}_p$ грн/час	
			$\theta$ , год	Тр, год	На месте	На базе
ГТК-25I	A	0,945	-	4000	14,7	46,9
	B	0,955	920	24000	28,0	22,4
	C	0,955	931	738	34,3	12,6
ГТН-16	A	0,63	-	4000	14,0	23,8
	B	0,65	869	20000	18,9	12,6
	C	0,65	833	-	-	8,4
ГПА-Ц6,3	A	0,74	-	4000	14,0	23,8
	B	0,68	735	20000	18,9	12,6
	C	0,68	710	-	-	8,4

$\Pi$  – годовая трудоемкость ремонта, чел.-час.;  
 $\beta$  – средняя доля слесарных: работ в общей трудоемкости ремонта;  
 $C_{сущ}$  – суточные, грн.;  
 $C_{кв}$  – квартирные, грн. в сутки;  
 $N$  – годовая программа ремонта, шт.  
 $C_{тар}$  – тариф проезда;  
 $n_{бр}$  – средний состав выездной бригады;  
 $8$  – число часов работы в день (при пятидневной рабочей неделе).

Двумерную задачу выбора стратегии обслуживания и места ремонта БКУ магистральных газопроводов при отсутствии запасных элементов решаем следующим образом. Вводим множество состояний БКУ:

$$S^2_1 = R \otimes P, \tag{5}$$

где  $P$  – множество мест ремонта;  
 $R$  – различные стратегии обслуживания.

Для каждого состояния БКУ

$$S^2_{ij} = \{r_i, p_j\}, \text{ где } r_i \in R, p_j \in P \tag{6}$$

решаем задачу вида (7) и определяем соответствующие этому состоянию минимальные удельные расходы  $\bar{Z}_{p_{ij}}$ . Решение данной двумерной задачи определяет вариант, которому соответствует  $\bar{Z}_p^0 = \min_{R,P} \{ \bar{Z}_{p_{ij}} \}$ :

$$\left. \begin{aligned} & \min_{\theta, T_p} \bar{Z}_p(\theta, T_p) \\ & \text{при } K_G(\theta, T_p) \geq K_{G\ min}^0 \end{aligned} \right\}, \tag{7}$$

где  $K_G$  – средняя доля времени в работоспособном состоянии (коэффициент готовности);

$K_{G\ min}^0$  – заданное минимальное значение коэффициента готовности;

$\theta$  – периодичность проверок;

$T_p$  – назначенный ресурс (плановая наработка);

$\bar{Z}_p$  – удельные затраты на единицу наработки.

Расчитаны два варианта места ремонтно-восстановительных работ при трех стратегиях обслуживания (табл. 1).

### Выводы

Расчеты и анализ показали, что во многих случаях рациональным является обслуживание по стратегии С (а в некоторых – по стратегии В) с ремонтом в условиях специализированного ремонтного предприятия. В этом случае максимально используется ресурс элементов БКУ, и, естественно, необходимо проведение ремонтно-восстановительных работ в условиях специализированного ремонтного предприятия с соответствующим оборудованием и высококвалифицированным персоналом.

При обслуживании по стратегии А целесообразный ремонт на месте. Время плановой (принудительной) замены элемента назначается из расчета предотвращения отказа, то есть, как правило, элемент не дорабатывает свой ресурс. Поэтому больших разрушений или повреждений не происходит. Итак, возможно проведение ремонтно-восстановительных работ на месте эксплуатации.

При переходе на сервисное обслуживание магистральных газопроводов возможно и другое распределение ремонтно-восстановительных работ с привлечением заводов-изготовителей, специализированных передвижных ремонтных мастерских и т.д.

### Литература:

1. Гриценко А.И. Обслуживание и ремонт ГПА: проблемы, решения [Текст] / А.И. Гриценко, А.Ф. Комягин, И.И. Соколовский // Газовая промышленность. – 1986. – №4. – С. 14–15.

2. Обслуживание и ремонт газопроводов: монография / [В. Я. Грудз, Д.Ф. Тимкив, В.Б. Михалкив, В.В. Костив.]. — Ивано-Франковск: Лиля-НВ, 2009. — 711 с.
3. Курица С.Я. Блочно-комплектное строительство в Нефтяной и газовой промышленности [Текст] / С.Я. курицу. — М.: Недра, 1977. — 304 с.
4. Иванов А.В. Анализ обслуживания технологического оборудования магистральных газопроводов // Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений. — 2012. — №2 (43). — С. 56–65.

## Резонансные колебания при движении автотранспортного средства по виброполосе

Кычкин Владимир Иванович, кандидат технических наук, доцент;  
Юшков Владимир Сергеевич, аспирант  
Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Проблема аварийности на автотранспорте имеет важную роль в последнее десятилетие в связи с несоответствием существующей дорожно-транспортной инфраструктуры потребностям общества и государства в безопасном дорожном движении, недостаточной эффективностью функционирования системы обеспечения безопасности дорожного движения, крайне низкой дисциплиной участников дорожного движения [1, 10, 11].

Мероприятия, позволившие добиться снижения аварийности на автомобильных дорогах, связаны с внедрением, прежде всего, с принудительным ограничением скорости автотранспортных средств (АТС) в местах повышенной опасности [2]. Одним из путей решения этой проблемы является создание конструктивных элементов на дорожной одежде, способствующих генерации колебаний транспортных средств в режимах некомфортного восприятия водителем условий движения, что ведет к изменению параметров движения по направлению и скорости. Для выбора оптимальных параметров такой конструкции необходимы математические модели, включающие в себя особенности тактильного восприятия водителем наличия виброполосы, характеристики автотранспортных средств, скорость движения, общую длину полосы, глубину, ширину и шаг неровностей, материалы элементов конструкции виброполосы, дорожного покрытия и основания [3].

Виброполоса является конструктивным элементом дороги и в свою очередь определяет совокупные транспортно-эксплуатационные характеристики участка ее расположения, на котором этот элемент является средством снижения риска возможного дорожно-транспортного происшествия.

При наличии неровностей на поверхности автомобильной дороги в виде виброполосы, проведенные нами исследования позволяют определить основные ее параметры при движении АТС со скоростью 60 км/ч и шагом неровностей виброполосы 200 мм: глубина конструктивного элемента виброполосы 20...30 мм, ширина полосы может быть принята 150...200 мм, длина виброполосы выбирается в зависимости от продольного и поперечного профилей автомобильной дороги. С ростом скорости движения автомобиля и уменьшением длины волны неровностей существенного влияния глубины конструктивного элемента не наблюдается, что позволяет принять этот параметр на уровне 40 мм. При этом достигаются виброускорения в пределах  $2,1 \text{ м/с}^2$ .

На следующем этапе рассматривается вибронегрузка дорожной конструкции в следствие движения АТС по виброполосе. Принимая принципы расчета линейных упругих систем, рассмотрим динамическую модель дорожной конструкции и виброполосы с одной степенью свободы, с учетом вязко-упругих свойств материалов конструкции. Диссипативные силы принимаются пропорциональными скоростям. Ударный импульс представлен в форме полуволны синусоиды и из спектра нагрузки выделены частоты 8...20 Гц.

Действующие нагрузки являются квазистационарными с полимодальным распределением вероятностей. Накопленные остаточные деформации не определяются какой-либо одной нагрузкой, и характеризуются всей их совокупностью с учетом стохастичности. В связи с этим требуется разработка методики учета всех разновидностей режимов нагружения по долям их участия в формировании основных статистик распределения вероятности воздействий в каждом сегменте пути [4].

Определим единичное перемещение основания по зависимости [5]:

$$y = \frac{P_0}{m \cdot Q} \cdot \left[ \frac{\theta}{Q} e^{-\xi t} \left( 2\xi \cos \varphi_1 t - \frac{1}{\varphi_1} (\varphi^2 - \theta^2 - 2\xi^2) \cdot \sin \varphi_1 t \right) + \sin(\theta \cdot t + \vartheta_{в.с.}) \right],$$

где  $P_0$  – параметры нагрузки;  $Q$ ,  $\xi$ ,  $\varphi_1$ ,  $\vartheta_{в.с.}$  – параметры процесса;  $t$  – время;  $m$  – активная масса.

$$Q = \sqrt{(\varphi^2 - \theta^2)^2 + 4\xi^2\theta^2}, \quad \varphi = \sqrt{\frac{C}{m}}, \quad C = \frac{E_{a\ddot{a}ei}}{(1-\mu^2)} \cdot K \cdot \sqrt{F}, \quad \varphi_1 = \sqrt{(\varphi^2 - \xi^2)}, \quad \xi = \frac{\Psi \cdot \varphi}{4\pi},$$

где  $\Psi$  – коэффициент поглощения строительных материалов 0,25;  $\theta$  – частота внешней силы;  $\varphi$  – собственная частота;  $C$  – жесткость;  $K$  – коэффициент согласования 1,13;  $F$  – площадь штампа.

По разработанной математической модели были проведены имитационные расчеты перемещений дорожного покрытия (рис. 1). Колебания носят затухающий характер при расчетном коэффициенте затухания. Максимальное значение амплитуды перемещения наблюдается при  $t = 0,02-0,03$  с.

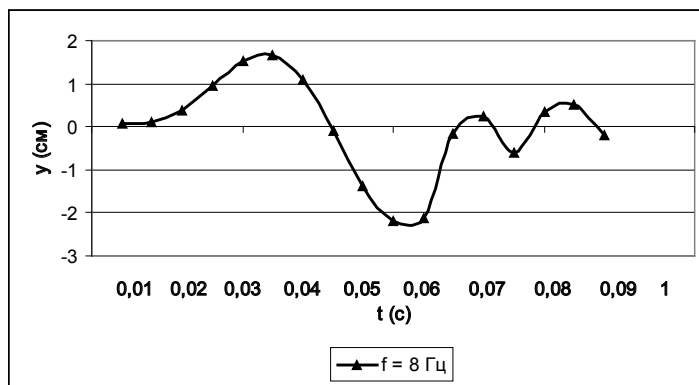


Рис. 1. График зависимости динамического прогиба от времени при  $E = 200$  кг/см<sup>2</sup>

Полимодалное действие внешней нагрузки представлено на рис. 2, 3. По результатам расчетов отметим, что в системе имеет место резонанс, например, при  $E = 200$  кг/см<sup>2</sup> и  $t = 0,01$  с резонанс наступает при частоте 14 Гц. При  $E = 500$  кг/см<sup>2</sup> резонанс смещается в сторону увеличения частоты и наблюдается при частоте 21 Гц.

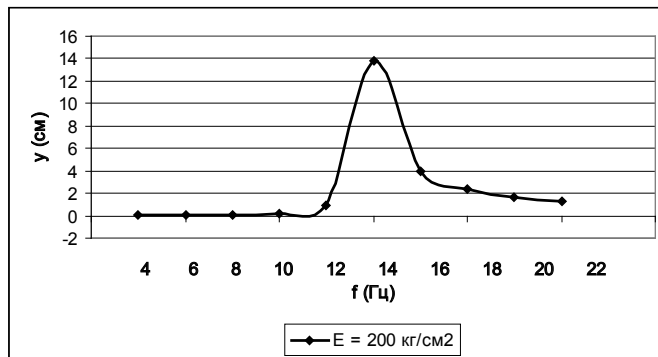


Рис. 2. График зависимости динамического прогиба от частоты нагружения при  $E = 200$  кг/см<sup>2</sup>

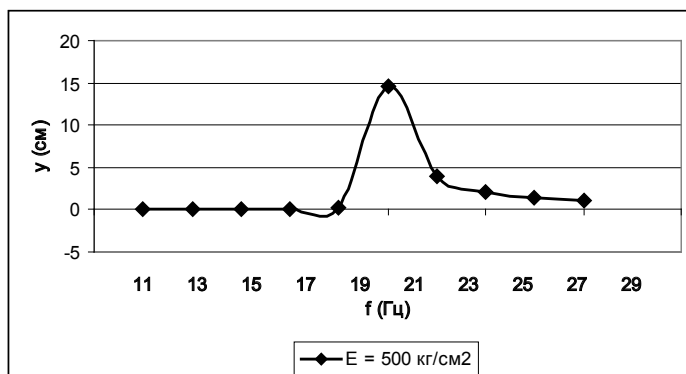


Рис. 3. График зависимости динамического прогиба от частоты нагружения при  $E = 500$  кг/см<sup>2</sup>



Проведены также расчеты статического модуля упругости по формуле:

$$E_{ст} = \frac{P \cdot D(1 - \mu^2)}{y},$$

где  $P$  – давление в месте контакта;  $D$  – диаметр эквивалентного штампа;  $\mu$  – коэффициент Пуассона материала основания;  $y$  – прогиб.

Результаты расчетов приведены на рис. 4. В качестве примера рассмотрено отношение динамического модуля к статическому при действии нагрузки 25 кН с частотой 8 Гц. Это отношение составило  $E_{дин} / E_{ст} = 2,5$ . В работе [6] указано, что с ростом скорости движения с 10 до 130 км/ч динамический модуль упругости может вырасти в 12 раз, а напряжение сжатия на поверхности основания могут увеличиться больше, чем на 20 %.

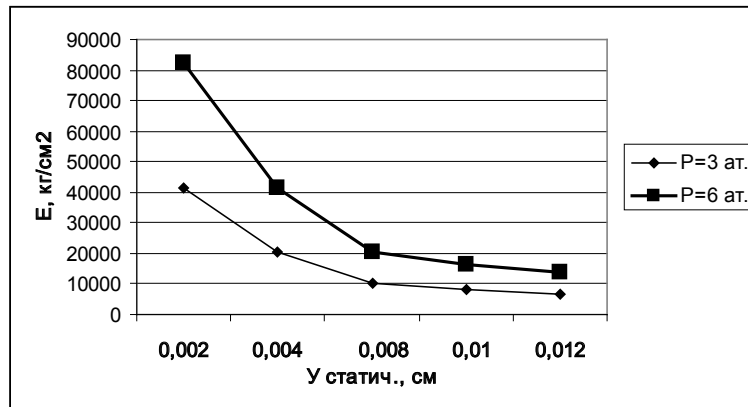


Рис. 4. Статический модуль основания в функции прогиба

В работе также рассмотрена двухмассовая модель дорожной конструкции для динамической идентификации деформационного состояния дорожной конструкции при свободных колебаниях [7, 8, 9]:

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{y}_1 + C_1(y_1 - y_2) &= 0 \\ m_2 \ddot{y}_2 + C_1(y_1 - y_2) + C_2 y_2 &= 0, \end{aligned}$$

где  $m_1$  и  $m_2$  – массы верхнего и нижнего слоя;  $C_1$  и  $C_2$  – коэффициент жесткости дорожного покрытия и основания;  $y_1$  и  $y_2$  – перемещение первой и второй масс.

Если виброперемещения представить в виде  $y_1 = A_1 \sin(\omega t + \phi_1)$  и  $y_2 = A_2 \sin(\omega t + \phi_2)$ , то соответствующие преобразования дают соотношение для определения собственных частот:

$$\omega_{1,2,3,4} = \pm \sqrt{\frac{\left(\frac{C_1 + C_2}{m_2} + \frac{C_1}{m_1}\right) \pm \sqrt{\left(\frac{C_1 + C_2}{m_2} + \frac{C_1}{m_1}\right)^2 - 4 \frac{C_1 C_2}{m_1 m_2}}}{2}}, \text{ с}^{-1}$$

Методика расчета реализована при допущении: формирование жесткостей слоев  $C_1$  и  $C_2$  до расчетного значения происходит во времени намного большее, чем время действия штатной или тестовой нагрузки.

Для определения амплитуд колебаний двухмассовой системы без учета затухания представим решения дифференциальных уравнений движения в виде:

$$\begin{aligned} y_1 &= a_{11} \cos(\omega_1 t + \alpha_1) + a_{12} \cos(\omega_2 t + \alpha_2) \\ y_2 &= a_{21} \cos(\omega_1 t + \alpha_1) + a_{22} \cos(\omega_2 t + \alpha_2), \end{aligned}$$

где  $a_{11}, a_{12}, a_{21}, a_{22}$  – амплитуды колебаний по обоим гармоникам;  $\alpha_1, \alpha_2$  – фазы колебаний.

Для определения коэффициентов  $a_j$  воспользуемся отношением амплитуд составляющих гармоник, соответственно для первой и второй частоты:

$$K_{21} = \frac{A_{21}}{A_{11}} = \frac{C_1 - m_1 \cdot \omega_1^2}{C_1}, K_{22} = \frac{C_1}{C_1 + C_2 - m_2 \cdot \omega_2^2}, A_{11} = y_1 - \frac{K_{21} \cdot y_1 - y_2}{K_{21} \cdot K_{22}}, A_{12} = \frac{K_2 \cdot y_1 - y_2}{K_{21} - K_{22}}, A_{21} = A_{11} \cdot K_{21}, A_{22} = A_{12} \cdot K_{22}.$$

Для исследование влияния параметров состояния слоев основания дороги на спектр собственных колебаний конструкций воспользуемся пакетом программ Mathcad.

Результаты моделирования колебаний дорожного покрытия и слоев основания с учетом динамической жесткости дорожной конструкции приведены на рис. 5, из которого видно, что перемещение слоев происходит в противофазе (относительная влажность  $w/w_0 = 0,5\%$ ,  $E_y$  – модуль упругости основания).



Рис. 5. Результаты расчетов вибрационных перемещений слоев дорожной конструкции

Математическая модель и результаты расчетов являются составной частью программного обеспечения диагностических процедур оценки динамического модуля материалов дорожной конструкции в режимах их нагружения АТС движущихся по виброполосе [12]. Это является основой разработки метода оценки, прогнозирования и повышения эффективности функционального назначения виброполосы для достижения цели снижения ДТП при анализе деформативности дорожной конструкции.

#### Литература:

1. Кычкин В.И., Юшков В.С. Математическая модель создания некомфортных условий при движении автомобиля по виброполосе // «Инновации в науке». Часть I г. Новосибирск 2012 г. С 73–80.
2. Илиополов С.К., Селезнев М.Г., Углова Е.В. Динамика дорожных конструкций. Ростов Н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2002. – 258 с.
3. Смирнов А.В., Андреева Е.В., Кузин Н.В. Гашение колебаний и резонанс в дорожных конструкциях // М.: Наука и техника в дорожной отрасли. №3–2006. С. 39–41.
4. Кычкин В.И., Мунасипов И.И. Разработка и исследование математической модели вибродиагностики подпального основания трамвайных путей // Вестник ПНИПУ. – 2012 № 1. – С. 119–127.
5. Саргсян А.Е. Строительная механика. Механика инженерных конструкций: Учеб. для вузов / А.Е. Саргсян. – М.: Высш. шк., – 462 с.
6. Zhao Yan – ging, Yu Xin, Tan Yi – giu Beijing gongye daxue xuebao // J. Beijing Univ. Technol. 2010. 36, №9, с. 1253–1257.
7. Кычкин В.И., Юшков В.С. Перспективный метод отраслевой системы вибродиагностики автомобильных дорог // Журнал «Молодой ученый» № 11 Чита 2012 г.С. 65–68.
8. Кычкин В.И., Юшков В.С. Неразрушающий динамический метод контроля дорожных одежд // Интернет-журнал «Наукovedение». 2013 № 1 (14) [Электронный ресурс]. – М. 2013. – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/sbornik14/34tvn113.pdf>.
9. Юшков Б.С., Юшков В.С., Кычкин В.И. Конструктивные особенности виброполосы в качестве дорожной разметки // Журнал «Народное хозяйство. Вопросы инновационного развития». Изд-во МИИ наука Москва №2 2012 г.С. 71–75.
10. Юшков В.С. Новые подходы по нанесению горизонтальной дорожной разметки // Приволжский научный вестник №2. Издательский центр Научного просвещения. Ижевск 2012 г.С. 17–19.
11. Юшков В.С. Шумовые полосы для снижения аварийности на автомобильных дорогах // Журнал «Молодой ученый» №3 Чита 2012 г.С. 86–87.
12. Юшков Б.С., Кычкин В.И., Юшков В.С., Отчик Е.А. Разработка математической модели взаимодействия автомобиля и шумовой полосы // Вестник ПНИПУ «Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности» №2 Пермь 2012 г. С. 79–85.

## Формирование базовой математической модели КЭУ ГТУ

Лоскутников Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент;  
Сенюшкин Николай Сергеевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник;  
Горюнов Иван Михайлович, доктор технических наук, профессор;  
Султанов Рузиль Фаильевич, младший научный сотрудник;  
Белобровина Марина Викторовна, лаборант  
Уфимский государственный авиационный технический университет

Один из известных способов повышения КПД энергоустановок (ЭУ) на базе ГТД, это создание комбинированных ЭУ (КЭУ) различной степени сложности, в том числе с топливными элементами. В последнее время в такие КЭУ активно внедряются топливные элементы (ТЭ), которые в перспективе могут обеспечить КПД ЭУ до 80% [1].

Из множества существующих классификаций ТЭ наиболее удачной является классификация по типу электролита: щелочные (ЩТЭ), фосфорнокислые (ФКТЭ), протонопроводящие или твердополимерные (ТПТЭ), с расплавленным карбонатом (РКТЭ) и твердоокисные (ТОТЭ).

Наиболее перспективными для использования в энергетике являются ТОТЭ (SOFC — Solid oxide fuel cell), особенность которых заключается в том, что электрическая проводимость электролитов на основе оксидов циркония и иттрия становится приемлемой при температуре выше 1173К. ТОТЭ также наиболее эффективны при совместной работе с газотурбинными установками (ГТУ) за счет рабочей температуры 1173–1273К.

Основным видом топлива в ТОТЭ служит водород, а окислителем — кислород воздуха. Отличительной способностью ТОТЭ является возможность производить как электроэнергию, так и высокопотенциальную теплоту, которую можно использовать в циклах ГТУ, паротурбинной установки (ПТУ) или парогазовой установки (ПГУ).

КПД по выработке электроэнергии КЭУ на базе ГТУ и ТЭ может достигать более 70%. В настоящее время диапазон рассматриваемых мощностей таких КЭУ — от 200 кВт до 10 МВт. Крупные корпорации уже проявили интерес к таким КЭУ, продемонстрировав первые КЭУ мощностью 1 МВт (Rolls-Royce Fuel Cell Ltd развивает ТЭ пригодные для КЭУ от 20 кВт до ЭУ мегаваттного класса с КПД порядка 90%) [7].

Известные в настоящее время математические модели и программные средства моделирования ГТД: комплексные математические модели ЦИАМ, ГРАД, GasTurb, GSP, GECAT, Epsilon Professional, United cycle, ОГРА, АСТРА, некоторые программы, например, GasTurb, АСТРА, ОГРА — предназначены для моделирования определенных схем ГТД, другие являются универсальными и предоставляют большие функциональные возможности,

обеспечивают естественную среду для создания и модификации модели.

В перечисленных комплексах отсутствует математическая модель ТЭ, что делает невозможным выполнение системных исследований рабочих процессов ТЭ, а также КЭУ на их основе. В Объединенном институте высоких температур РАН созданы программные продукты инженерного расчета ЭУ открытого цикла на углеводородном топливе. Основным достоинством работы является использование обращения к свойствам среды термодинамической модели рабочего тела, представляющего собой двухфазную многокомпонентную химически реагирующую систему. На основании этого рассчитывается как термодинамика горения в КС, так и реакции через электролит в ТЭ. Данный программный продукт не рассчитывает пароводяную конверсию углеводородного топлива в ТЭ, а также позволяет производить расчет только основной электрохимической реакции, пренебрегая многоступенчатыми превращениями и смешениями, происходящими в ТЭ.

Анализ особенностей работы ТЭ и систем математического моделирования выявил необходимость разработки алгоритма расчета ТОТЭ, который позволит достаточно точно и оперативно проводить расчеты различных схем и режимов работы КЭУ с ТОТЭ. Учет основных значимых факторов элементов ЭУ позволит осуществлять учет влияния изменения физических свойств рабочего тела на характеристики элементов КЭУ.

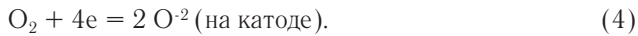
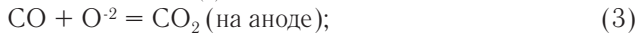
В модуль SOFC входят три информационных потока: топливо, окислитель, водяной пар (см. шаг 1 алгоритма).

На 2-ом шаге алгоритма рассчитывается смесь топлива и водяного пара для расчета ПВК топлива. К примеру, реакция ПВК метана происходит следующим образом [1]:

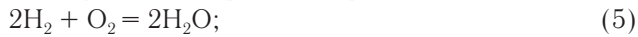
На 3-ем шаге рассчитываются равновесные параметры реакции ПВК. Необходимая часть полученного в результате ПВК водорода и кислород воздуха смешиваются, но без прохождения основной реакции окисления в ТЭ (шаг 4 алгоритма). Производится расчет парциальных давлений водорода и кислорода для основной реакции на входе в основную камеру ТЭ. На 5 шаге алгоритма рассчитывается реакция окисления водорода кислородом воздуха, определяются температуры продуктов реакции, а также парциальные давления продуктов и исходных ве-

ществ. Расчет основных электрохимических параметров ТЭ происходит на 6-ом шаге алгоритма.

При использовании продуктов ПВК углеводородов на электродах ТОТЭ протекают следующие основные потенциалобразующие реакции:



Суммарные токообразующие реакции в ТОТЭ:



Математическая модель, базирующаяся на законах сохранения массы, энергии и уравнениях электрохимических реакций, служит главным образом для определения ЭДС ТЭ, так как ЭДС представляет собой отношение полной работы, совершаемой источником тока при перемещении единичного заряда по электрической цепи к величине этого заряда. Энергия химической реакции окисления топлива трансформируется в электрическую и тепловую энергию.

К основным параметрам ТОТЭ относятся:

– ЭДС:

$$E_3 = E_0 + \frac{R \cdot T_p}{n \cdot F} \cdot \ln \left( \frac{p_{\text{H}_2} \cdot \sqrt{\frac{p_{\text{O}_2}}{p_{\text{атм}}}}}{p_{\text{H}_2\text{O}}} \right) \quad (7)$$

где:  $p_{\text{атм}}$  – стандартное атмосферное давление;

$F$  – постоянная Фарадея, равная 96500 Кл/ (моль экв);

$R$  – молярная газовая постоянная, равная 8,3144 Дж/ (моль К).

– сопротивление ТЭ в зависимости от расхода водорода на ТЭ и температуры основной электрохимической реакции. Зависимость получена авторами по экспериментальным данным, опубликованным в [1,7], приведена на рис. 3. Значения расхода водорода и сопротивления в точке образмеривания соответствуют расчетному режиму.

Созданный программный модуль SOFC официально зарегистрирован в Российском Агентстве по Патентам и Товарным Знакам (РОСПАТЕНТ), свидетельство №2009613945 от 24.07.2009. Модуль SOFC, встроенный в систему моделирования DVIgWT позволяет исследовать различные схемы КЭУ на базе ГТД и ТОТЭ.

Для оценки работоспособности и адекватности разработанного алгоритма, программного модуля SOFC в системе DVIgWT, выполнены моделирования ячейки ТОТЭ как планарной конструкции, так и трубчатой конструкции в составе электрохимического генератора (ЭХГ) мощностью 1 кВт, описанного в [4].

В системе моделирования DVIgWT, с включенным модулем SOFC создана структурная схема модели ТОТЭ. Номенклатура параметров, передающихся по потокам, а

также составы топлива и окислителя соответствуют принятым для программного комплекса DVIgWT [3,4].

Отличия экспериментальных параметров и параметров, полученных расчетом в модуле SOFC, не превышают 3%.

Моделирование ЭХГ модуля ТОТЭ для макета ЭУ мощностью 1 кВт произведено по методике проведения экспериментов, представленной в [1]. ЭХГ состоит из последовательно соединенных 16 батарей ТОТЭ P111-Л305.030, каждая батарея в свою очередь – из 8 трубчатых ТОТЭ, соединенных параллельно [1].

Максимальное отклонение рассчитанных характеристик параметров ЭХГ не превышает  $\approx 3,35\%$  в сравнении данными эксперимента.

Расхождение экспериментальных и рассчитанных величин объясняется отсутствием учета влияния катализатора на процессы в ТОТЭ в программном продукте. Экспериментальные данные получены также с определенной погрешностью.

Для снижения себестоимости электрической и тепловой энергии ОАО «НПП «Мотор» создало блочно – модульную ГТЭ-10/95БМ номинальной электрической мощностью 8–10 МВт и тепловой производительностью 17–19 Гкал/час с суммарным коэффициентом использования топлива более 80%. Установка ГТЭ-10/95БМ создана конвертированием авиационного двигателя Р95Ш.

Проверка созданной в программном комплексе DVIgWT математической модели ГТЭ показала, что отклонение результатов расчетных параметров с экспериментальными данными разработчика не превышает 1%, и подтверждает адекватность созданной модели.

Рассмотрим предложенные расчетные схемы КЭУ с ТОТЭ для повышения эффективности базовой ГТЭ 10 МВт.

Давление воздуха за компрессором низкого давления (КНД) составляет 0,3 МПа при номинальной мощности 8 МВт. ТОТЭ в этой схеме питается окислителем, отобранном за КНД (схема №1). Разработана математическая модель.

Допустимый расход отбираемого воздуха за КНД для ЭХГ, составляет не более 4% от расхода на входе в КНД. Температура пароводяной конверсии (ПВК) не менее 925 К [1], а для основной реакции в ТЭ 1197–1293 К [1].

В ЭХГ состоит из батареи ТОТЭ, газового теплообменника для подогрева входящего воздуха, пароперегревателя для получения необходимых параметров пара, газового подогревателя топлива. Топливо, направляемое в ЭХГ, предварительно подогревается водой, нагретой в КУ. В ЭХГ смешиваются сжатый воздух с топливом, прошедшим предварительную ПВК, пар для которой генерируется из части питательной воды в КУ, состоящей из пароперегревателя, испарителя и экономайзера. В выхлопном тракте ГТУ устанавливается КУ, в котором за счёт тепла выхлопных газов генерируются водяной пар, а также вода для горячего водоснабжения. Генерируемый пар частично расходуется на нужды ЭХГ.

Разработанная и реализованная в системе математического моделирования DVIgWT математическая модель ТОТЭ – SOFC, учитывающая внутренние электрохимические процессы в ТОТЭ, с достаточной для инженерных расчетов точностью позволяет определять параметры ТОТЭ на различных режимах работы.

Адекватность описания рабочих процессов и применимость разработанной математической модели SOFC подтверждается согласованностью результатов расчетов ТОТЭ с экспериментальными данными.

Рассмотрены несколько схем повышения эффективности ГТЭ-10 МВт при совместной работе с ТОТЭ:

- автономная ЭУ с ЭХГ на базе ТОТЭ;

- КЭУ на базе ГТЭ-10/95 и ЭХГ, работающем на отборе воздуха за КНД, характеризуется минимальной модернизацией исходной ГТЭ;

- КЭУ с ЭХГ, установленном вместо камеры сгорания на ГТЭ-10/95, требует значительных переделок базовой ГТЭ;

- КЭУ на базе каскада НД ГТУ и ЭХГ характеризуется значительной доработкой базовой ГТЭ.

Очевидно, что для оценки эффективности каждой представленной схемы КЭУ необходимо провести расчетные исследования ЭУ на различных режимах для сравнения основных показателей ее работы.

#### Литература:

1. Введение в термодинамику топливного элемента / В.Н. Борисов, И.Г. Лукашенко, М.А. Ахлюстин / Твердоокисидные топливные элементы: Сборник научно – технических статей. – Снежинск: Издательство РФЯЦ – ВНИИТФ, 2003. С. 9–15.
2. Горюнов И.М. Структурно-параметрический синтез и анализ ГТД и ЭУ / Вестник УГАТУ. – Уфа. УГАТУ, 2008. Т. 11 №2 (29). – С. 30–38.
3. Горюнов И.М. Термогазодинамические расчеты ГТД и теплоэнергетических установок с использованием системы DVIgWT // Вестник УГАТУ, 2006. Т 7, №1 (14). С. 61–70.
4. Захаренков Е.А. Исследование и оптимизация схем и параметров гибридных электростанций на основе топливных элементов и газотурбинных установок. Автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.01 – «Энергетические системы и комплексы». – М.: МЭИ (ТУ), 2009. – 20 с.

## Описание математической модели механизма-прототипа ЭМК с сепаратором (водило) при ведущем внутреннем кольце

Мерко Михаил Алексеевич, кандидат технических наук, доцент;

Меснянкин Марк Вадимович, старший преподаватель;

Митяев Александр Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент;

Сибирский федеральный университет (г. Красноярск)

*Рассматривается общий случай решения задачи о положении звеньев механизма-прототипа эксцентрикового механизма качения (ЭМК) по средствам формирования математической модели.*

**Ключевые слова:** механизм-прототип, эксцентриковый механизм качения, тела качения, сепаратор, математическая модель, декартова система координат, столбцовая матрица, система параметрических уравнений.

Реализация заданного закона движения выходного звена исполнительного механизма технологического оборудования, разработанного на базе эксцентрикового механизма качения (ЭМК) определяется точностью положений его звеньев в пространстве или на плоскости в определенные моменты времени. Решение задачи о положениях звеньев ЭМК в явном виде возможно при помощи математической модели составленной для механизмов данного вида с учетом особенностей строения их структуры [1, 2].

Эксцентриковый механизм качения разработан на базе механизма-прототипа являющегося разновидностью ме-

ханизмов с замкнутой системой тел качения. Для ЭМК характерно наличие смещения центров дорожек качения наружного и внутреннего колец относительно друг от друга на величину эксцентриситета, что обеспечивается использованием тел качения с диаметрами разной величины [3]. В настоящее время коллективом авторов проводятся теоретические [3, 4] и экспериментальные [5, 6] исследования геометрических и кинематических параметров механизмов технологического оборудования разработанного на базе, как ЭМК, так и механизма-прототипа [7].

Структура механизма-прототипа эксцентрикового механизма качения содержит сепаратор (водило) и за-

мкнутую систему тел качения с диаметрами одинаковой величины, что обеспечивает совпадение центров дорожек качения наружного и внутреннего колец. Решение задачи о положениях звеньев механизма-прототипа ЭМК в явном виде так же при помощи математической модели составленной для механизмов данного вида с учетом особенностей строения их структуры.

Применим элементы теории матриц [8] для описания математической модели механизма-прототипа ЭМК с сепаратором (водило) при ведущем внутреннем кольце. Данный метод позволит в компактной форме получить совокупность выражений описывающих положения звеньев относительно систем координат каждого звена. При выборе систем координат звеньев необходимо, чтобы эти системы могли быть совмещены друг с другом посредством одного поворота и одного перемещения.

Для получения функций положения звеньев механизма-прототипа ЭМК составим расчетную модель (рис. 1) и примем следующие исходные условия и обозначения: ведущим звеном является внутреннее кольцо;  $R_b, R_n, O_b$  и  $O_n$  – радиусы и геометрический центр дорожек качения внутреннего и наружного колец;  $r_0, r_1, r_i$  и  $x_0, y_0, x_1, y_1, x_i, y_i$  – радиусы и координаты центров тел качения; системы координат звеньев – левые;  $X^{(b)}O^{(b)}Y^{(b)}$  – неподвижная декартова система координат с центром в точке  $O^{(b)}$ ;  $S_c^{(c)}(x_c^{(c)}, y_c^{(c)})$  – декартова система координат сепаратора (водило) с началом в точке  $O^{(b)}$  и отличающаяся от других систем на угловую координату  $b_c$ ;  $S_0^{(1)}(x_0^{(1)}, y_0^{(1)})$ ,  $S_1^{(1)}(x_1^{(1)}, y_1^{(1)})$ , ...,  $S_i^{(1)}(x_i^{(1)}, y_i^{(1)})$  – декартовы системы координат с общим началом в точке  $O^{(b)}$ , отличающиеся друг от друга на угловые координаты  $b_i$ ;  $S_0^{(2)}(x_0^{(2)}, y_0^{(2)})$ ,  $S_1^{(2)}(x_1^{(2)}, y_1^{(2)})$ , ...,  $S_i^{(2)}(x_i^{(2)}, y_i^{(2)})$  – декартовы системы координат с началом в центрах тел качения и отличающиеся друг от друга на угловую координату  $q_i$ . Начала отсчета всех систем координат связаны с геометрическими центрами звеньев механизма-прототипа ЭМК и лежат в точках расположенных на осях их вращения, а ось  $Z$  каждой системы координат совпадает этими осями. Во всех системах координат  $i=1, 2, \dots, z$ ; где  $z$  – число тел качения содержащихся в структуре механизма.

Положения точек  $C_c, C_0$  и  $C_i$ , лежащих на рабочих поверхностях звеньям механизма-прототипа, относительно выбранных систем координат, описываются положениями векторов  $\tilde{p}$  и характеризуются проекциями на координатные оси (рис 1). Переход от одной системы координат к другой осуществим при помощи формул преобразования координат, описываемых матрицами третьего порядка, т.е. матрицами вращения (поворота) и перемещения (сдвига) [2, 8].

Выполняя поворот системы координат  $S_c^{(c)}(x_c^{(c)}, y_c^{(c)})$  вокруг оси  $Z_c$  на угол  $b_c$  таким образом, чтобы ось координат  $X_c$  располагалась параллельно оси  $X_0$ , осуществляем переход системы координат сепаратора (водило)  $S_c^{(c)}(x_c^{(c)}, y_c^{(c)})$  в неподвижную систему координат  $X^{(b)}O^{(b)}Y^{(b)}$

(рис. 1). В результате реализации данных элементарных действий получаем матрицу вращения (поворота).

Для перехода систем координат  $S_i^{(2)}(x_i^{(2)}, y_i^{(2)})$  и  $S_i^{(1)}(x_i^{(1)}, y_i^{(1)})$  в неподвижную систему координат  $X^{(b)}O^{(b)}Y^{(b)}$  осуществляем поворот систем координат вокруг оси  $Z_i$  соответственно на углы  $\sum_{i=1}^n \beta_i$  и  $q_i$  таким образом, чтобы оси

координат  $X_i^{(1)}$  и  $X_i^{(2)}$  располагались параллельно оси  $X^{(b)}$  (рис. 1). В результате выполнения элементарных действий получаем две матрицы вращения (поворота). Дополнительно для системы  $S_i^{(2)}(x_i^{(2)}, y_i^{(2)})$  выполняем перемещение вдоль оси  $X^{(b)}$  на величину  $(R_1 + r_i)$  до совпадения начала отсчета преобразуемых систем, что позволяет сформировать матрицу перемещения (сдвига).

Положения точек  $C_c$  и  $C_i$  принадлежащих сепаратору (водило) и  $i$ -ому телу качения содержащихся в структуре механизма-прототипа ЭМК относительно неподвижной системы координат  $X^{(b)}O^{(b)}Y^{(b)}$  определяются соответственно векторами  $\tilde{p}_c$  и  $\tilde{p}_i$ , которые в матричной форме имеют вид

$$\begin{cases} \tilde{p}_c^{(b)} = A_c^{(c)} \cdot \tilde{r}_c, \\ \tilde{p}_i^{(b)} = A_i^{(1)} \cdot A_i^{(2)} \cdot \tilde{r}_i, \end{cases} \quad (1)$$

где  $\tilde{p}_c^{(b)}, \tilde{p}_i^{(b)}, \tilde{r}_c$  и  $\tilde{r}_i$  – столбцовые матрицы,  $A_c^{(c)}$  и  $A_i^{(1)}$  – матрицы вращения (поворота),  $A_i^{(2)}$  – матрица вращения и перемещения (сдвига).

Верхний индекс параметров системы (1), соответствует обозначению системы координат, относительно которой определяется положения точек  $C_c$  и  $C_i$  принадлежащих звеньям содержащихся в структуре механизма-прототипа ЭМК, а нижний индекс указывает на вид звена.

Столбцовые матрицы, содержащиеся в уравнениях системы (1) для сепаратора (водило) и  $i$ -го тела качения механизма-прототипа ЭМК

$$\tilde{p}_c^{(b)} = \begin{pmatrix} x_c^{(b)} \\ y_c^{(b)} \\ 1 \end{pmatrix} \text{ и } \tilde{r}_c = \begin{pmatrix} r_c \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad (2)$$

$$\tilde{p}_i^{(b)} = \begin{pmatrix} x_i^{(b)} \\ y_i^{(b)} \\ 1 \end{pmatrix} \text{ и } \tilde{r}_i = \begin{pmatrix} r_i \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Матрицы вращения (поворота), содержащиеся в уравнениях системы (1) относительно неподвижной системы координат  $X^{(b)}O^{(b)}Y^{(b)}$  для сепаратора (водило) и  $i$ -го тела качения механизма-прототипа ЭМК

$$A_c^{(c)} = \begin{pmatrix} \cos(\beta_c) & -\sin(\beta_c) & 0 \\ \sin(\beta_c) & \cos(\beta_c) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (4)$$

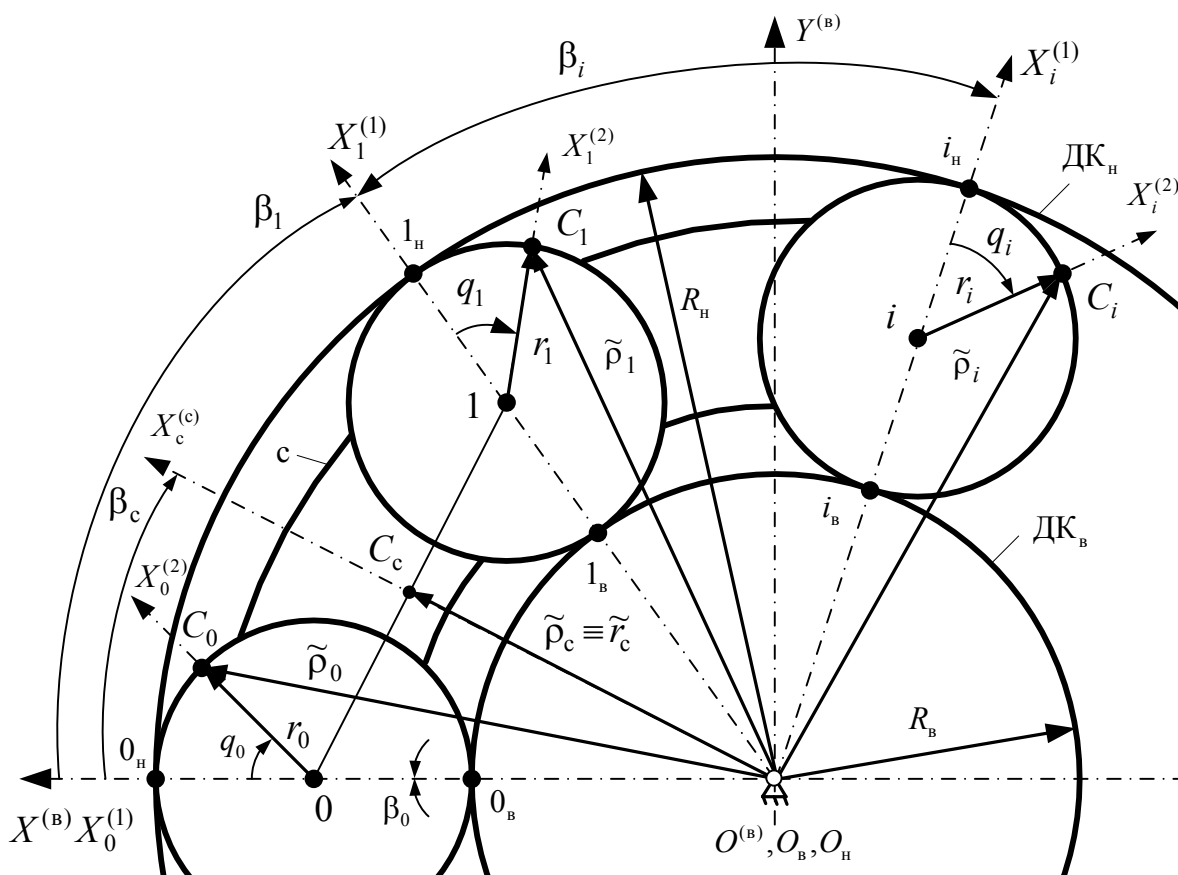


Рис. 1. Расчетная модель механизма-прототипа ЭМК с сепаратором (водило) при ведущем внутреннем кольце

$$A_i^{(1)} = \begin{pmatrix} \cos\left(\sum_{i=1}^n \beta_i\right) & -\sin\left(\sum_{i=1}^n \beta_i\right) & 0 \\ \sin\left(\sum_{i=1}^n \beta_i\right) & \cos\left(\sum_{i=1}^n \beta_i\right) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Матрица вращения (поворота) и перемещения (сдвига), содержащаяся в уравнениях системы (1) относительно неподвижной системы координат  $X^{(B)}O^{(B)}Y^{(B)}$  для  $i$ -го тела качения механизма-прототипа ЭМК

$$A_i^{(2)} = \begin{pmatrix} \cos(q_i) & -\sin(q_i) & (R_1 + r_i) \\ \sin(q_i) & \cos(q_i) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Подставив матрицы вращения (поворота) и перемещения (сдвига) (2)... (6) в систему уравнений (1) и преобразовав, получим:

$$\begin{pmatrix} x_c^{(B)} \\ y_c^{(B)} \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_c \cdot \cos(\beta_c) \\ r_c \cdot \sin(\beta_c) \\ 1 \end{pmatrix}, \quad (7)$$

$$\begin{pmatrix} x_i^{(B)} \\ y_i^{(B)} \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_i \cdot \cos\left(\sum_{i=1}^n \beta_i + q_i\right) + (R_1 + r_i) \cdot \cos(\vartheta_i) \\ r_i \cdot \sin\left(\sum_{i=1}^n \beta_i + q_i\right) + (R_1 + r_i) \cdot \sin(\vartheta_i) \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (8)$$

В результате преобразования равенств (7) и (8) сформируем системы параметрических уравнений

$$\begin{cases} x_c^{(B)} = r_c \cdot \cos(\beta_c), \\ y_c^{(B)} = r_c \cdot \sin(\beta_c), \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} x_i^{(B)} = r_i \cdot \cos\left(\sum_{i=1}^n \beta_i + q_i\right) + (R_1 + r_i) \cdot \cos\left(\sum_{i=1}^n \beta_i\right), \\ y_i^{(B)} = r_i \cdot \sin\left(\sum_{i=1}^n \beta_i + q_i\right) + (R_1 + r_i) \cdot \sin\left(\sum_{i=1}^n \beta_i\right). \end{cases} \quad (10)$$

здесь  $x_c^{(B)}$ ,  $y_c^{(B)}$ ,  $x_i^{(B)}$  и  $y_i^{(B)}$  – координаты точек  $C_c$  и  $C_i$  принадлежащих сепаратору (водило) и рабочей поверхности  $i$ -ого тела качения относительно неподвижной системы координат  $X^{(B)}O^{(B)}Y^{(B)}$ .

Анализ систем (9)... (10) показывает, что данные системы параметрических уравнений являются математи-

ческими моделями сепаратора (водило) и тел качения содержащихся в структуре механизма-прототипа ЭМК при ведущем внутреннем кольце относительно неподвижной системы координат  $X^{(b)}O^{(b)}Y^{(b)}$ .

В результате решения систем параметрических уравнений (9)... (10) получим координаты любых точек лежащих на рабочих поверхностях тел качения и дорожек качения наружного и внутреннего колец, а также кривые второго порядка соответствующие рабочим поверхностям этих звеньев при наличии сепаратора (водило) в структуре механизма-прототипа ЭМК.

С целью повышения эффективности процесса решения систем параметрических уравнений (9)... (10) авторами разработано программное обеспечение [9, 10], которое представляет собой совокупность программных комплексов: «Эксцентрик», «ЭПМ V1» и «ЭПМ V1.01» зарегистрированных в Реестре программ для ЭВМ Федеральной службы по интеллектуальной собственности (РОСПАТЕНТ)[11–13]. Представленные программные

комплексы позволяют не только рассчитать координаты положения тел качения и точек их контакта с дорожками качения наружного и внутреннего колец, но и выполнить графическое моделирование всех видов симметричных схем, как механизма-прототипа, так и эксцентрикового механизма качения.

В результате представленных действий получены системы параметрических уравнений (9)... (10) совместно составляющие математическую модель механизма-прототипа ЭМК с сепаратором (водило) при ведущем внутреннем кольце. Решение математической модели дает возможность однозначного определения положений звеньев механизма-прототипа ЭМК на плоскости в требуемый момент времени, что создает возможность получения приемлемого решения задачи о положениях его звеньев и обеспечить реализацию заданного закона движения выходного звена исполнительного механизма технологического оборудования с наименьшими погрешностями.

#### Литература:

1. Мерко М.А., Меснянкин М.В., Шемякин Д.В., Леонтьев А.С., Собко И.В. Особенности формирования математической модели ЭМК при ведущем наружном кольце // Молодежь и наука: сборник материалов VII-ой Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых посвященной 50-летию первого полета человека в космос [Электронный ресурс] / отв. ред. О.А. Краев — Красноярск: Сиб. фед. ун-т, 2011. — Режим доступа: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2011/thesis/s19/Shemyakin.pdf>.
2. Меснянкин М.В., Мерко М.А., Колотов А.В., Беляков Е.В., Белякова С.А. Математическая модель ЭМК с сепаратором при ведущем внутреннем кольце // Сборник научных трудов Sworld по материалам международной научно-практической конференции. 2012. Т. 5. №4. С. 62–67.
3. Мерко М.А. Кинематические и геометрические характеристики эксцентрикового механизма качения: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.02.02. Красноярск, 2002. 26 с.
4. Мерко М.А., Меснянкин М.В., Митяев А.Е., Колотов А.В. Анализ взаимозависимостей геометрических параметров эксцентрикового механизма качения // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2012. №11. С. 180–184.
5. Беляков Е.В., Мерко М.А., Колотов А.В., Меснянкин М.В., Митяев А.Е. Обеспечение требуемого движения выходного звена эксцентрикового эпициклического механизма // Сборник научных трудов Sworld по материалам международной научно-практической конференции. 2012. Т. 5. №4. С. 47–51.
6. Белякова С.А., Груздев Д.Е., Беляков А.Н., Мерко М.А., Меснянкин М.В., Колотов А.В. Применение дифференциального механизма для шлифования плоских поверхностей // Сборник научных трудов Sworld по материалам международной научно-практической конференции. 2012. Т. 5. №4. С. 51–56.
7. Меснянкин М.В., Мерко М.А., Колотов А.В., Митяев А.Е. Определение границ областей существования механизмов-прототипов ЭМК при вводе поправки в расчет по дорожке качения внутреннего кольца // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2012. №12. С. 138–141.
8. Пискунов Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисления для вузов. В 2 т. Т. 2: учеб. пособие для вузов. М: Наука, 1985. 560 с.
9. Мерко М.А., Меснянкин М.В., Файзиев А.Н., Вацлавский Е.С. Повешение эффективности проектирования эксцентриковых механизмов приводов технологического оборудования на основе ЭМК // Молодежь и наука: сборник материалов VII-ой Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых посвященной 50-летию первого полета человека в космос [Электронный ресурс] / отв. ред. О.А. Краев — Красноярск: Сиб. фед. ун-т, 2011. — Режим доступа: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2011/thesis/s19/Faiziev.pdf>
10. Беляков Е.В., Колотов А.В., Применение САПР при исследовании эксцентрикового планетарного механизма // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2012. №3. С. 109–112.
11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2012614197. Программный комплекс «Эксцентрик» / Меснянкин А.В., Мерко М.А., Колотов А.В., Груздев Д.Е., Митяев А.Е., Беляков Е.В.; за-



явитель и правообладатель ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»; заявка №2012612100 от 22.03.12; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 12.05.12.

12. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2012614355. Программный комплекс «ЭПМ V1» / Беляков Е.В., Мерко М.А., Колотов А.В., Груздев Д.Е., Митяев А.Е., Меснянкин А.В.; заявитель и правообладатель ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»; заявка №2012612237 от 27.03.12; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 16.05.12.
13. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2013610142. Программный комплекс «ЭПМ V1.01» / Беляков Е.В., Мерко М.А., Колотов А.В., Груздев Д.Е., Митяев А.Е., Меснянкин А.В.; заявитель и правообладатель ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»; заявка №2012660154 от 23.11.12; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 09.01.13.

## Анализ преодоления крупных водных преград с использованием полевых магистральных трубопроводов

Михайлов Владимир Владимирович, кандидат технических наук, старший преподаватель;  
Марков Алексей Валерьевич, курсант;  
Филатов Антон Денисович, курсант  
Вольский филиал Военной академии материально-технического обеспечения

*В статье рассматриваются методы использования полевого магистрального трубопровода для преодоления крупных водных преград.*

Развёртывание полевого магистрального трубопровода (ПМТ) наиболее сложный и напряжённый этап работы трубопроводной системы, требующий от всего личного состава приложения максимума усилий. Командиры всех степеней должны уметь принимать решения на основе точных инженерных и организационных расчётов, на фоне быстро изменяющейся оперативной обстановки.

Одной из наиболее трудоёмких и ответственных операций в период развёртывания ПМТ, является преодоление искусственных и естественных препятствий и преград.

Рассмотрим вопрос преодоления крупных водных преград с использованием полевых магистральных трубопроводов, с выбором способов, методов и средств силами трубопроводных частей и подразделений.

Преодоление различного рода естественных и искусственных препятствий должно осуществляться так, чтобы полностью исключить опасность повреждения или полного разрушения трубопровода. От способов преодоления этих препятствий во многом зависит своевременность выполнения поставленной задачи и живучесть ПМТ. Способы преодоления трубопроводом препятствий зависят от характера препятствий, а также от имеющихся в наличии сил и средств.

Способ преодоления водной преграды определяется по результатам разведки, в ходе которой выбирается место прокладки трубопровода. Оно должно иметь удобные подходы с твёрдым грунтом и ровные площадки для сосредоточения оборудования и выполнения подготовительных работ, хорошую естественную маскировку, находиться

на требуемом удалении от мостов и населённых пунктов, не иметь вблизи закрытых поворотов рек, которые не позволяли бы осуществлять наблюдение за приближением судов. Дно преграды целесообразно выбирать ровным, не имеющим ям, омутов, перекатов, крупных камней, затопленных деревьев, по возможности с пологими выходами на берег.

В ходе разведки определяются:

- ширина и глубина водной преграды (ширина и глубина фарватера);
- интенсивность движения речного транспорта;
- места установки предупредительных и указательных знаков и сигналов;
- скорость течения реки;
- профиль дна и характер грунта;
- изменения уровня воды, возможность создания на данном участке зоны затопления и её параметры;
- площадки для сосредоточения трубопроводного оборудования и вспомогательных технических средств.

Технологическая схема трубопровода развернутого через водную преграду, представлена на рисунке 1, и должна обеспечивать:

- заполнение перекачиваемым горючим основной и дополнительной (резервной) линий;
- перекачку горючего по основной или резервной линии;
- возможность ремонта одной из линий при выполнении перекачки по второй;
- последовательную перекачку с разделителем по основной линии и без разделителя — по любой линии;
- контроль за герметичностью подводных участков;

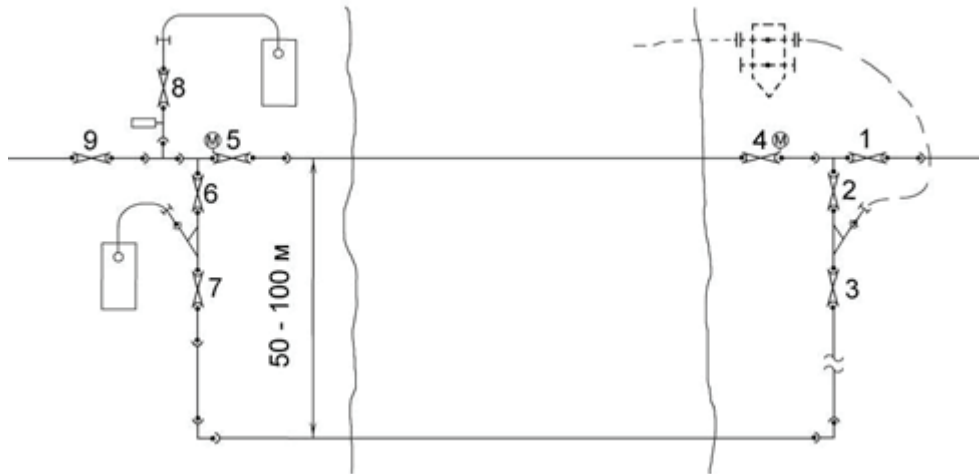


Рис. 1. Типовая схема обвязки трубопровода при преодолении водных преград

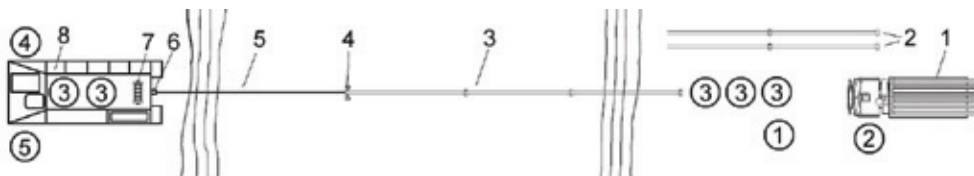


Рис. 2. Схема прокладки ПМТ через водную преграду методом протаскивания по дну при заблаговременной сборке секций ПМТ. Условные обозначения: 1 – начальник команды; 2 – водитель автомобиля-трубовоза; 3 – монтажники-трубопроводчики; 4 – связисты; 5 – механик-водитель плавающего транспорта. 1 – автомобиль-трубовоз; 2 – собранные секции трубопровода на берегу; 3 – протаскиваемая секция трубопровода; 4 – оголовок; 5 – тяговый трос; 6 – буксирное приспособление; 7 – лебедка с тяговым тросом; 8 – плавающий транспортер.

- отбор проб перекачиваемых продуктов;
- опорожнение подводных участков трубопровода.

В настоящее время применяют два основных способа прокладки трубопровода через водные преграды:

протаскиванием трубопровода по дну, с одновременным его затоплением;

протаскиванием трубопровода на плаву.

Одним из самых распространенных способов развёртывания трубопровода через реки со скоростью течения свыше 0,5 км/ч является способ протаскивания трубопровода по дну реки, с одновременным его затоплением. При этом, монтаж секций трубопровода для перехода может осуществляться заблаговременно или одновременно, с протаскиванием и использованием для этого трубопроводной машины (ТММ).

В первом случае, представленном на рисунке 2, на берегу реки вручную или машинным способом монтируются секции труб, общая длина которых должна быть несколько больше ширины преграды. Секции труб укладываются на местности перпендикулярно руслу реки.

Во втором случае, изображенном на рисунке 3, при развёртывании комплектов трубопровода повышенной производительности и значительной ширине преграды, если позволяют условия местности, протаскивание трубо-

провода по дну может быть осуществлено одновременно с его машинным монтажом.

Для этого, трубопроводная машина устанавливается на расстоянии 20–25 м от уреза воды, несколько труб пропускается через сборочную линию, на конце первой трубы монтируется оголовок, к которому крепится тяговый трос. Протаскивание собираемого машиной трубопровода осуществляется плавающим транспортером после выхода его на противоположный берег. Скорость движения тягача при протаскивании не должна превышать 2 км/ч.

Во время протаскивания на обоих берегах преграды и на плавающем транспортере развёртываются радиостанции для поддержания связи.

Если длина полосы движения тягача на противоположном берегу меньше ширины преграды, производится «перехват» тягового троса. Для этого, при подходе тягача к концу полосы протаскивание приостанавливается, тяговый трос отсоединяется от буксирного крюка, и излишняя часть каната сматывается на барабан, размещённый на платформе тягача. Затем тяговый трос вновь закрепляется на буксирном крюке тягача и протаскивание трубопровода продолжается.

Для успешного преодоления преграды указанным способом необходимо:

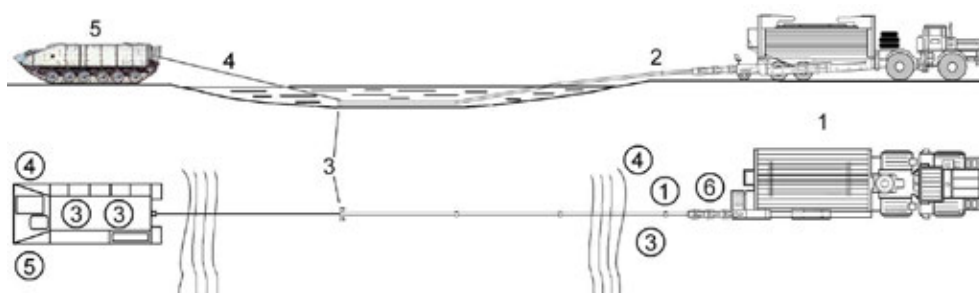


Рис. 3. Схема прокладки ПМТ через водную преграду методом протаскивания его по дну при машинном монтаже. Условные обозначения: 1 – начальник команды; 2 – механик-водитель; 3 – монтажники-трубопроводчики; 4 – связисты; 5 – механик-водитель плавающего транспортера; 6 – оператор. 1 – трубомонтажная машина; 2 – смонтированная секции трубопровода; 3 – оголовок; 4 – тяговый трос; 5 – буксирное приспособление; 6 – лебедка с тяговым тросом; 7 – плавающий транспортер.

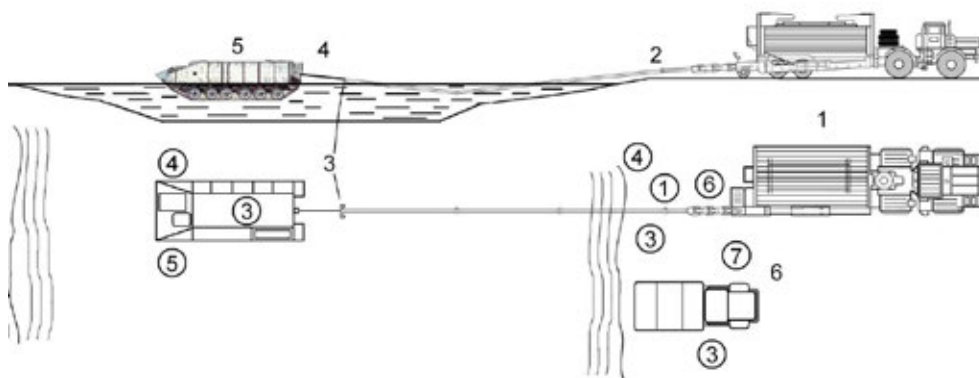


Рис. 4. Принципиальная схема прокладки трубопровода через водную преграду методом протаскивания на плаву при машинном монтаже ПМТ. Условные обозначения: 1 – начальник команды; 2 – механик-водитель; 3 – монтажники-трубопроводчики; 4 – связисты; 5 – механик-водитель плавающего транспортера; 6 – оператор; 7 – водитель-моторист ПСГ-160. 1 – трубомонтажная машина; 2 – смонтированная секции трубопровода; 3 – заглушка с серьгой и шкворнем; 4 – буксирный трос; 5 – плавающий транспортер (катер); 6 – перекачивающая станция ПСГ-160.

- тщательно готовить трубы, подлежащие монтажу на переходе;
- строго проверять качество сборки монтируемых вручную соединений;
- движение тягача осуществлять плавно, без рывков.

Как и в случае преодоления по дну, секция трубопровода монтируется заблаговременно или одновременно с протаскиванием. Для монтажа трубопровода одновременно с протаскиванием машина для монтажа устанавливается на расстоянии 25–50 м от уреза воды. Принципиальная схема преодоления водной преграды этим

методом изображена на рисунке 4.

Для предупреждения ухода конца секции в воду, при остановках протаскивания и удержания её на берегу до окончания затопления, необходимо предусматривать её крепление. Тяговое усилие транспортёра на плаву должно быть на 20–50% больше усилия вытаскивания труб из сборочной линии машины.

В настоящее время, исходя из опыта боевых действий ДРА, и различных учений с использованием трубопроводных войск могут применяться и другие способы преодоления водных преград.

Литература:

1. Полевые магистральные трубопроводы повышенной производительности: руководство по эксплуатации. М.: Воениздат, 1982. 362 с.
2. Михайлов В.В., Кузьмин В.Г. Преодоление естественных и искусственных препятствий в ходе развертывания трубопровода. Ульяновск: УВВТУ (ВИ), 2007.-85 с.

## Исследование комплекса технических средств для механизации работ по демонтажу полевых магистральных трубопроводов

Михайлов Владимир Владимирович, кандидат технических наук, старший преподаватель;

Симачков Михаил Викторович, курсант;

Айнетдинов Ильдус Рамилович, курсант

Вольский филиал Военной академии материально-технического обеспечения (Саратовская обл.)

*В статье рассматриваются вопросы анализа современного состояния типовых видов работ, на этапе свёртывания трубопровода ПМТП-150.*

Роль и место полевых магистральных трубопроводов в системе обеспечения войск горючим определяются их функциональным назначением, высокой эффективностью, надёжностью и подвижностью, а также ограниченными в условиях военного времени возможностями других видов транспорта (автомобильный, железнодорожный транспорт).

В соответствии с этой ролью, трубопроводные системы занимают промежуточное положение между стратегическими и оперативно-стратегическими звеньями (участками) транспортной сети подачи горючего войскам (силам).

В последнее время неизмеримо выросла роль технического оснащения Вооружённых Сил РФ техникой различного назначения. Эффективность функционирования системы МТО обеспечения войск в значительной степени зависит от количественно качественных показателей техники и от организации ее применения.

В решении больших и сложных задач, стоящих перед службами МТО, значительная роль принадлежит службе горючего, обеспечивающей армию и флот жидким ракетным топливом, горючим и техническими средствами.

Службой горючего МО РФ уделяется большое внимание техническому совершенствованию вновь создаваемых трубопроводных систем

Несмотря на отсутствие средств механизированного демонтажа, полевые магистральные трубопроводы, стоящие на вооружении в ВС РФ, продолжают обеспечивать техническое первенство отечественных полевых сборно-разборных трубопроводов.

С позиций технической надёжности, соединение труб типа «Раструб» нуждается в дальнейшем совершенствовании. Поэтому, на современном этапе актуальной остаётся необходимость проведения дальнейших исследовательских работ в области проектирования соединений, а также поиск рациональных способов и средств механизированного монтажа и демонтажа полевых сборно-разборных трубопроводов, дальнейшего повышения их безотказности работы.

С целью повышения мобильности трубопровода и уменьшения физической нагрузки на личный состав ведётся исследовательская работа по облегчению комплекта трубопровода. Так, ООО НПП «Ресурс» (г. Хотьково Московской области) разработана труба из стекло-

пластика весом 36 кг и с условным диаметром 150 мм для комплекта трубопровода ПМТС-150–150. Благодаря повышению рабочего давления повысится производительность трубопровода до 3200 т/сутки. Создание на базе одноосного автомобильного прицепа унифицированного технического средства способного вести монтаж и демонтаж трубопровода, а также значительное уменьшение веса комплекта трубопровода позволят в будущем успешно рассматривать вопрос аэромобильности комплекта трубопровода ПМТС-150–150 и оперативного использования трубопроводных батальонов при чрезвычайных ситуациях мирного времени.

Одним из актуальных направлений повышения надёжности полевых сборно-разборных трубопроводов является разработка новых соединений труб. Приоритетными являются подвижные соединения труб, обладающие значительно лучшими эксплуатационными свойствами по сравнению со существующими.

Определённым шагом в совершенствовании конструкции подвижных соединений труб для полевого сборно-разборного трубопровода могут послужить разработки раструбных шарнирных соединений труб. Предложенный авторами принцип распределения нагрузки в нагруженных деталях раструбных шарнирных соединений труб (ШСТ) определил предпосылки для конструирования нового поколения подвижных соединений труб для полевого сборно-разборного трубопровода (смотри рисунок 1).

Можно полагать, что для перспективных полевых сборно-разборных трубопроводов третьего поколения, оснащённых подвижными соединениями труб с увеличенной угловой подвижностью, коэффициенты снижения норм работы при демонтаже останутся такими же, как и для ПМТ. Исключением могут составить коэффициенты, учитывающие различный рельеф местности и растительный покров (в условиях работы вне дорог). Эти коэффициенты, при расчёте темпов демонтажа, могут быть существенно снижены благодаря преимуществам новых конструкций подвижных соединений труб. За счёт увеличения угловой подвижности труб в соединении значительно снизится количество напряжённых соединений на трассе (особенно на участках трассы со сложным рельефом местности), также не потребуется соблюдения обязательного условия соосности труб при монтаже и демонтаже трубопровода.

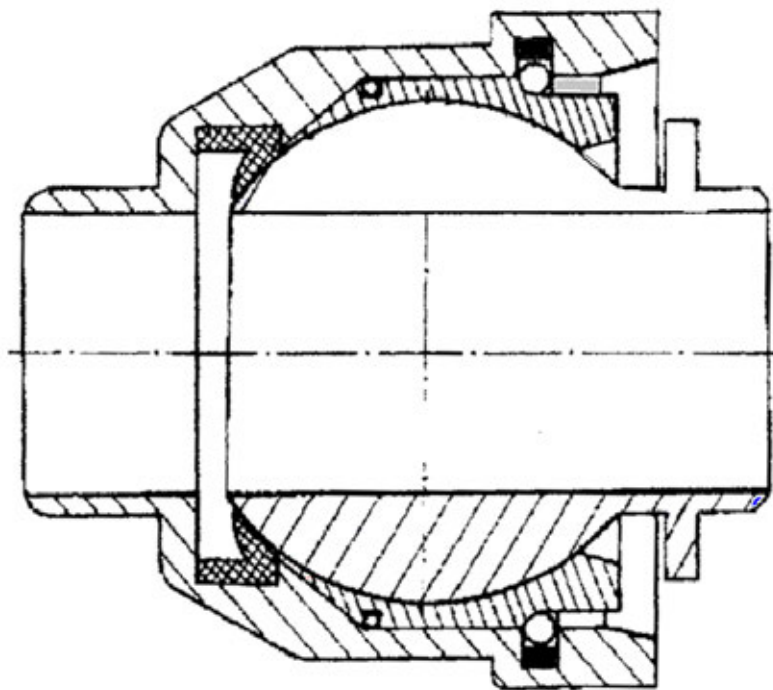


Рис. 1. Шарнирное соединение труб

Оснащение перспективных полевых сборно-разборных трубопроводов новыми типами соединений и новыми средствами их механизированной разборки существенно может увеличить темпы демонтажа трубопровода, по сравнению с существующими полевыми магистральными трубопроводами и значительно снизить физическую нагрузку на личный состав.

Создание новых поколений полевых сборно-разборных трубопроводов предусматривает разработку и внедрение, на основе комплексного подхода, на первом этапе механизированного инструмента для демонтажа линии трубопровода, на втором и последующих этапах — трубодемонтажных машин. Такие разработки в современных условиях считаются приоритетными. Конечной целью создания трубодемонтажных механизмов (машин) является значительное повышение темпа демонтажа трубопровода и снижение физической нагрузки на личный состав.

Анализ показал, что одним из наиболее трудоёмких этапов свёртывания полевых сборно-разборных трубопроводов является их демонтаж и погрузка труб в автомобили при вывозе их с трассы (31 % трудозатрат). При этом, демонтажные работы ограничиваются способом и организацией проведения демонтажа соединений труб полевого сборно-разборного трубопровода, условиями выполнения и нормированием работ, количеством выделяемого для этих целей личного состава.

При демонтаже батальонного участка трубопровода, созданные команды ручного демонтажа работают 3–4 суток (смотри рисунок 2). При демонтаже и погрузке труб в автомобили — трубовозы нагрузка на каждого солдата составляет 26...27 тонн. А за 3 дня выполнения трубопро-

водным батальоном задачи общая нагрузка на каждого солдата составит — 78...81 тонна. Это — очень большая физическая нагрузка на личный состав трубопроводного батальона, что подтверждает высказывание о необходимости создания трубодемонтажных машин.

На основании анализа проведённых фронтовых командно-штабных учений общая протяжённость линий полевого магистрального трубопровода во фронтовом тылу может достигать до 1500 км. В состав фронта могут войти 2...3 *отпб* и несколько отдельных трубопроводных рот. Так, при условии, что в тылу фронта развёрнуто до 1500 км линий трубопроводов, в их системе насчитывается до 260 тысяч соединений труб на трассе и в технологических обвязках. Такое большое количество соединений труб при их демонтаже, является основным в преодолении временных показателей темпа свёртывания полевого сборно-разборного трубопровода. Поэтому в современных операциях, только механизация демонтажных работ соединений труб весьма ощутимо отразится на снижении удельной трудоёмкости и повышении темпа свёртывания полевого сборно-разборного трубопровода.

Надо отметить, что попытки по разработке механизированного инструмента предпринимались и ранее. Анализ работ показывает, что механизированный демонтаж возможен для полевого сборно-разборного трубопровода второго и третьего поколения. Предложенные конструкции подвижных соединений труб определили технические предпосылки создания средств их механизированного демонтажа и обусловили необходимость разработки средств механизированного демонтажа полевого сборно-разборного трубопровода (смотри рисунок 3).

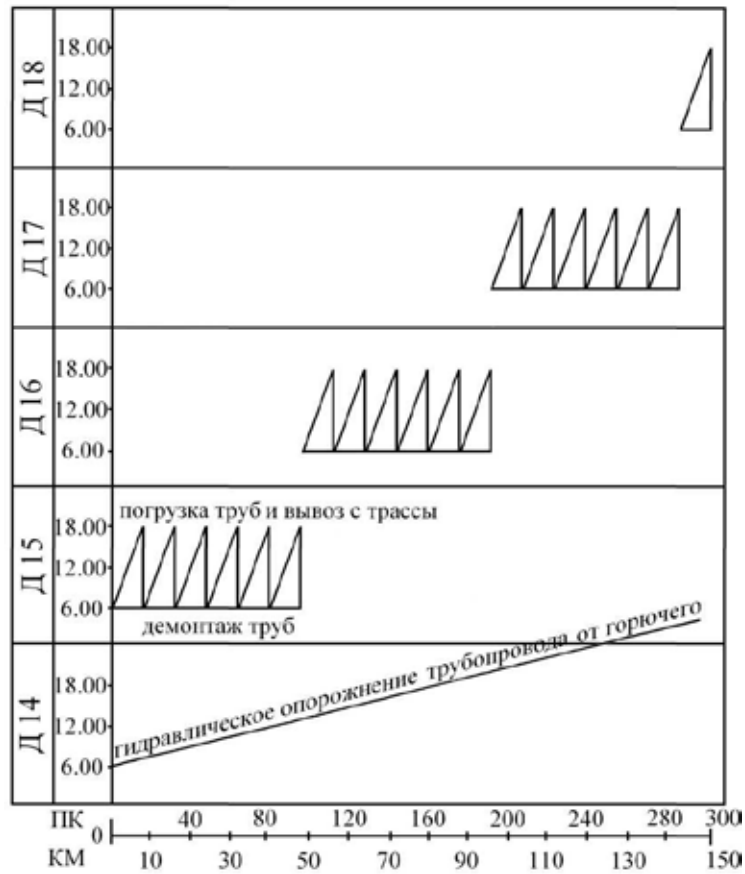


Рис. 2. План график свертывания трубопровода ПМТП-150–150

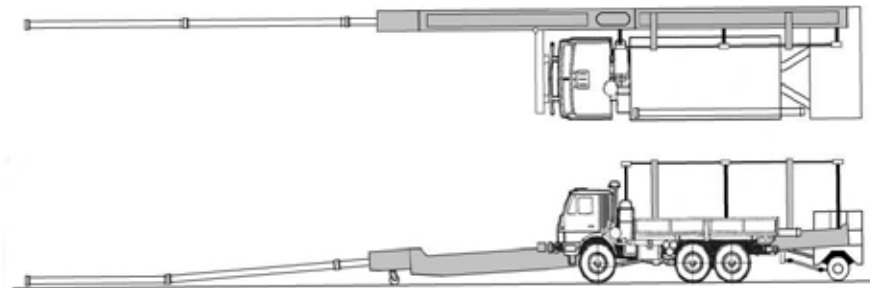


Рис. 3. Общий вид труборемонтной машины в рабочем положении

В связи с создавшейся ситуацией возникает необходимость перевооружения трубопроводных соединений и частей полевыми сборно-разборными трубопроводами третьего поколения. В связи с этим, остаётся актуальным вопрос разработки механизма для демонтажа труб полевого сборно-разборного трубопровода с соединением «Раструб».

Свёртывание полевого магистрального трубопровода (ПМТ) наиболее сложный и напряжённый этап работы трубопроводной системы, требующий от всего личного состава приложения максимума усилий. Командиры

всех степеней должны уметь принимать решения на основе точных инженерных и организационных расчётов, на фоне быстро изменяющейся оперативно-тыловой обстановки

Таким образом, анализ современного состояния типовых видов работ, на этапе свёртывания трубопровода определил одну из основных причин снижающих его темп — ручной демонтаж трубопровода. Исходя из этого возникает необходимость проведения глубокого анализа научных исследований всего процесса механизированного демонтажа трубопровода.

Литература:

1. Принципы формирования трубопроводно-складской системы обеспечения горючим Вооруженных Сил Российской Федерации. Научно-технический сборник «Вопросы совершенствования технических средств службы горючего». — М.: Воениздат, 1996.
2. Никитин В.В., Загорский В.И., Акунин В.Г. и др. Использование полевых магистральных трубопроводов и нефтепродуктопроводов для обеспечения войск горючим. — М.: Воениздат, 1976, 208 с.

## Моделирование системы позиционирования отражателя концентратора солнечной энергии

Мусаев Гасан Магомедрасулович, старший преподаватель  
Дагестанский государственный технический университет

Целью создания системы точного углового позиционирования является разработка и изготовление аппаратных и программных средств, необходимых для обеспечения управления с помощью ЭВМ системой позиционирования различных объектов. В качестве исполнительного устройства используются двигатели постоянного тока с редукторами и датчиками углового перемещения различных типов.

Для решения научно-практических задач требуется обеспечить угловое позиционирование объектов с высокой точностью [1].

К основным параметрам системы можно отнести:

- Точность определения координат.
- Точность позиционирования.

Системы управления динамическими объектами с цифровыми регуляторами представляют собой достаточно сложный для описания класс. Непрерывная часть системы (объект управления) задается дифференциальными уравнениями, тогда как микропроцессоры, реализующие алгоритмы управляющих устройств, представлены разностными уравнениями. Смешанное описание в виде дифференциальных и разностных уравнений, дополненных соотношениями для преобразователей аналог-код и код-аналог, создает значительные трудности при решении типовых задач анализа и синтеза. Поэтому в практике управления получили распространение модели, которые описывают поведение систем лишь в дискретные (тактовые) моменты времени. При этом удается ограничиться лишь разностными уравнениями, что радикально упрощает описание рассматриваемых систем и решение соответствующих задач синтеза регуляторов.

Альтернативный подход, напротив, предлагает ограничиться исходным описанием системы дифференциальными уравнениями и синтезировать непрерывные регуляторы, которые уже после синтеза реализуются на микропроцессорах. Оба этих подхода широко используются в практике управления, хотя каждый из них имеет свои методические погрешности.

Альтернативный подход к синтезу дискретных регуляторов предлагает решать задачи управления, оставаясь в рамках непрерывных систем. При этом синтезируется непрерывный регулятор, который затем реализуется цифровыми методами. Физически ясно, что поведение дискретной системы будет приближаться к поведению непрерывной с уменьшением периода квантования. Чтобы оценить изменения, вносимые в динамику непрерывных систем применением микропроцессоров, рассмотрим сначала частотные характеристики экстраполятора нулевого порядка

$$W_{\infty}(j\omega) = \frac{1 - e^{-j\omega T}}{j\omega} \quad (1)$$

Заменяя экспоненту тригонометрическими функциями, после простых преобразований найдем

$$W_{\infty}(j\omega) = T \frac{\sin \frac{\omega T}{2}}{\frac{\omega T}{2}} e^{-j\omega \frac{T}{2}} \quad (2)$$

Из последнего соотношения видно, что коэффициент передачи экстраполятора равен периоду квантования. Экстраполятор создает чистое запаздывание, величина которого равна половине периода квантования. При проектировании

частота квантования выбирается существенно большей диапазона рабочих частот системы.

Преобразователи вносят в систему дополнительное запаздывание, равное половине периода квантования. Поэтому синтез регуляторов при их последующей реализации на микропроцессоре следует выполнять для модифицированного объекта, отличающегося от исходного наличием звена чистого запаздывания

$$W_0(s) = W_0^1(s)e^{-s\frac{T}{2}} \quad (3)$$

В качестве системы управления динамическим объектом с цифровыми регуляторами рассмотрим устройство управления двигателем постоянного тока. Двигатели постоянного тока применяют в приводах, требующих плавного регулирования частот вращения в широком диапазоне.

Основным звеном устройства управления двигателем постоянного тока, выполняющим роль преобразователя и источника управляющих сигналов, может быть микроконтроллер (МК).

Свойства двигателей постоянного тока, определяются пусковыми, рабочими, механическими и регулировочными характеристиками.

Индексами «в» и «я» отмечены параметры и переменные цепей возбуждения и якоря;  $L$  – индуктивность,  $R$  – активное сопротивление,  $U$  – напряжение,  $i$  – ток;  $M$  – электромагнитный момент двигателя,  $e$  – ЭДС якоря.

От двигателя, применяемого в следящих системах, требуется преобразование электрического сигнала (управляющего напряжения) в пропорциональную величине сигнала скорость вращения якоря. Как правило, используются двигатели постоянного тока с независимым возбуждением. Принципиальная схема двигателя приведена на рис. 1.

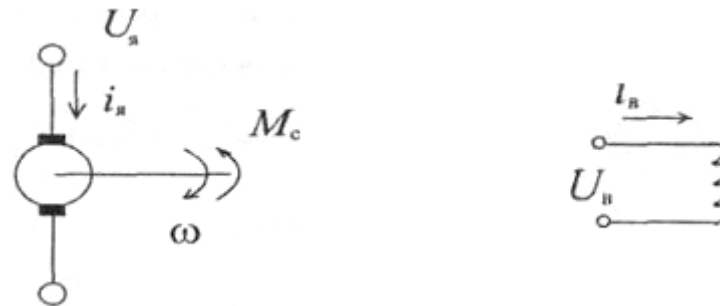


Рис. 1. Принципиальная схема двигателя постоянного тока

Управление двигателем возможно путем изменения напряжений или по цепи якоря  $U_я$ , или по цепи обмотки управления  $U_в$ .

Рассмотрим вначале уравнения статики. Ток в цепи якоря  $I_я$ , магнитный поток возбуждения  $\Phi_в$ , вращающий момент  $M_{вр}$ , скорость вращения вала двигателя  $\omega$  и противоэлектродвижущая сила  $e_n$ , наводимая в обмотке якоря, связаны следующими соотношениями:

$$\begin{cases} U_я = I_я R_я; \\ M_{вр} = c_m \Phi_в i_я; \\ e_n = c_e \Phi_в \omega, \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{где } c_e = \frac{PN10^{-8}}{2\pi a}, c_m = \frac{e_e}{9,81},$$

$N$  – число проводников якоря,  $P$  – число пар полюсов,  $a$  – число пар параллельных ветвей,  $R_я$  – активное сопротивление цепи якоря. Исключая из уравнения  $e_n$  и  $i_я$  получим

$$M_{вр} = \frac{c_m}{R_я} \Phi_в U_я - \frac{c_e c_m}{R_я} \Phi_в^2 \omega \quad (5)$$

Из формулы (4), которая определяет механическую характеристику двигателя, видно, что при постоянном потоке возбуждения  $\Phi_в$ , создаваемом неизменяемым напряжением возбуждения  $U_в$ , вращающий момент линейно зависит от управляющего сигнала по цепи якоря  $U_я$ . Это позволяет плавно изменять скорость двигателя в широком диапазоне. В связи с этим обстоятельством в рассматриваемой следящей системе управление двигателем осуществляется именно по цепи якоря. Составим уравнение динамики для двигателя постоянного тока, управляемого по цепи якоря.

Уравнение движения якоря двигателя имеет вид



$$J \frac{d\omega}{dt} = M_{\text{сп}} - c\omega - M_c \tag{6}$$

Здесь  $J$  – момент инерции всех вращающихся масс, приведенных к валу двигателя,  $c$  – коэффициент вязкого трения,  $M_c$  – момент сопротивления.

Из (5) и (6) получим

$$J \frac{d\omega}{dt} + \left( c + \frac{c_e c_m}{R_{\text{я}}} \Phi_{\text{г}}^2 \right) \omega = \frac{c_m}{R_z} \Phi_{\text{г}} U_{\text{я}} - M_c$$

или

$$T_m \frac{d\omega}{dt} + \omega = K_M U_{\text{я}} - K_c M_c \tag{7}$$

где  $T_m$  – постоянная времени двигателя,  $K_M$  – коэффициент передачи двигателя по управлению,  $K_c$  – коэффициент передачи двигателя по возмущению:

$$T_m = \frac{J R_{\text{я}}}{c R_{\text{я}} + c_e c_m \Phi_{\text{г}}^2}; \quad T_m = \frac{c_m}{c R_{\text{я}} + c_e c_m \Phi_{\text{г}}^2}; \quad T_m = \frac{R_{\text{я}}}{c R_{\text{я}} + c_e c_m \Phi_{\text{г}}^2} \tag{8}$$

Соответственно передаточные функции двигателя по управлению и возмущению (моменту сопротивления) относительно угловой скорости имеют вид

$$W_{\text{ДВУ}}^{\omega}(s) = \frac{K_M}{T_m s + 1}; \quad W_{\text{ДВУ}}^{\omega}(s) = \frac{K_c}{T_m s + 1} \tag{9}$$

Уравнение (7) можно записать относительно угла поворота. Учитывая, что  $\frac{d\alpha}{dt} = \omega$  получаем следующее уравнение:

$$T \frac{d^2\alpha}{dt^2} + \frac{d\alpha}{dt} = K_M U_{\text{я}} - K_c M_c \tag{10}$$

Двигателю, описываемому уравнением (11), соответствуют две передаточные функции – по управлению и по возмущению относительно угла поворота:

$$W_{\text{ДВУ}}^{\alpha}(s) = \frac{K_M}{s(T_m s + 1)} \tag{11}$$

$$W_{\text{ДВУ}}^{\alpha}(s) = \frac{K_c}{s(T_m s + 1)} \tag{12}$$

Литература:

1. ISBN 5–7262–0523–5. Научная сессия МИФИ-2004. Том 1. А.В. Самосадный, Д.А. Азаров, Д.И. Липецкий, В.М. Немчинов. Система точного углового позиционирования. с. 238–239.
2. Журнал «Компьютерра» № 34, 2000. Г. Шануров. Система позиционирования. Позиционирование как система.
3. Сетевые спутниковые радионавигационные системы / В.С. Шебшаевич, П.П. Дмитриев, Н.В. Иванцев и др.; под ред. В.С. Шебшаевича. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1993–408 с.: ил.

## Автоматизированное проектирование СВЧ фазовращателя

Мусаева Ума Алиевна, кандидат технических наук, старший преподаватель  
Дагестанский государственный технический университет

Одной из ключевых особенностей СВЧ устройств является необходимость эмпирических регулировок и подстроек их характеристик с помощью винтов, диафрагм в волноводах. Классическая схема процесса разработки СВЧ устройств изображена на рис. 1. Разработка начинается с анализа технических требований и выбора первоначальной конфигурации цепи. Первоначальная конфигурация выбирается на основании имеющихся исходных данных и предшествующего опыта.

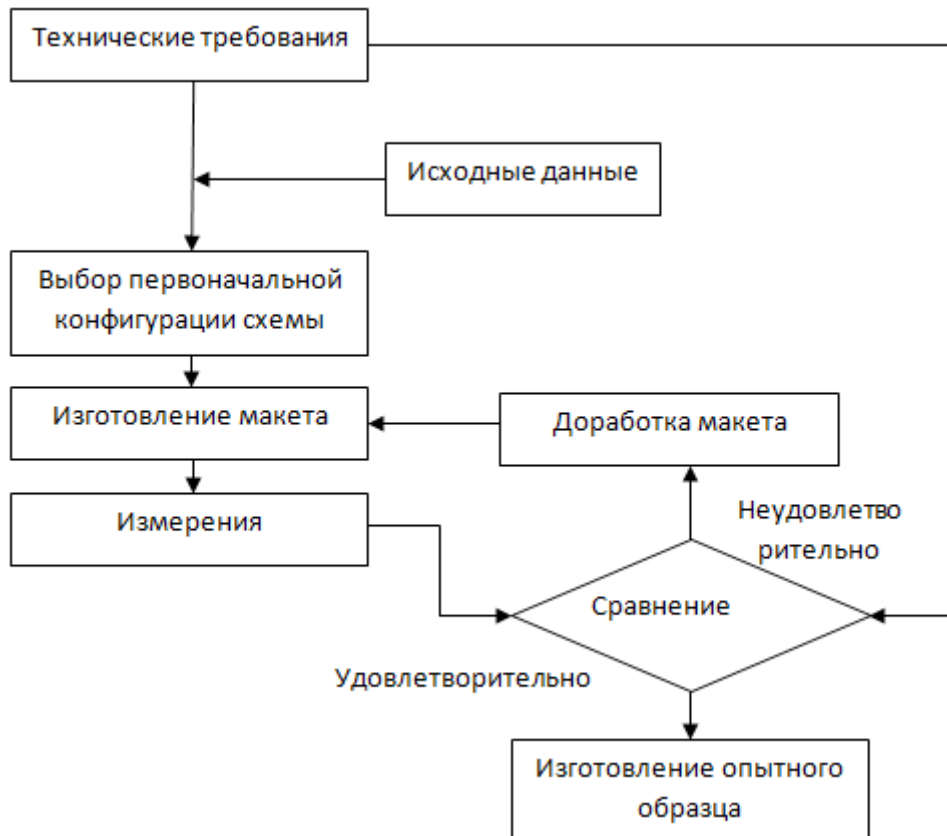


Рис. 1. Схема процесса разработки СВЧ устройств

Для определения различных параметров этой цепи используются процедуры анализа и синтеза. Затем разрабатывается предварительный лабораторный макет и измеряются и характеристики. Измеренные характеристики сравниваются данными техническими Требованиями, если заданные требования не выполняются, то макет дорабатывается. Доработка может включать регулировку, настройку и подстройку макета. Затем вновь проводятся измерения, результаты которых сравниваются заданными требованиями. Последовательный процесс доработки измерений и сравнения результатов с заданными требованиями повторяется до тех пор, пока не будут достигнуты желаемые характеристики. Иногда заданные технические требования противоречат практически достижимым характеристикам схемы. Окончательная конфигурация воспроизводится при изготовлении опытного образца. Описанный процесс разработки СВЧ устройств занимает достаточно много времени. В настоящее время он намного усложняется по следующим причинам:

1) увеличение сложности современных систем требует более тщательного и точного проектирования приборов и устройств. Следовательно, чрезвычайно возрастает значение исследования влияния допусков в проектируемых устройствах,

2) в настоящее время для выполнения заданных функций существует множество разнообразных активных и пассивных компонентов. Если разработка представляет собой процесс повторяющихся экспериментов, то выбор подходящего прибора или типа передающей структуры становится затруднительным.

3) в устройства, изготовленные по технологии ИС СВЧ, очень трудно вводить какие бы то ни было изменения.

В таких случаях используется метод машинного проектирования. Типичная схема процесса машинного проектирования показана на рис. 2.

Как уже было сказано, процесс машинного проектирования состоит из трех важных этапов:

- 1) моделирование,
- 2) анализ,
- 3) оптимизация.

Моделирование представляет собой математическое описание различных активных и пассивных компонентов, позволяющее получить числовую модель, которая может управляться машиной. Для машинного проектирования СВЧ цепей должны быть разработаны модели большого числа активных и пассивных компонентов.

В качестве активных компонентов используются полупроводниковые приборы, биполярные транзисторы и полевые

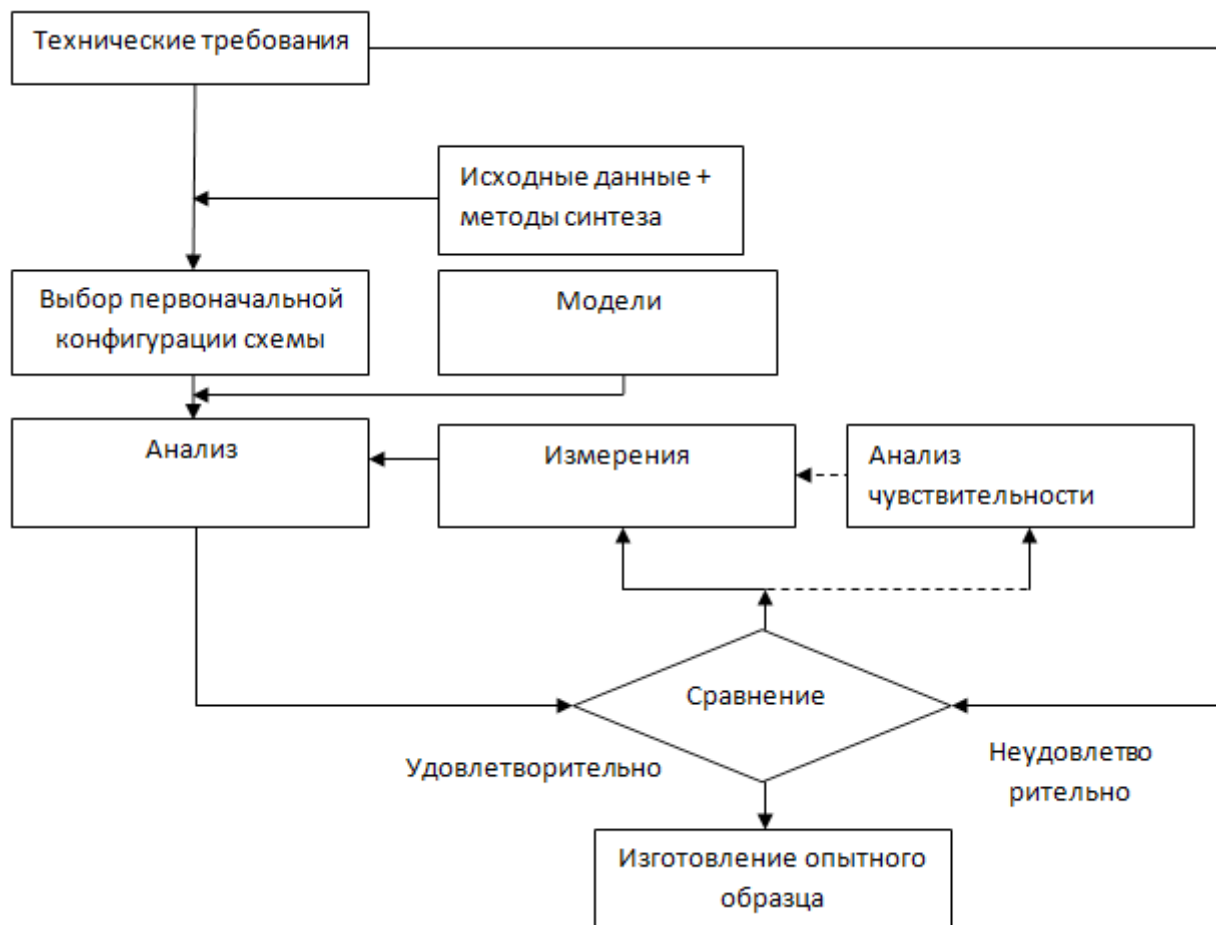


Рис. 2. Схема процесса автоматизированного проектирования СВЧ устройств

транзисторы с затвором Шотки, точечные диоды и диоды Шотки, варакторы к р-і-р-диоды, а также диоды Ганна и лавинно-пролетные диоды.

Пассивными элементами СВЧ цепей служат отрезки линий передачи различной структуры, компоненты с сосредоточенными параметрами, диэлектрические резонаторы, невзаимные устройства и планарные (двумерные) элементы. В качестве линий передачи могут использоваться коаксиальные линии, волноводы, полосковые, микрополосковые, копланарные, щелевые линии или комбинации этих линий. Трудности моделирования ограничивают использование техники автоматизированного проектирования на СВЧ. Детальное моделирование активных приборов, является весьма сложной задачей, занимающей значительное время. Поэтому возникает необходимость упрощения эквивалентных схем и получения выражений в замкнутой форме, точность которых достаточна для проектирования. Эти выражения для микрополосковых, щелевых и копланарных линий, а также для неоднородностей в микрополосковых линиях содержатся в книге [2].

В процессе анализа определяются номинальные характеристики исследуемой конфигурации цепи для данного набора входных параметров. Машинный анализ является наиболее развитым и широко используемым этапом машинного проектирования. Анализ СВЧ цепей включает в себя расчет S-параметров полной схемы на основе заданных значений S-параметров ее компонентов. Очень часто СВЧ схемы могут быть представлены в виде каскадного соединения четырехполюсников. В этих случаях матрица, описывающая полную схему, может быть получена перемножением матриц ABCD (или матриц передачи) составляющих ее четырехполюсников. Для более сложных топологий используются методы соединений многополюсников. Согласно этим методам необходимо осуществлять обращение матриц, которое эффективно выполняется с использованием методов разреженных матриц.

Так как четырехполюсные компоненты в СВЧ устройствах встречаются очень часто, эти способы описания схем детально исследуются. Очень удобны при измерениях и описаниях характеристик компонентов СВЧ матрицы рассеяния. Они применяются также в общем случае описания 2-х полюсных цепей.

Устройство СВЧ в обобщенном виде можно представить многополюсником, как показано на рис 3.

Матрица рассеяния определяет взаимосвязь между переменными  $a_n$  (пропорциональными входящим волнам на л-й паре полюсов) и  $b_n$  (пропорциональными выходящим волнам n-й пары полюсов)

$$a_n = v_n / \sqrt{Z_{on}}$$

$$b_n = v_n / \sqrt{Z_{on}}$$

где  $v_n^+$  и  $v_n^-$  — напряжения, соответствующие входящим и выходящим волнам в линии передачи (или волноводе), соединенном с  $n$ -й парой полюсов,  $Z_{on}$  — волновое сопротивление линии (или волновода).



Рис. 3. Обобщенная схема с N входами

Для расчета коэффициентов матрицы рассеяния не требуется знание величин  $v_n^+$  и  $v_n^-$ . Соотношения между  $a_n$  и  $b_n$  для четырехполюсников могут быть записаны в виде:

$$b_1 = s_{11}a_1 + s_{12}a_2$$

$$b_2 = s_{21}a_1 + s_{22}a_2$$

В общем случае для схемы с  $n$  парами полюсов имеем

$$b = s a$$

где  $S$  — матрица размером  $n \times n$  (для четырехполюсника эта матрица имеет размер  $2 \times 2$ ), называемая матрицей рассеяния схемы.

Целью данной статьи является рассмотрение методики расчета дискретного фазовращателя.

Общая структурная схема для расчета дискретного фазовращателя приведена на рис. 4. Четырехполюсники 1 и 6 отображают согласующие цепи коммутатора, представляющего собой соединение шестиполюсников 2, 5 и четырехполюсников 3, 4. Шестиполюсники 2 и 5 — это цепи связи, которые представляют собой параллельное или последовательное развитие.

Четырехполюсники 3 и 4 — каналы коммутатора, состоящие из выключателей на переключающих диодах.

Алгоритм нахождения матрицы рассеяния структурной схемы следующий. Соединения шестиполюсников 2 и 5 и четырехполюсников 3 и 4, т.е. коммутатор, можно представить в виде двух шестиполюсников А и В (рис. 5), выходные плечи которых соединены между собой. Элементы матрицы рассеяния такого соединения имеют вид:

$$S_{11} = S_{11}^A [(P_4 S_{21}^A - P_3 S_{31}^A)(S_{12}^A S_{22}^B + S_{32}^B S_{13}^A) + (P_1 S_{31}^A - P_2 S_{21}^A)(S_{12}^A S_{23}^B + S_{33}^B S_{13}^A)] (P_1 P_4 - P_2 P_3)^{-1}$$

$$S_{12} = [(P_4 S_{21}^B - P_3 S_{31}^B) S_{12}^A + (P_1 S_{31}^B - P_2 S_{21}^B) S_{13}^A] (P_1 P_4 - P_2 P_3)^{-1}$$

$$S_{21} = [(P_4 S_{21}^A - P_3 S_{31}^A) S_{12}^A + (P_1 S_{31}^A - P_2 S_{21}^A) S_{13}^B] (P_1 P_4 - P_2 P_3)^{-1}$$

$$S_{22} = S_{11}^B + [(P_4 S_{21}^B - P_3 S_{31}^B)(S_{12}^B S_{22}^A + S_{32}^A S_{13}^B) + (P_1 S_{31}^B - P_2 S_{21}^B)(S_{12}^B S_{23}^A + S_{33}^A S_{13}^B)] (P_1 P_4 - P_2 P_3)^{-1}$$

где  $P_1 = 1 - S_{22}^A S_{22}^B - S_{23}^A S_{33}^B$ ;

$$P_2 = -S_{22}^A S_{23}^B - S_{23}^A S_{33}^B$$
;

$$P_3 = -S_{32}^A S_{22}^B - S_{33}^A S_{32}^B$$
;

$$P_4 = 1 - S_{32}^A S_{23}^B - S_{33}^A S_{33}^B$$
;

$S_{ij}^{A(B)}$  – элементы МР шестиполюсника А (В).

Двухканальный переключатель представляет собой шестиполюсник, образовавшийся от соединения шестиполюсника 2 и трех четырехполюсников 1,3,4 (рис. 4.) В случае синфазного двухканального переключателя шестиполюсник 2 представляет параллельное разветвление, а в случае противофазного – последовательное.

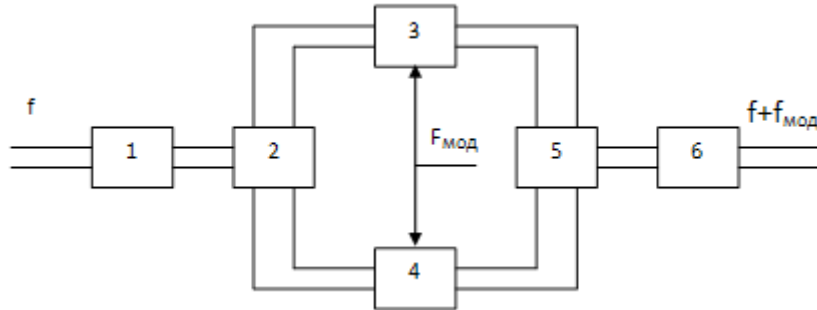


Рис. 4. Структурная схема дискретного фазовращателя

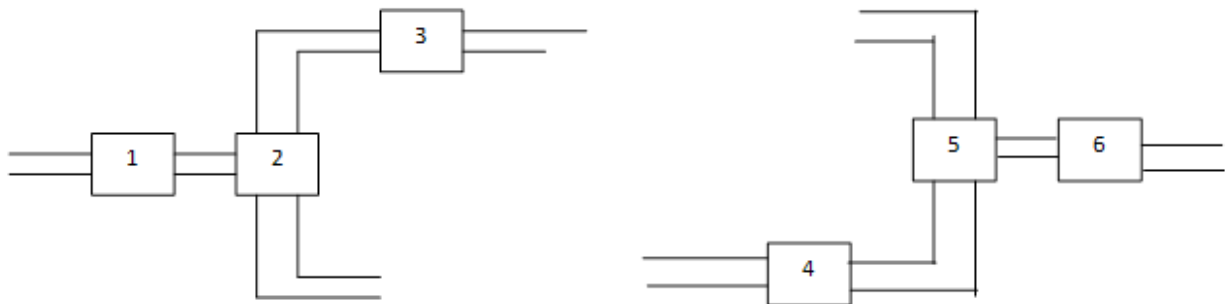


Рис. 5. Разбиение схемы на два шестиполюсника

Используя метод подсхем, найдем матрицу рассеяния структурной схемы двухканального переключателя [1]:

$$[S]^A = \begin{bmatrix} S_{11}^1 + \frac{S_{12}^1 S_{21}^1 S_{11}^2}{1 - S_{11}^a S_{22}^1} & \frac{S_{12}^1 S_{12}^a}{1 - S_{11}^a S_{22}^1} & \frac{S_{12}^1 S_{13}^a}{1 - S_{11}^a S_{22}^1} \\ \frac{S_{21}^1 S_{21}^a}{1 - S_{11}^a S_{22}^1} & S_{22}^a + \frac{S_{21}^a S_{12}^1 S_{22}^1}{1 - S_{11}^a S_{22}^1} & S_{23}^a + \frac{S_{21}^a S_{13}^1 S_{22}^1}{1 - S_{11}^a S_{22}^1} \\ \frac{S_{31}^a S_{21}^a}{1 - S_{11}^a S_{22}^1} & S_{32}^2 + \frac{S_{31}^a S_{12}^2 S_{22}^1}{1 - S_{11}^a S_{22}^1} & S_{33}^a + \frac{S_{31}^a S_{13}^1 S_{22}^1}{1 - S_{11}^a S_{22}^1} \end{bmatrix}$$

$$S^a = \begin{bmatrix} S_{11}^b + \frac{S_{13}^b S_{31}^b S_{11}^3}{1 - S_{11}^3 S_{33}^b} & S_{12}^b + \frac{S_{13}^b S_{32}^b S_{11}^3}{1 - S_{11}^3 S_{33}^b} & \frac{S_{13}^b S_{12}^3}{1 - S_{11}^3 S_{33}^b} \\ S_{21}^b + \frac{S_{23}^b S_{31}^b S_{11}^3}{1 - S_{11}^3 S_{33}^b} & S_{23}^b + \frac{S_{23}^b S_{32}^b S_{11}^3}{1 - S_{11}^3 S_{33}^b} & \frac{S_{23}^b S_{12}^3}{1 - S_{11}^3 S_{33}^b} \\ \frac{S_{31}^3 S_{31}^b}{1 - S_{11}^3 S_{33}^b} & \frac{S_{31}^3 S_{32}^b}{1 - S_{11}^3 S_{33}^b} & S_{22}^3 + \frac{S_{21}^3 S_{12}^3 S_{33}^b}{1 - S_{11}^3 S_{33}^b} \end{bmatrix}$$

$$S^b = \begin{bmatrix} S_{11}^2 S_{12}^2 S_{13}^2 \\ S_{21}^2 S_{22}^2 S_{23}^2 \\ S_{31}^2 S_{32}^2 S_{33}^2 \end{bmatrix} \quad [S]^B = \begin{bmatrix} S_{11}^1 + \frac{S_{12}^1 S_{21}^1 S_{11}^2}{1 - S_{11}^a S_{22}^1} & \frac{S_{12}^1 S_{12}^a}{1 - S_{11}^a S_{22}^1} & \frac{S_{12}^1 S_{13}^a}{1 - S_{11}^a S_{22}^1} \\ \frac{S_{21}^1 S_{21}^a}{1 - S_{11}^a S_{22}^1} & S_{22}^a + \frac{S_{21}^a S_{12}^1 S_{22}^1}{1 - S_{11}^a S_{22}^1} & S_{23}^a + \frac{S_{21}^a S_{13}^1 S_{22}^1}{1 - S_{11}^a S_{22}^1} \\ \frac{S_{31}^1 S_{21}^a}{1 - S_{11}^a S_{22}^1} & S_{32}^a + \frac{S_{31}^a S_{12}^1 S_{22}^1}{1 - S_{11}^a S_{22}^1} & S_{33}^a + \frac{S_{31}^a S_{13}^1 S_{22}^1}{1 - S_{11}^a S_{22}^1} \end{bmatrix}$$

$$S^c = \begin{bmatrix} S_{11}^d S_{12}^d S_{13}^d \\ S_{21}^d S_{22}^d S_{23}^d \\ S_{31}^d S_{32}^d S_{33}^d \end{bmatrix} \quad S^d = \begin{bmatrix} S_{11}^2 + \frac{S_{12}^2 S_{21}^2 S_{11}^4}{1 - S_{11}^4 S_{22}^2} & \frac{S_{12}^2 S_{12}^4}{1 - S_{11}^4 S_{22}^2} & S_{13}^2 + \frac{S_{12}^2 S_{23}^2 S_{11}^4}{1 - S_{11}^4 S_{22}^2} \\ \frac{S_{21}^4 S_{31}^2}{1 - S_{11}^4 S_{22}^2} & S_{22}^4 + \frac{S_{21}^4 S_{12}^2 S_{22}^2}{1 - S_{11}^4 S_{22}^2} & \frac{S_{21}^4 S_{23}^2}{1 - S_{11}^4 S_{22}^2} \\ S_{31}^2 + \frac{S_{31}^2 S_{21}^2 S_{11}^4}{1 - S_{11}^4 S_{22}^2} & \frac{S_{32}^2 S_{12}^4}{1 - S_{11}^4 S_{22}^2} & S_{33}^2 + \frac{S_{32}^2 S_{23}^2 S_{11}^4}{1 - S_{11}^4 S_{22}^2} \end{bmatrix}$$

Шестиполюсник 2 представляет собой Т-образное соединение в плоскости Н (параллельная цепь) описывается матрицей:

$$[S]_{нар} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \end{bmatrix}$$

Шестиполюсник 5 (последовательная цепь) описывается матрицей:

$$[S]_{noc} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix}$$

Таким образом, разработанный алгоритм расчета матрицы рассеяния позволяет построить фазовращатели с высокой точностью фазового сдвига и низким уровнем паразитной амплитудной модуляции. Имеющиеся в опыте погрешности в фазовом сдвиге и паразитной амплитудной модуляции объясняются рядом причин – разбросом параметров диодов, смещением установки диодов, конструктивно – технологическими погрешностями линий передач и т.д.

Литература:

1. Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2' том, 1999. У.А. Абдулаева, А.Р. Тагилаев. Принципы построения высокочастотных широкополосных высокоточных многодисcretных фазовращателей, с. 50.
2. К.А. Гупта, Р. Гардж, Р. Чадха. Машинное проектирование СВЧ устройств. – М.: радио и связь, 1987 г.
3. Ж. Будурис, П. Шеневье. Цепи сверхвысоких частот. – М.: Советское радио, 1979 г.

## Мероприятия, повышающие эффективность проветривания панели калийного рудника при прямом порядке отработки

Николаев Александр Викторович, кандидат технических наук, старший преподаватель  
Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Отработка панелей калийных рудников осуществляется двумя способами: от конца панели к ее началу — обратный и от начала панели к ее концу — прямой порядок отработки.

С точки зрения вентиляции, обратный порядок отработки панели имеет существенное преимущество по отношению к прямому, пояснить которое можно на примере, приведенном на рис. 1.

При обратном порядке отработки панели воздух из главного транспортного штрека 1 подается в панельный транспортный штрек 2. Омывая рабочие камеры 4, отработанный воздух через панельные вентиляционные штреки 3 удаляется в главный вентиляционный штрек 6. Часть свежего воздуха подается в панельный конвейерный штрек 5 (рис. 1, а). Учитывая то, что направление движения воздуха будет определяться аэродинамическим сопротивлением, которое необходимо преодолеть шахтной депрессии на участке панели, схема, приведенная на рис. 1, а, является наиболее эффективной. Связано это с тем, что путь движения воздуха т.1 — т.2 — т.4 (т.5) — т.6 (т.7) будет иметь меньшее аэродинамическое сопротивление, чем участок т.1 — т.3 — т.6 (т.7), т.е. большая часть воздуха должна проходить через обрабатываемые камеры. По мере приближения фронта очистных работ к началу панели, путь движения воздуха, а, следовательно, и аэродинамическое сопротивление участка, будет уменьшаться.

При прямом порядке отработки, воздух в панель также подается из главного транспортного штрека 1 в панельный

транспортный штрек 2 и панельный конвейерный штрек 5 (рис. 1, б). Омывая обрабатываемые камеры 4, воздух через панельный вентиляционный штрек 3 удаляется в главный вентиляционный штрек 6. Для того, чтобы воздух не удалялся в панельные вентиляционные штреки 3 напрямую через отработанные камеры 8, в них устанавливаются вентиляционные перемычки 7.

Существующие вентиляционные перемычки не способны полностью герметизировать отработанные камеры длительное время, и поэтому через них будут наблюдаться утечки воздуха. По величине возникающие утечки воздуха будут иметь небольшое значение, однако, учитывая, что отработанных камер может быть 100 и более, суммарный объем утечек также будет увеличиваться. Также возведение перемычек в отработанных камерах связано с материальными затратами.

Для исключения возможности возникновения подобной ситуации в панелях, обрабатываемых прямым ходом, в работе [1] была предложена схема проветривания, приведенная на рис. 2.

При подобной схеме отработки панель разбивается на блоки разрезными камерами как показано на рис. 2. Отработка панели ведется от начала панели. Отличие данной схемы заключается в том, что ограждать необходимо не каждую камеру, а отработанный участок в вентиляционном штреке. В этом случае возникновение утечек воздуха практически исключается. Для изолирования отработанного участка в вентиляционном штреке необхо-

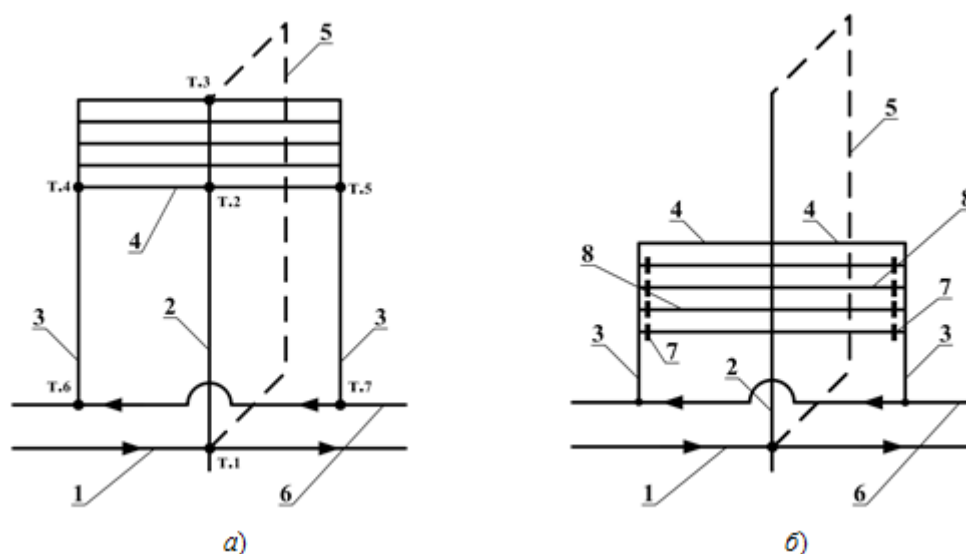


Рис. 1. Упрощенные схемы проветривания панелей при обратном (а) и прямом (б) ходе отработки

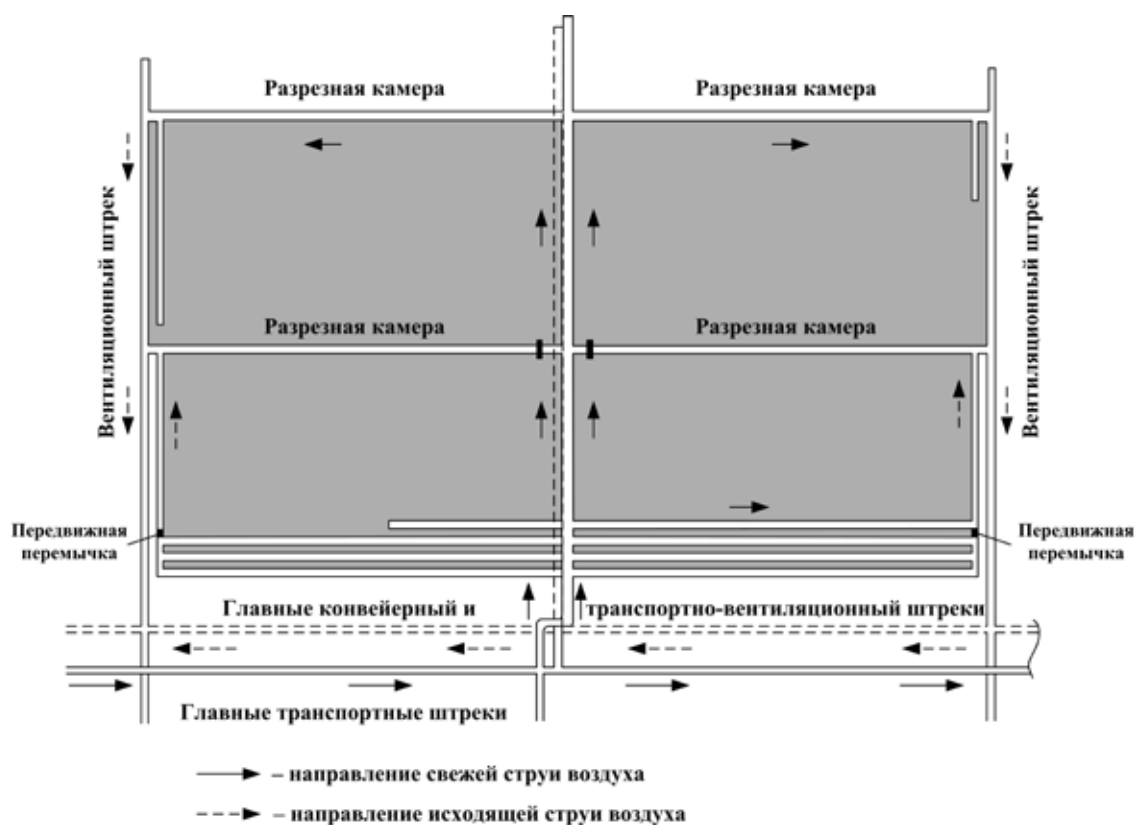


Рис. 2. Схема подготовки и обработки панели, расположенной по восстанию пласта

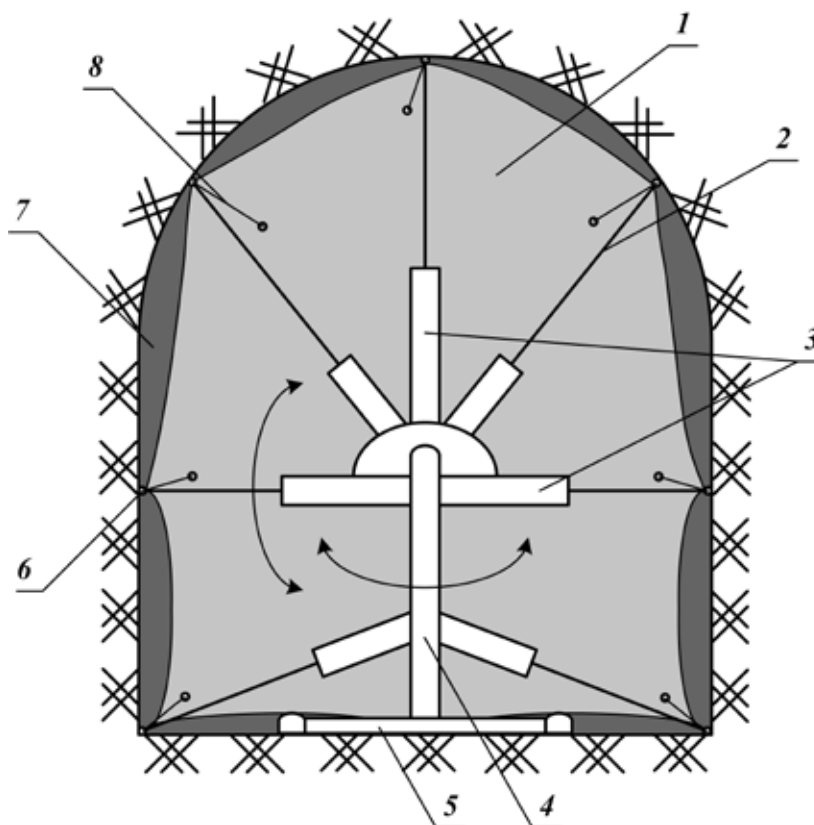


Рис. 3. Шахтная передвижная вентиляционная перегородка

1 – полотно; 2 – телескопические упоры; 3 – вращающиеся мачты; 4 – армирующий каркас; 5 – салазки; 6 – крепежные кольца; 7 – пневмоулавки; 8 – застежки



димо предусмотреть передвижную перемычку, которая будет перемещаться к разрезной камере блока.

В качестве передвижной вентиляционной перемычки можно использовать устройство [2], принцип работы которой следующий.

Перемычка устанавливается в отработанном участке вентиляционного штрэка. В месте установки перемычки, мачты 3 разворачиваются по периметру выработки и упираются в стенки и кровлю выработки раздвигающимися телескопическими упорами 2 (рис. 3). Через крепежные кольца 6 телескопических упоров 2 протягиваются застежки 8 и натягивается полотно 1, перекрывающее основную часть выработки. После закрепления полотна 1 во вшитый по его периметру пневморукав 7 подается сжатый воздух. При закачке сжатого воздуха пневморукав 7 раздувается и принимает форму выработки, надежно изолируя ее от утечек воздуха. Количество закачиваемого

воздуха ограничивают только объемом пневморукава для принятия им необходимой формы и поддержания требуемого давления. Использование эластичного пневморукава, за счет изменения давления, позволит эффективно использовать перемычку при различных неровностях стенок, кровли и почвы выработки.

Для перемещения перемычки в другое место необходимо выпустить воздух из пневморукава. Сложить вращающиеся мачты, расположенные в верхней части каркаса, повернуть армирующий каркас вокруг своей оси и доставить перемычку к новому месту установки на лыжных салазках (лыжероллерах) 5 (рис. 2).

Применение описанного способа проветривания и предлагаемой шахтной передвижной вентиляционной перемычки позволит значительно увеличить эффективность проветривания панелей, обрабатываемых прямым ходом.

#### Литература:

1. Подготовка исходных данных для проектирования вентиляционной системы рудника Дехканабадского завода калийных удобрений: отчет об исследовательской работе (выполненной услуге). – Пермь, 2008. – 100 с.
2. Патент №RU 116575 U1. Шахтная вентиляционная перемычка / Николаев А.В., Алыменко Н.И., Николаев В.А. – Оpubл. 27.05.2012.

## Научные рекомендации по возрождению садов Чор-баг

Садыкова Ситора-бану Нематджановна, соискатель

Самаркандский государственный архитектурно-строительный институт имени Улугбека (Узбекистан)

*Статья освещает основные методы проектирования сада «Чор-баг». Базируясь на исторических фактах и методах разбивки древних садов, статья даёт архитекторам, ландшафтным дизайнерам озеленителям четкие методологические рекомендации по проектированию традиционного сада.*

*This article throws light on paradise garden philosophy, describes basic methods of designing the Chor bagh gardens. Being based on historical returns and ancient authors' methods, this article gives to architects and landscape designers the bright methodological recommendations how to plan and design this traditional gardens.*

*«Невозможно осознать себя без знания правдивой истории... С чего необходимо начать создание правдивой истории? Прежде всего, необходимо определить целостную концепцию, то есть программу исследований нашего тысячелетнего богатого прошлого...» [1].*

Психологическими исследованиями установлено важное значение, для здоровья и самочувствия людей, баланс между стимулами и чувствами. В городской жизни перегружаются чувства зрения и слуха, тогда как чувства обоняния и осязания стимулируются не достаточно. Современные парки культуры и отдыха, нацеленные на общественную духовную жизнь, не достаточно служат внутренним человеческим запросам, единенности и созерцания. Тогда как упорядоченная планировка сада «Чор-баг» изолированная от внешнего мира забором или живой изгородью, вместе с цветущими дере-

вьями цветами и струящейся водой, доставляют удовольствие, вызывают восторг и приятное впечатление для глаз. По такому принципу было распланировано большинство садов Тимуридов в Самарканде, Герате (XIV–XV вв.), сады Сафавидского Ирана (XVI–XVII вв.) и Бабуридов в Северной Индии (XVI–XVII вв.), сады Арабского Халифата в Сирии, Марокко, Южной Испании, Турции в VIII–XIII вв. Однако, в настоящее время в ландшафтной архитектуре Узбекистана, да и всей Средней Азии в полной мере не известны все аспекты паркостроения в стиле «Чор-баг».

В этой связи, для удовлетворения различных запросов населения, возникает потребность в возрождении традиционных садов «Чор-баг» для уединения с природой, медитации и покоя, в особенности при необходимости зеленого окружения исторических памятников, мавзолеев, мечетей, а также созданию национальных парков.

Сочетание комплекса климатических факторов (температура, солнечная радиация, относительная влажность воздуха, скорость его движения, количество осадков), совместно с особенностями ландшафта создают различные условия внешней среды, что должно учитываться при выборе участка пригодного для закладки сада «Чор-баг», его архитектурно-планировочного решения и подбора ассортимента растительности.

Наряду с этим, кроме вышеприведенных природно-климатических характеристик, должно учитываться следующее:

1. Санитарно-гигиеническое состояние и эстетическая ценность ландшафтной территории;
2. Наличие достаточного количества воды для полива растительности;
3. Почвенно-геологические условия для произрастания лесов и садов;
4. Пешеходная и транспортная доступность для городского населения.

По результатам вышеуказанных факторов, на территории Республики выделяются три зоны, влияющие на формирование «Чор-багов».

*I зона — неблагоприятные условия.* Преобладают факторы ограничивающие закладку садов «Чор-баг» — высокая температура летом, засушливость, отсутствие лесных массивов и водных поверхностей. К этой зоне относятся, в основном, пустынные регионы, на отметке 200–300 м над уровнем моря.

*II зона — ограниченные природные условия.* Включает оазисы пустынь и низких предгорных равнин на отметке от 400 до 700 м над уровнем моря. Здесь размещается преобладающая часть городов Узбекистана. От неблагоприятного воздействия внешней среды необходимо ограждение сада с помощью стен или высоких деревьев — обычно хвойных, поскольку они могут выстоять при ветре и отсутствии достаточной воды. В городских условиях этот принцип защиты от неблагоприятной окружающей среды, выразились в традиционных «гузарах» Самарканда, Бухары, Хивы, Шахрисябза, где сады с дворами формировались огороженными от шумных, загрязненных, загруженных транспортом и людскими потоками улиц жилыми и вспомогательными постройками. При общих благоприятных условиях имеется ряд факторов приводящих к дополнительным затратам: жаркий климат требует искусственного регулирования климата (кондиционирование воздуха в зданиях) привлечение искусственного орошения, высокая себестоимость земли.

*III зона — благоприятные природно-климатические условия* в сочетании с наилучшими факторами способствующими созданию садов «Чор-баг». Наличие

достаточного количества проточной воды, красивый ландшафт, беспрепятственный контакт интерьерера дворца с садом, удобная транспортная связь с городом. Эта зона охватывает относительно малоосвоенные участки предгорий и гор с высотой от 1500 до 2300 метров над уровнем моря.

### **Выбор участка и планировочная организация сада «Чор-баг»**

Прежде чем приступить к проектированию традиционного сада «Чор-баг», тщательно изучается и анализируется территория, с учетом положения участка по отношению к сторонам света, почвы, наличие воды для полива, окружающей среды, а также к какой зоне относится этот участок и вытекающие из этого требования (рис. 1).

*Основными принципами стиля садов «Чорбаг»* являются порядок, пропорции, гармония и единство, служащие основой для дизайна, для практического, технического и эстетического решения, где польза, красота и символические формы тесно связаны между собой. Различные составляющие сада «Чор-баг» — вода, растения, архитектура и их планировочное решение объединяются *Концепцией «Единства»*, (принцип, на котором покоятся все исламское искусство, архитектура и садовый дизайн), которая служит основой создания гармоничной композиции, предающей саду особый созерцательный характер. Решающее значение при проектировании традиционного сада «Чор-баг» имеет точный геометрический рисунок основного плана, где не должно быть извилистых дорожек, а достижению разнообразия служат пластические элементы природы в форме листьев растений и цветов.

Единство проявляется через порядок и гармонию между геометрическим планом и посадками растений, водоёмами и архитектурой. Для этого при проектировании сада, как в период наивысшего расцвета садового искусства и архитектуры Восточного Возрождения — Ренессанса Тимуридов (XIV-XVI), должно быть реализовано понятие симметрии, баланса, гармонии и пропорции. *«Так по Аль-Канди, Аль-Фараби и Авиценне, (IV-X вв.), определенный пропорциональный строй в соразмерности и соответствии частей и целого, подобие фигур, уравновешенность масс, все это самым теснейшим образом было связано с понятием гармонии»* [2]. Гармония в архитектуре средних веков, включая садовое — это симметричные, центричные композиции, это равновесие, строгое соподчинение целого и всех элементов [4]. Этого можно добиться выделением главной оси композиции «Чор-бага» и пропорциональным делением территории, используя повторяющийся модуль, возможно через «динамичный квадрат», образуя квадратные или прямоугольные участки «Чор-чаманы» для зеленых насаждений, водоемов, дорожек, аллей. Центральный бассейн или фонтан с четырьмя водными каналами, идущие от центра к периметру стен может служить исходной основой планировки сада. Определяя



Рис. 1. Планировочная организация сада Чор-баг

размеры сада, следует отдавать предпочтение квадратному или прямоугольному в плане участкам с соотношением сторон 1,0x1,0; 200x200; 100x150; 100x200; 100x250; 300x300; 1,5 или, 2,5. А при длинном и узком участке сада (например, при жилом доме или офисе: 10,0 x 20,0 м), для достижения хороших пропорций следует разделить сад на три равных участка, в соответствии с пропорциональным прямоугольником. Большие сады размерами 1000x1000; 1000x1500; 1000x2000м могут состоять из стилистически единых, композиционно объединенных, вышеперечисленных параметров.

Таинственность — эффект неожиданного раскрытия — планировка сада, подобно исламскому дому или мечети, имеет типичную черту, состоящую в использовании затемненной входной группы с кривой осью, защищающей личные покои, жизнь обитателей от постороннего взгляда. При движении во внутрь, у посетителя появляется чувство предвкушения, которое приводит его к льющему свету и красоте сада, которая неожиданно открывается перед ним. Использованием эффекта неожиданного раскрытия усиливается эмоциональное воздействие сада, обнесение сада стенами обеспечивает защиту и уединение обитателей от внешнего мира. Поэтому традиционный сад «Чор-баг» трактуется скрытым, таинственным, как «райский сад», называемый «Джанат аль Фирдаус», упомянутый в Коране (VII в.н. э.), который был символическим примером для садоводов средневековья.

Основы озеленения сада «Чор-баг», где центральное место отводится воде, тени и созерцательности, формировались со ссылкой на упомянутые в Коране травы

и цветы, списка растений ботаников Ибн Вафид (1075 г.), Ибн Бассала (1080 г.), Ибн Ал-Аввала (1180 г.), отца арабской ботаники Абу Ханиф ад Динавари (820—895гг.) Ибн ал Бай-Тар (1248 г.), а так же в земледельческом трактате «Иршад-аз Зир’а» написанного в Герате 1515—16 г.

Анализ вышеприведенных источников и сохранившихся парков дают основания рекомендовать следующий принцип зеленого строительства, где традиционные сады «Чор-баг», кроме тех, которые выращивались в составе мавзолеев-усыпальниц, состояли как из плодовых, так и из декоративных деревьев.

**Плодоносящие деревья:** абрикос (*Prunus armenica*), слива (*Prunus domestica*), вишня (*Prunus cerasus*), чернослив (*Prunus damascena*), айва (*Chaenomeles*), груша (*Prunus communis*), яблоня (*Malus app*), грецкий орех (*Mespilus germanica*), тутовое дерево (*Fugkas regia*), персик (*Prunus persica*), фисташковое дерево (*Pistacia vera*), хурма, гранат (*Punica granata*). За многие столетия выведены их новые селекционные сорта. Цитрусовые деревья лимон, мандарин, грейпфрут, являются существенной составляющей традиционного сада «Чор-баг». Однако, в прохладном климате районов Узбекистана они растут только в контейнерах, чтобы зимой их можно было переносить в теплые помещения. К ним относится апельсин (*citrus sinensis*). Но вид апельсина каломандин (*calamondin Citro fortunetta microcord*) переносит холод до  $-7^{\circ}\text{C}$ .

**Из декоративных деревьев** наиболее распространено и часто изображается в миниатюрах восточный чинар

## ДЕКОРАТИВНЫЕ ДЕРЕВЬЯ:



Кипарис (Cupressus) Дуб (Quercus) Клен (Acer) Можжевельник (Juniperus) Ясень (Fraxinus) Тополь (Populus) Ива (Salix) Чинар (Platanus)

## ПЛОДОВЫЕ ДЕРЕВЬЯ:



Урюк (Prunus) Груша (Pyrus) Персик (Prunus persica) Яблоня (Malus) Гранат (Punica) Слива (Prunus) Вишня (Cerasus) Хурма (Diospyros) Орех грецкий (Juglans regia) Айва (Cydonia) Инжир (Ficus carica L.)

## КУСТАРНИКИ:



Ракитник (Cytisus) Самшит (Buxus) Гардения (Gardenia) Шиповник (Rosa) Японская айва (Chaenomeles) Сирень (Syringa) Олеандр (Nerium) Мирт (Myrtus) Лаванда (Lavandula) Гибискус (Hibiscus) Тис (Taxus)

## ЦВЕТЫ:



Гвоздика (Dianthus) Гиацинт (Hyacinthus) Анемона (Anemone) Ирис (Iris) Мак (Papaver) Ромашка (Matricaria) Розмарин (Rosmarinus) Мята (Mentha) Райхан (Piperita) Тимьян (Thymus) Шафран (Crocus sativus) Пион (Paeonia)

Рис. 2. Озеленение садов в стиле «Чор-баг»

(Platanus orientalis), кипарис (Cupressus sempervirens), тополь (Populus alba), белый тополь – Сафидори Самарканди, красный клен (Acer rubrum), а так же акация линкоранская. Если чинар дает прекрасную тень, а клен осенью великолепную темную окраску, то кипарис, со своим станом, дает отдых глазу и радость душе. Кипарис следует сажать так, чтобы он имел собственное пространство и чувствовалась его уместность, производил желаемое впечатление элегантности, стройности и благородства. Кипарисовые аллеи подчеркивают строгую планировку сада и, вместе с проточными водными каналами, создают дух сада «Чор-баг». Заменителем кипариса служат можжевельник (Juniperus communis или Pyramidalis) и стройный кедр (Jusense). Эти вечнозеленые, колоннообразные, хвойные деревья, при условии правильной посадки, стрижки и обеспеченности водой, будут хорошо интегрироваться с «Чор-багом». Посаженные вместе кипарисы, в контрасте с размашистыми тонкими ветвями розового миндаля или серебряной цветущей груши, будут символизировать жизнь и надежду. Стойкими деревьями является ясень (*Fraxinus excelsior*), дуб каменный (*Quercus ilex*), пробковый дуб (*Quercus guber*), вяз (*specis ulmus*). Хвойные породы – зонтичная сосна (*Pinus pinca*). (Рис. 2)

**Декоративные кусты** могут быть посажены в виде изгороди, усиливая, совместно с водными каналами геометрию планировки сада, его симметрию. Олеандр

(*nerium oleander*), темно – красный гибискус (*Hibiscus rosa*), Плюмбаго (*Pleumbago auriculata*), Гардения (*Gardenia jasminoides*) – все эти кусты могут создать атмосферу восточного колорита. Персидская сирень (бусинковое дерево) или китайская ягода (*Melia azedarach*) – это большой куст, который любит солнце, а весной у него цветут пахучие звездообразные бледно-сиреневые цветы. Популярны лаванда (*Convolvulus cneorum*) с желтыми, в центре белыми цветами и хлопковая лаванда (*Santolina cbamoec yparissus tencriump uticfnis*) с голубыми цветами, которые появляются в течение всего лета. Другие полезные кусты, подчеркивающие симметрию и геометрию, это Можжевельник (*Buxus sempervirens*), Бересклет (*Euonymus или buonymus jononicus Vaccarphullus*) и душистое лавровое дерево (*Laurus nobilis*). Строгую изгородь можно разнообразить Тисом (*Taxus baccata*) или Брючиной (*Ligustrum*), листья которой осень приобретают красноватый цвет. Подобно тому, как в традиционном саду «Чор-баг» не должно быть статуй людей и животных, фигурная стрижка кустов должна быть ограничена созданием геометрических узоров или форм. (Рис. 2)

**Цветы и травы.** Поскольку идея «Чор-бага» вытекает из противопоставления экстремальной наружной среде, создания оазиса для отдыха среди прохлады, тени зелени и проточной воды, включение «дикого сада» полностью чуждо концепции озеленения «Чор-бага».



Рис. 3. Символические аспекты растительной композиции

Поэтому растения пустыни, такие как Кактусы (*kaktus*), Опуния (*opuntia*), Агава (*agave*) и другие растения с шипами и колючками, вряд ли будут уместны. (Рис. 2)

В традиционных среднеазиатских садах «Чор-баг» цветы подбирались с учетом непрерывности цветения: одни отцветали, другие начинали цветение. Поэтому выбирая их для сада нужно помнить о периодах их роста и цветения.

В жарких климатических условиях Узбекистана, с обжигающей зноем почвой, лето для садоводства, за исключением редких цветов, является сонным периодом, тогда как весной и осенью наступает огромное разнообразие и продолжительный период цветения: роз, тюльпанов, гвоздик, гиацинтов, жасмин, нарциссов, фиалок, изобилие акации, анемон, лилии, ирис, мак, ромашек, олеандр, розмарин (*Rosmarinus officinalis fuscans blue*), лаванда (*lavandula*). Из трав широко распространились: мята, райхан, майоран, тимьян и шафран, желтофиоли (*chberantbus*, по-арабски хайри), дельфиниум (*Delpbinium elatum*), сладкий горох, фиалковый цветок (*Latburus odoratus*).

Любовь к цветам выражалась и в архитектуре сада. Они изображались в виде растительного орнамента «ислими» или «руми», которые уравнивали геометрические формы, служили одним из средств гармонизации зелени, архитектуры и садовых павильонов.

Э.Кларк отмечает: «Растительный орнамент в исламском искусстве выражает природу не в конкретной реалистической форме, он не идентифицируется на конкретном виде растения или цветка, а избегая натурализма, обхватывают благоухающую сущность» [6].

Средневековые поэты считали фиалку олицетворением застенчивости, мак – символом вечной жизни, на-

рцисс – выражением томления, кипарис – вечностью, клевер – вуалью Божьей милости, розу – неверностью, а гибискус который в теплом климате цвел круглый год – постоянством. (Рис. 3)

**Посадка.** Как отмечалось ранее, в «Чор-баге» важнейшим элементом является вода и строгая планировка геометрического плана. Однако, последнее не должно излишне распространяться на посадку растений. В противном случае сад будет выглядеть заорганизованным. Не ставя задачу точного копирования посадок древних «Чор-багов», мы должны стремиться повторить его атмосферу созерцательности, спокойствия, концентрации на красоте природы.

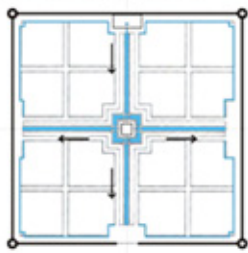
Различия в температурно-влажностном режиме районе при изменении высоты местности отдельных регионов Узбекистана повлияют на подбор и рассадку ассортимента растительности. Так в некоторых регионах юга республики (Термез, Сурхандарья), если сад ориентирован на юго-восток и закрыт от холодных северных ветров, есть шанс произрастания некоторых теплолюбивых кустов и деревьев без обязательного переноса их на зиму в дом. Только путем проб и ошибок определяются оптимальные условия выращивания различных растений.

**Дорожки.** В традиционном саде «Чор-баг» прямые дорожки совместно с каналами являются составной частью порядка и геометрии плана, обеспечивая четвертную планировку. По классическому традиционному канону, криволинейные, изгибающиеся, а также органической формы дорожки не свойственны садам «Чор-баг». Для мощения дорожек, отдается предпочтение камню, обожженному кирпичу, булыжнику, терракотовой черепице или керамическим плиткам, уложенным в геометрическом узоре. Возможно применение современных

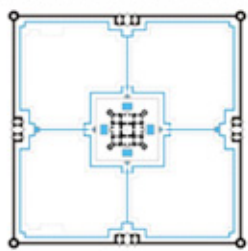
**ПЛАНИРОВОЧНОЕ РЕШЕНИЕ:**

**а) на горизонтальной площадке**

Вода поступает в павильон Арамгах откуда распределяется по саду.



Водное устройство в мемориальных садах.

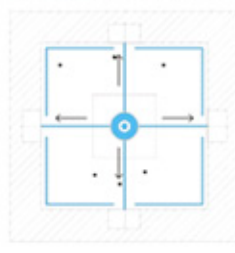


**Требования:**

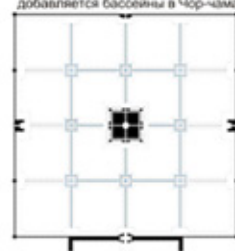
1. Центральный бассейн с отходящими от него четырьмя водными каналами идущие из центра к периметру определяет садовые участки.
2. Вода должна иметь активацию - движения - покоя - движения и соответственно сужение - расширения - сужение водных каналов.
3. Отдается предпочтение квадратному, прямоугольному, восьмиугольному очертанию форм бассейнов.
4. На перепадах рельефа сада используется резные каменные плиты Чадар, Салсбил, Чинни хана, которые журча, извиваясь создают узоры падающей воды.
5. Бурные потоки водопада создающий беспокоеное зрелище а также криволинейные формы бассейнов не уместны в саду Чор-баг.

**б) Сад с периметральной застройкой**

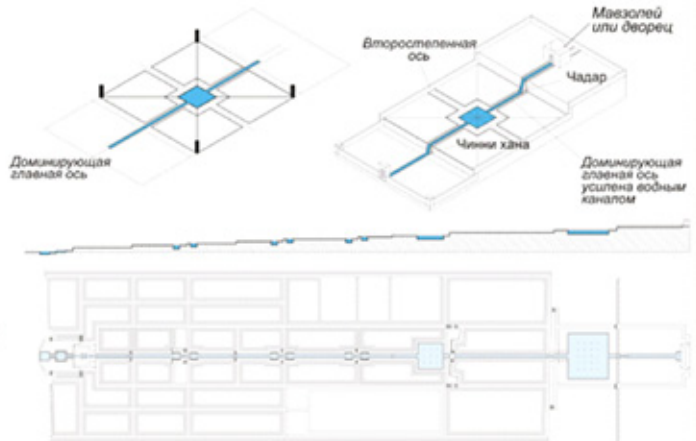
Вода поступает в центральный бассейн откуда распределяется во все 4 стороны



К главным водным артериям могут добавляться бассейны в Чор-чаннах



**б) на рельефе**



Вода, кроме полива растений и улучшения микроклимата имеет свойство очищения, создание чувства покоя, созерцательности. Проточная вода с мягкой, пузырящейся струей с бормочущими звуками, извивающегося, тихо журчащего потока, создает равновесие между строгостью геометрии сада, растениями и цветами. Композиционным центром сада служит водный канал с бассейном на их пересечении. Целесообразные прямые линии системы орошения, формы бассейнов. Исключаются их криволинейные очертания. Решетчатая планировка сада и ирригации совпадает. Форма бассейнов—круглая, квадратная, прямоугольная, восьми-угольная.



**Рис. 4. Концепция водных устройств**

материалов, имитированных под цвет кирпича, терракоты, уложенной так же геометрическими узорами.

Необходимо обратить внимание на три условия: *во-первых*, материал не должен противоречить окружающей архитектуре; *во-вторых*, надо отдавать предпочтение природным материалам; *в-третьих* — материалы своим геометрическим рисунком должны быть художественно увязаны со структурным ландшафтом сада.

С точки зрения дизайна использование только двух или трех твердых материалов и исключение перегруженности деталями, будет соответствовать порядку и красоте традиционного «Чор-бага».

Природные материалы практичны, имеют древнюю трепетно вдохновляющую ауру. Со временем камень, терракота, булыжник приобретают приятную патину. Мастерство ремесленника, вложившего в свою работу одухотворенность, служит облагораживанию материи и в целом сада.

В зависимости от бюджета и геометрии плана, могут быть применены варианты: кирпич с булыжником, кирпич с инкрустированным мрамором одного или двух цветов, природная брусчатка.

**Концепция водных устройств.** Несомненно, вода — важнейший элемент традиционного сада «Чор-баг», как в практическом, так и в символическом аспекте. Проточная вода имеет свойство улучшать микроклимат, воздух

около него более чист и прохладен, а звуки воды в фонтанах, каскадах и стремнинах каналов успокаивает сознание. (Рис. 4)

В жарких условиях, в т.ч. Узбекистане, водоёмы и фонтаны были и остаются показателем уровня культуры. Кроме практической необходимости, красоты и таинственности, символическое значения воды в условиях жаркого климата приобрело значение дара Всевышнего, как средство физического и духовного очищения. Наиболее эффективной формой ирригации являются прямые каналы, не обсаженные насаждениями. Каждый «Чор-баг» разбивается симметрично вокруг центрального бассейна; четыре вспомогательных канала (арыка) несут воду в каждую четверть сада, а затем к каждому дереву. При устройстве фонтана необходимо обеспечить напор воды, чтобы она всегда переливалась через край. Использование воды вне контекста сада, как средство демонстрации технических достижений (бурные потоки водопада, фонтана, создающие беспокоеное зрелище) не уместны.

Как в саду Шалимар в городе Лахор, необходимо добиться баланса между покоем и движением воды с одной стороны, гармонии между водой, архитектурой и ландшафтом с другой. Секрет красоты сада «Чор-баг» состоит не только в самой воде, но и в том, что бассейны, как и садовые павильоны должны иметь «человеческий масштаб», сдержанный дизайн (например: низкий резной



Рис. 5. Типы водных устройств

бассейн из белого мрамора  $d=1.5-2.0$  м). Прием мягко струящейся, пузырчатой волной, бьет из лotosового бутона в центре фонтана, рождая успокаивающие звуки.

Форма бассейна зависит от дизайна сада, его размера и местоположения, и должна основываться на упорядоченных прямых линиях, иметь правильные (двенадцати-, восьми-, четырехгранные или круглые) очертания.

При установке фонтана следует учесть ориентацию его по сторонам света, где разместиться насос и резервуар, как вода после бассейна будет использоваться для полива растений и пр. Для обеспечения протока воды в водных каналах, следует обеспечить должный уклон, а бассейн для стока воды несколько приподнять над уровнем земли.

Практикуются следующие приемы и устройства для перемещения воды, превращения ее в струи, капли, пузырьки, для того чтобы она журчала, извивалась, падала образуя узоры (Рис. 5):

**Чадар** — каменная резная плита с геометрическими узорами, инкрустированная мрамором, по которому растекается вода, падая на низлежащий бассейн, где солнечный свет, отражаясь в водных, сложных узорах создает завораживающее впечатление. В террасных садах

каждый уровень может быть соединен Чадарами. При отсутствии естественных склонов альтернативой могут быть «шадирваны» — резная плита с небольшим уклоном;

**Саласабил** — настенный фонтан, где резная каменная плита увеличивает площадь проточной воды и коэффициент испарения воздуха поступающего из заложённых вентиляционных шахт;

**Чинни-хана** — несколько маленьких ниш, вырезанных рядами на каменной плите находящейся за водопадом. Ночью в каждой нише могут размещаться свечи или масляные лампы с мерцающим светом, просвечивающие сквозь завесу падающей воды, создавая романтический эффект;

**Чабутра** — мраморная платформа у края или в центре бассейна, служит для уединенного отдыха или медитации. У сидящего на ней возникает впечатление, что он полностью окружен и плывет над водой.

Возрождение садов «Чор-баг» в ландшафтной архитектуре Узбекистана будет способствовать восстановлению региональных стереотипов архитектуры Узбекистана, с которой наши предки — Тимуриды внесли большой вклад в мировое садово-парковое искусство.

Литература:

1. Президент Республики Узбекистан И.А. Каримов. Без исторической памяти нет будущего. Журнал «Мулоқот». — №5, 1998 г.
2. Булатов М.С. Геометрическая гармонизация в архитектуре Средней Азии IX—XVI в. — М.: Изд. Наука, 1978 г.
3. Гутнов А.Т., Лежава И.Г. «Будущие города» М. 1977
4. Горохов В.А., Л.Б. Лунц. Сады мира — М.: Стройиздат, 1985. — 328, 24 с.
5. Коран, перевод И.Ю. Крачковского — М.:Вектор СП, 1991 г.
6. Кларк Э. Искусство исламского сада/ пер. с англ. — М.: Изд. «Ниола пресс». — 2008. 208 с.
7. Пугаченкова Г.А. «Садово-парковое искусство Средней Азии в эпоху Тимура и Тимуридов». Труды САГУ, вып. XXIII 1951. Вып.23, Гуманитарные науки, КНБ
8. Sajjad Kausar, Michel Brand, James L. Wescoat Jr. «Shalimar garden Lahor», 1990.
9. Уралова А.С. — «Ўрта Осиё анъанавий «Чор-боғ» услуби ва замонавий боғ-парк санъати».
10. Яралов Ю.С. «Теоретические основы советской архитектуры» М. Стройиздат 1984, с. 223

## Исследование рационального использования соломенной биомассы с целью уменьшения техногенной нагрузки

Семирненко Светлана Леонидовна, старший преподаватель  
Сумский национальный аграрный университет (Украина)

*В статье представлены исследования по целесообразности использования в качестве биотоплива соломы озимой пшеницы и внесения образованной золы как удобрения в почву с целью уменьшения вредного влияния на окружающую среду.*

## Research of the rational use of straw biomass with purpose of diminishing of technogenic loading

Semirnenko S.L.

*In the articles presented of research on expedience of the use in quality of biopropellant of straw of winter wheat and bringing of well-educated ash as fertilizers in soil with the purpose of diminishing of harmful influence on an environment.*

Исходя из мирового опыта и концепции развития биоэнергетики в Украине, в статье приводятся исследования по уменьшению техногенной нагрузки за счет использования в качестве топлива соломы и внесения в качестве удобрений образовавшейся золы, а также выбор соломы конкретной культуры для уменьшения внешних отложений на поверхностях нагрева котлов.

Постановка проблемы в общем виде. Высокие цены, которые сохраняются на традиционные энергоносители и усиленные требования к охране окружающей среды обуславливают повышенный интерес производителей и потребителей тепловой и электрической энергии к использованию в качестве топлива возобновляемых источников энергии, в частности, сельскохозяйственной биомассы. Поэтому увеличение использования сельскохозяйственных растительных отходов в энергетических целях приведет к росту объемов золы, а, следовательно, к проблемам загрязнения внешних поверхностей нагрева соло-

мосжигающих котлов и проблемам с утилизацией золы. То есть, экологически чистое топливо будет уменьшать вредные выбросы, в то же время будет происходить накопление золы от сжигания данного топлива, которое может составлять экологическую опасность. Кроме того, использование соломы некоторых культур будет способствовать увеличению внешних отложений на поверхностях нагрева котлов, что негативно скажется на их работе и может способствовать увеличению вредных выбросов.

Анализ последних исследований и публикаций. Решение данной проблемы освещалось в ряде работ [1,2,3,4]. Но проведенный анализ литературных источников не указывает на способы образования и удаления золы соломы зерновых культур, а также на выбор соломы в качестве топлива с более высокой температурой размягчения золы.

Формулировка целей статьи (постановка задания). Авторами приводится анализ зольности соломы зерновых культур, состав золы соломы этих культур как удобрения



Таблица 1. Содержание негорючих элементов в топливе и золе биомассы [5]

Элементы	Солома озимой пшеницы
Зольность%	5,1
Максимальное содержание в топливе, мг/кг (на сухую массу)	
Si	27000
Ca	7000
Mg	3200
K	21000
Na	4800
P	2900
Максимальное содержание в золе, мг/кг (на сухую массу)	
Si	30,0
Ca	8,0
Mg	2,7
K	16,0
Na	1,0
P	6,7

Таблица 2. Зольность соломы злаковых культур [4]

Зольность на сухую массу, %	Культуры				
	Рожь	Пшеница	Ячмень	Овес	Средняя
	4,5	5,1	5,2	4,9	5,0

для сельскохозяйственных культур, плавкостные характеристики золы зерновых культур, обосновывается целесообразность использования в качестве топлива соломы озимой пшеницы. Этим решаются важные экологические вопросы: уменьшение внешних отложений на поверхностях нагрева котлов, а, значит, и уменьшение вредных выбросов; уменьшение загрязнения золой окружающей среды; экономические вопросы, связанные с расходами на утилизацию золы; вопросы, связанные с повышением урожайности почв.

Изложение основного материала исследования. В современных условиях, когда применение экологически безопасных технологий земледелия является требованием времени, рациональное использование ресурсов – необходимая составляющая сельскохозяйственной деятельности человека [4].

Сельскохозяйственная биомасса, которая используется в качестве топлива, имеет ряд особенностей, что отличает ее от традиционных энергоресурсов. Твердые остатки сжигания называются внешними отложениями поверхностей нагрева. Загрязнение внешних поверхностей нагрева котлов на соломенном топливе происходит значительно интенсивнее, чем, например, в котлах на газообразном или на жидком легком топливе. Из-за отложений снижается охлаждение газов в котлах, КПД котлов и их тепловая мощность. Внешние отложения поверхностей нагрева котлов на биотопливе будут зависеть как от самой биомассы, так и от режима горения топлива.

Некоторые из характеристик твердого биотоплива, прежде всего внешние (плотность, размеры частиц, специфичность поверхности), через измельчение и уплотнение могут быть изменены, однако его основные топливно-технологические характеристики принято рассматривать как постоянные. Энергетическая ценность соломы зависит от ее влажности, а также от химического состава, который изменяется в зависимости от типа соломы (зерновые, рапс и т.д.) и от условий вегетации растений.

Все твердые топлива из биомассы содержат разные примеси в виде частей негорючих компонентов – золы. Образование золы является нежелательным, поскольку при этом нужна очистка дымовых газов от частиц с последующей утилизацией золы.

Одни частицы золы соломы формируются из частиц почвы и песка, которые оседают на листостебельную массу в процессе роста, уборки и т.п. и попадают вместе с соломой в топку. Другие частицы попадают из почвы в стебли с солями в период вегетации растений. Это, прежде всего, негорючие элементы: Si, Ca, Mg, K, Na, P (табл. 1).

Из указанных негорючих элементов наиболее негативно влияют на работу котла соли калия и натрия: приводят к образованию липкой золы, которая вызывает отложения в котле.

Зольность соломы злаковых культур, как и других твердых биотоплив, достаточно низкая (табл. 2). Но несмотря на низкую зольность, ее характеристики плав-

Таблица 3. Плавкостные характеристики золы [4]

Вид золы	Температура, °С		
	размягчение	образование полусферы	точка растекания
Озимая пшеница	1050	1350	1400
Рожь	840	1150	1330
Ячмень	765	1035	1190
Овес	735	1045	1175
Древесная щепа отходов рубки	1205	1230	1250

кости значительно влияют на работу котлов, использующих биотопливо.

Наибольшей проблемой при сжигании соломы сельскохозяйственных культур, в том числе и в виде брикетов, есть низкая температура плавления золы, которая обуславливает образование золошлаковых агломератов, что препятствуют горению и нормальной работе котлов.

Плавление золы может вызывать ошлакование в топке и возникновение плотных отложений на конвективных поверхностях нагрева, которые значительно будут влиять на КПД котла и на уровень вредных выбросов в продуктах сгорания.

Содержание летучих компонентов в соломе колеблется от 60 до 70 %, это несколько ниже, чем у древесины. В то же время температура плавления золы соломы некоторых зерновых культур может быть значительно ниже, чем золы древесных топлив (табл. 3).

Как видно из табл.3, размягчение золы соломы ржи, овса и ячменя начинается при очень низких температурах (735–840°С), что приводит к спеканию золы, ошлакованию поверхностей, образованию отложений на поверхностях нагрева и др. Это необходимо учитывать при выборе технологии сжигания и наладке режима горения в топке.

Как известно, для энергетических целей целесообразно использовать солому озимых зерновых культур — она имеет меньшее содержание хлора, который приводит к коррозии элементов котлов, кроме того, она не используется для кормления скота.

Так как температура плавления золы озимой пшеницы примерно такая, как и некоторой древесины, и составляет 1050°С, это еще раз подчеркивает эффективность использования в энергетических целях соломы озимой пшеницы.

Одним из целесообразных способов утилизации золы при сжигании соломы есть использование ее в качестве удобрений. Особенно это актуально при ограниченном внесении в почву органических и минеральных удобрений. То есть, улучшить плодородие почв можно путем внесения золы, которая образовалась в результате сжигания сельскохозяйственных растительных отходов с целью выработки энергии, а именно — соломы озимой пшеницы.

Основными элементами, которые выносятся из почвы при росте сельскохозяйственных растений, есть азот,

фосфор и калий. Содержание данных компонентов в золе соломы некоторых культур приведено в табл. 1.

Процесс сжигания соломенной биомассы зависит в значительной мере от вида соломы, ее физико-механических свойств и химического состава.

Всю золу, которая образуется при сгорании соломы, разделяют на зольный остаток и летучую золу (циклонную и фильтрационную). Кроме большого количества питательных веществ, зола имеет в своем составе и опасные для окружающей среды тяжелые металлы, такие как цинк, кадмий. Внесение ее в почву может быть ограниченным и даже нежелательным. Фактическое содержание этих элементов в золе приведено в табл.4.

Но проведенные исследования указывают на то, что данные элементы в своем подавляющем большинстве находятся в фильтрационной золе. Это связано с тем, что летучие соединения тяжелых металлов (Cd, Zn) в большинстве испаряющиеся при сгорании топлива, потом осаждаются на поверхности частиц летучей золы. Состав золы в значительной мере зависит не только от вида биомассы, но и от агротехнических факторов, таких как количество осадков, обработка посевов ядохимикатами, внесение удобрений и т.п. Поэтому перед внесением золы в почву необходимо не только проводить анализ почвы, но и анализ самой золы. Величины допустимых значений этих элементов для разных стран несколько отличаются. Средние допустимые значения предельного содержания тяжелых металлов в золе для большинства европейских стран приведены в табл. 5.

Следует заметить также, что при использовании соломы в виде рулонов, тюков и брикетов, в топку попадает и незначительное количество механических примесей, таких как песок и почва. Появление этих примесей является следствием подбирания соломы из валков на поле. Причем, больший процент почвы и песка находится в тюках и рулонах, меньший — в топливных брикетах.

Для уменьшения попадания тяжелых металлов в почву и утилизации механических примесей предлагается внесение в почву в качестве удобрения только зольного остатка и циклонной золы. Из-за низкой концентрации тяжелых металлов в таких видах золы, не будет никаких экологических препятствий относительно ее внесения в почву.

Фильтрационную золу, а ее доля составляет приблизительно 10 %, можно утилизировать путем промышленной

Таблица 4. Содержание тяжелых металлов в золе (мг/кг) [2, 3]

Вид золы	Hg	Cu	Zn	Cr	Pb	Ni	Cd
Солома пшеничная	0,98	22,7	212	2,1	5,99	5,45	1,195
Среднее значение для соломы злаковых	0,1	30,0	240	2,0	9,0	5,0	2,0

Таблица 5. Предельное содержание тяжелых металлов в золе, которая используется в сельском хозяйстве (мг/кг) [3]

Zn	Cu	Pb	Ni	Hg	Zn	Cr	Cd
1000	250	250	100	0,8	4000	2,49	5

переработки при определенных условиях в дорожном строительстве или добавлением в незначительном количестве к органическим удобрениям для последующего внесения в почву при условии недопущения предельного значения.

Количество пригодной для удобрения почвы золы, которая получается при сжигании соломы, следует определять исходя из потребностей растений и почвы в питательных веществах.

Количество золы, которая будет использоваться для удобрения, зависит от условий возделывания почвы, ее состава, внесения дополнительных удобрений, и должна рассчитываться ежегодно по балансу питательных веществ.

Использование золы увеличит значение рН в почве. Поэтому ее целесообразно использовать для кислых почв с целью повышения значения рН.

Калий в золе, который образовывается при сжигании биомассы, ничем не отличается от промышленных удобрений. Наиболее пригодна зола для растений, чувствительных к хлору и способных переносить увеличение рН почвы.

Кроме того, зола, которая получается при сжигании биомассы, может использоваться для удобрения однолетних растений, используемых в качестве источника энергии, с высоким содержанием хлора с целью уменьшения его поглощения сельскохозяйственными растениями.

Фосфор, который образуется в золе при сжигании биомассы, может лишь частично поддерживать стабильный уровень фосфора в почве, так как этот элемент в такой золе есть в незначительном количестве и слабо растворя-

ется в почве. Однако, содержание фосфора в золе соломы выше, чем в золе сожженной древесины. Возобновление недостатка фосфора возможно за счет внесения соответствующих минеральных удобрений.

Внесение такой золы в почву является возможным без дополнительной ее предыдущей обработки. Для этого необходимо ее перемешивание, чтобы обеспечить однородность и загрузку в герметическую тару с целью предотвращения загрязнения окружающей среды мелкой фракцией золы при ее хранении и транспортировке.

### Выводы

Как показали исследования, одной из проблем при использовании соломенной биомассы в качестве топлива есть образование внешних отложений на поверхностях нагрева соломосжигающих котлов и золы, а также ее утилизация. То есть, использование экологически чистого топлива будет приводить к уменьшению вредных выбросов, но возможное образование внешних отложений на поверхностях нагрева котлов при сжигании некоторых видов соломы может способствовать уменьшению его КПД и увеличению вредных выбросов. В то же время накопление золы от сжигания данного топлива может составлять экологическую опасность. Для решения этих проблем предлагается использование в качестве топлива соломы озимой пшеницы, как такой, которая имеет наивысшую из соломенной биомассы температуру размягчения золы и является наиболее распространенной озимой культурой в Украине. А образованную золу вносить на поля в качестве удобрения.

### Литература:

1. Станковски С. Золошлаки от сжигания биомассы — ценные побочные продукты или отход? / С. Станковски, Г. Мациоровски, М. Гибжинска // Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование: материалы IV научно-практического семинара, 19–20 апреля 2012 г. / Москва, НИУ МЭИ. — М., 2012. — С. 106–109.
2. Билинска Е.Я. Возможности утилизации золы биомассы / Е.Я. Билинска, Е. Меллер, С. Станковски // Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование: материалы III научно-практического семинара, 22–23 апреля 2010 г. / Москва, издательский дом МЭИ. — М., 2010. — С. 105–108.

3. Утилизация золы котельных, работающих на древесном топливе / Программа развития ООН (ПРООН) Глобальный экологический фонд (ГЭФ) Департамент по энерго-эффективности Государственного Комитета по Стандартизации; [Составитель Норберт Вильдбахер], — Минск, 2007. — 28 с.
4. Справочник потребителя биотоплива / [Виллу Варес, Юло Каськ, Пеэтер Майсте и др.]; под ред. Виллу Вареса. — Таллин, 2005. — 183 с. — ISBN 9985-59-586-6.
5. Біомаса як паливна сировина / Гелетуа Г.Г., Жовмір М.М., Олійник Е.М., Радченко С.В. // Пром. теплотехніка, — 2011. — т. 33. — № 5. — С. 76-84. — ISSN 0204-3602.

## Надежность схем электроснабжения наземных комплексов систем посадки воздушных судов гражданской авиации

Султанов Наиль Закиевич, доктор технических наук, профессор;  
Юмахин Данил Юрьевич, аспирант  
Оренбургский государственный университет

В настоящее время наиболее трудным и ответственным этапом полета воздушного судна (далее ВС) является посадка и взлет, поскольку для обеспечения посадки и взлета пилоту необходимо правильно определить положение ВС в пространстве относительно ВПП [1]. Немаловажной составляющей в обеспечении безопасности полетов на данных этапах полета является надежное функционирование наземных аэродромных систем. Наиболее важными из них являются комплекс светосигнального оборудования аэродрома, радиотехнические средства посадки и системы метеорологического обеспечения полетов. От работы данных систем зависит функциональная пригодность аэродрома к производству полетов, вплоть до закрытия аэродрома. Особенно важно их бесперебойная работа в условиях недостаточной видимости в районе аэродрома.

Так как надежность является достаточно сложным и комплексным свойством, то ее полная оценка будет выходить за пределы данной статьи, поэтому мы остановимся на наиболее значимых качественных аспектах надежности, на которые можно непосредственно влиять, а следовательно, повышать эффективность аэропортовой деятельности по электросветотехническому обеспечению полетов. К таковым можно отнести:

- структурную надежность, или безотказность схемы электроснабжения, как способность сохранять работоспособное состояние в течении некоторого времени [2];
- функциональная надежность, или возможность восстановления электроснабжения потребителей путем реконфигурации схемы электроснабжения, возможности исключения аварийного участка сети, резервирование наиболее важных элементов и т.д;
- качественную надежность, или надежность связанную с качеством предоставляемой потребителям электроэнергии;
- информационная надежность, как свойство системы предоставлять оперативному персоналу полную и достоверную и информацию о состоянии всех элементов

схемы электроснабжения, на основе которых оперативно и однозначно можно определить состояние всей системы как минимум в настоящий момент времени.

Под наземными комплексами систем посадки в данной главе принимаются:

- светосигнальное оборудование аэродрома;
- радиотехнические средства посадки ВС.

Данные системы относятся к потребителям первой категории особой группы, по надежности электроснабжения. В нормальных режимах работы они должны обеспечиваться электроэнергией не менее чем от трех взаимно резервирующих источников питания. Наиболее распространенным вариантом является питание от двух внешних источников по двум кабельным линиям, через два трансформатора и автономного дизель-электрического агрегата, резервирующего оба внешних независимых источника [3]. Перерыв электроснабжения данных потребителей, при отказе одного из источников, может быть допущен лишь на время автоматического восстановления питания. В случае прекращения электроснабжения данных объектов аэродрома по одному из источников питания, на срок более 5 суток, с аэродрома снимается категория, присваиваемая каждому аэродрому в соответствии с международными требованиями, что приводит к ограничению возможностей аэродрома осуществлять полеты в условиях недостаточной видимости.

Скелетная схема централизованного электроснабжения наземных комплексов систем посадки по сетям 10 кВ, на примере аэродрома Оренбург представлена на рисунке 1.

В общем виде надежность схемы электроснабжения можно разделить на три компонента по структурным составляющим:

- надежность схемы 10 кВ;
- надежность схемы 0,4 кВ;
- надежность резервного источника электроэнергии.

Однако применение данного разделения не очень удобно, поэтому в данном случае будет применяться фун-

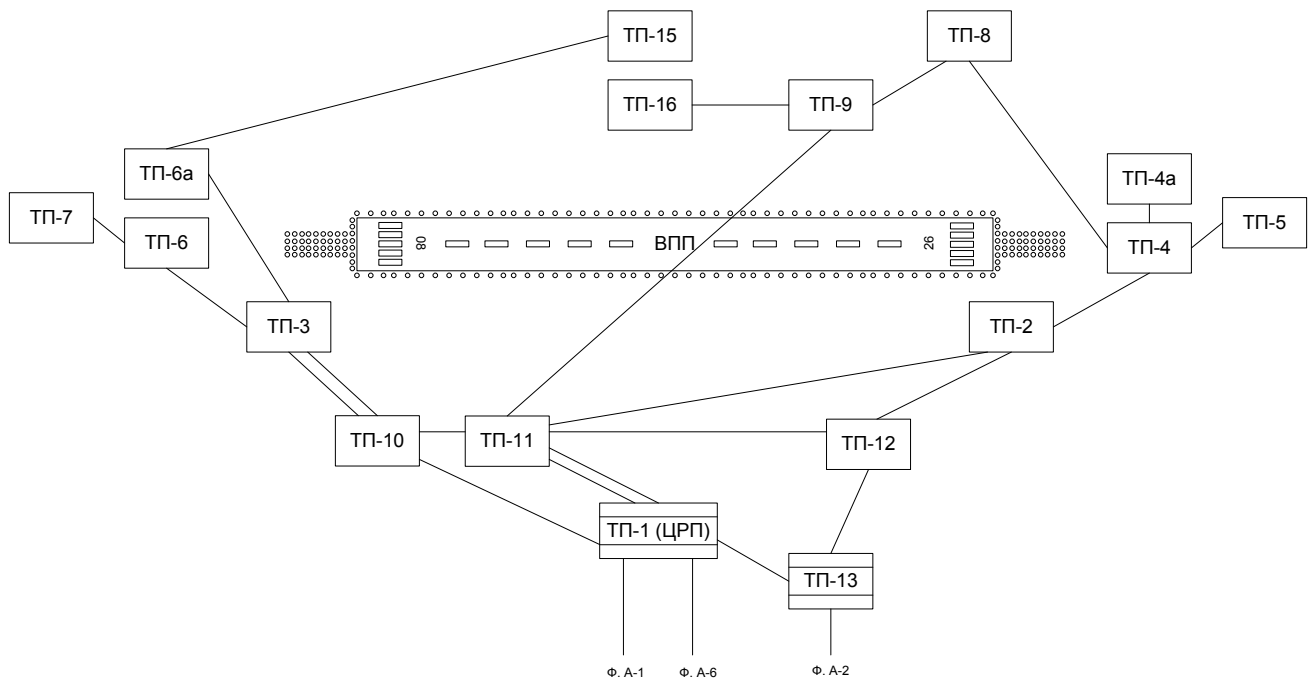


Рис. 1. Скелетная схема централизованного электроснабжения наземных комплексов систем посадки по сетям 10 кВ

кциональное разделение на следующие подсистемы:

- схема электроснабжения по первому вводу;
- схема электроснабжения по второму вводу;
- схема электроснабжения от резервного источника питания.

В общем виде для нашего случая блок-схему для расчета надежности можно представить в виде, представленном на рисунке 2.

Из блок-схемы видно, что в обеспечении электроэнергией потребителей по каждому вводу необходима безотказная работа некоторого количества последовательно соединенных элементов (в нашем случае последовательно соединены ТП, на которых в свою очередь последовательно соединяются коммутационные аппараты, аппараты защиты, кабельные линии, разъединители и т.д.). При этом для обеспечения электроэнергией наземных систем посадки ВС необходимо как минимум безотказная ра-

бота хотя бы одной ветви данной сети. Произведем расчет надежности каждой ветви схемы электроснабжения в соответствии с основными формулами для последовательного (1) и параллельного (2) соединения элементов:

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t) \tag{1}$$

$$P_c(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i(t)), \tag{2}$$

где  $P_c(t)$  – вероятность безотказной работы всей системы,  $P_i(t)$  – вероятность безотказной работы  $i$ -го элемента,  $n$  – число элементов.

Выразив  $P_i(t)$  – через интенсивность отказов  $\lambda_i$ , с использованием экспоненциального закона распределения получим соответственно для последовательного (3) и параллельного (4) соединения элементов:

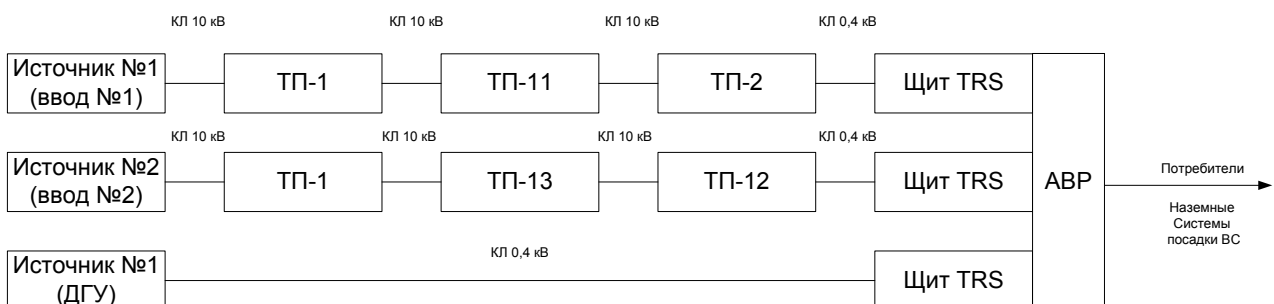


Рис. 2. Блок-схема расчета надежности схемы электроснабжения

Таблица 1. Показатели надежности элементов схемы электроснабжения

№п/п	Наименование элемента схемы	Интенсивность отказов, $\lambda_i$ (1/год)	Условное обозначение
1	Масляный выключатель 10 кВ	$2 \cdot 10^{-3}$	$\lambda_1$
2	Разъединитель 10 кВ	$10 \cdot 10^{-3}$	$\lambda_2$
3	Кабельная линия 10 кВ	$5 \cdot 10^{-3}$	$\lambda_3$
4	Сборная секция шин 10 кВ	$2 \cdot 10^{-3}$	$\lambda_4$
5	Плавкий предохранитель 10 кВ	$3 \cdot 10^{-3}$	$\lambda_5$
6	Выключатель нагрузки 10 кВ	$10 \cdot 10^{-3}$	$\lambda_6$
7	Кабельная линия 0,4 кВ	$2 \cdot 10^{-3}$	$\lambda_7$
8	Автоматический выключатель 0,4 кВ	$1 \cdot 10^{-3}$	$\lambda_8$
9	Сборная секция шин 0,4 кВ	$2 \cdot 10^{-3}$	$\lambda_9$
10	Резервный дизель-генератор	$20 \cdot 10^{-3}$	$\lambda_{10}$
11	Трансформатор 110/10 кВ	$2 \cdot 10^{-3}$	$\lambda_{11}$
12	Трансформатор 10/0,4 кВ	$2 \cdot 10^{-3}$	$\lambda_{12}$

$$P_c(t) = \exp\left(-\sum_{i=1}^n \lambda_i t\right) \quad (3)$$

$$P_c(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \exp(-\lambda_i t)) \quad (4)$$

В таблице 1 представлены показатели надежности элементов схемы электроснабжения [4].

В соответствии со схемой электроснабжения и данными из таблицы 1 по формулам 3 получаем:

$$P_{ввод\_1}(t) = 0.826132$$

$$P_{ввод\_2}(t) = 0.829444$$

$$P_{ввод\_ДП}(t) = 0.970445$$

Так как для функционирования систем посадки ВС необходимо как минимум бесперебойная работа хотя бы одного источника, то в соответствии с формулой 4 получаем:

$$P_c(t) = 0.999124$$

Таким образом вероятность безотказной работы системы электроснабжения наземных комплексов систем посадки ВС, питание которых осуществляется от ТП-2, составляет 0,999124 в год, что является достаточно низким показателем. Таким образом вероятность возникновения ситуации, связанной с полным отключением электроснабжения аэродромных систем посадки ВС составляет  $8,76 \times 10^{-4}$  в год. Что является достаточно низким показателем. Однако практически во всех источниках, по неизвестной причине, вероятность отказа систем электроснабжения в критический момент считается крайне низкой [5]. Кроме этого в данном расчете не учитывалась:

- надежность схемы электроснабжения вышестоящей системы распределения (сети 110 кВ, в которых довольно широко используются воздушные линии, которые обладают не самыми высокими показателями надежности);
- надежность установленной на ТП-1 и ТП-11 аппаратуры релейной защиты;
- надежность системы управления автоматического ввода резерва в щите TRS на ТП-2 и ТП-3, которые могут

также внести свои коррективы в надежность электроснабжения;

- зависимость числа отказов от срока эксплуатации установленного оборудования (процент оборудования, которое выработало нормативный срок эксплуатации, превышает 50% и постоянно увеличивается);

- зависимость числа отказов электрооборудования от метеоусловий (во время гроз, сильного ветра, снегопада, тумана и других атмосферных явлений число отказов в электроэнергетических системах сильно повышается, однако именно в плохих метеоусловиях необходимо надежное функционирование систем электроснабжения объектов аэропортового комплекса, особенно наземных систем посадки ВС).

Влияние деятельности по электросветотехническому обеспечению полетов на безопасность полетов представлена в статье [6]. Исходя из данных которой можно утверждать, что надежность схем электроснабжения наземных комплексов обеспечения посадки ВС находится на предельно допустимом уровне, требующем разработки и внедрению решений по улучшению показателей надежности. Наиболее эффективными способами повышения показателей надежности схем электроснабжения является:

- исключение из схем электроснабжения транзитных трансформаторных подстанций и другого электрооборудования, осуществляющих электроснабжение объектов не связанных с обеспечением производства полетов ВС, что позволит снизить отказы систем электроснабжения объектов обеспечения полетов и повысить показатели надежности;

- установка на объектах, обеспечивающих производство полетов ВС, систем бесперебойного питания с возможностью работы от химических источников тока не менее трех часов и с показателями интенсивности отказа не более  $1 \times 10^{-4}$ , что позволит снизить вероятность отключения электроснабжения аэродромных систем посадки ВС до значения  $8,76 \times 10^{-8}$ , что в соответствии ме-

ждународными требованиями [7] приемлемо, так как считается крайне маловероятным событием;

— замена на новое электрооборудования системы централизованного электроснабжения, отработавшего более 30 лет, поскольку зависимость числа отказов от возраста оборудования подчиняется экспоненциальному закону распределения и значительно увеличивается именно после 30 лет непрерывной эксплуатации.

### Выводы

1. Определен основной показатель надежности схемы электроснабжения наземных комплексов систем посадки воздушных судов — интенсивность отказа, свя-

занный с полным отключением электроснабжения объектов систем посадки, который составляет  $8,76 \times 10^{-4}$  в год. Данное значение, согласно международным рекомендациям, соответствует предельно допустимому.

2. С целью повышения надежности функционирования систем посадки, необходимо разрабатывать и внедрять технические решения по улучшению показателей надежности схем электроснабжения.

3. Рассмотрены основные способы повышения показателей надежности схем электроснабжения наземных комплексов систем посадки, которые позволят снизить вероятность отключения электроснабжения аэродромных систем посадки до значения в диапазоне  $1 \times 10^{-8} - 1 \times 10^{-7}$ .

### Литература:

1. Фрид Ю.В. Электросветосигнальное оборудование аэродромов / Ю.В. Фрид, Ю.К. Величко, В.Д. Козлов и др. — М. Транспорт, 1988.-318 с., ил.
2. Александровская Л.Н. Безопасность и надежность технических систем / Л.Н. Александровская, И.З. Аронов, В.И. Круглов и др. — Учебное пособие — университетская книга, Логос, 2008. — 376 с.: ил.
3. Нормы годности к эксплуатации в СССР гражданских аэродромов (НГЭА 92)., 94 стр., ил., 1992 г.
4. Гук Ю.Б. Расчет надежности схем электроснабжения / Ю.Б. Гук, М.М. Синенко, В.А. Тремясов. -Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. Отд-ние, 1990.-216 с.: ил.
5. Международная Организация Гражданской Авиации. Руководство по проектированию аэродромов. Часть 5. Электрические системы. Издание первое. 1983. — 96 с.
6. Юмахин Д.Ю. Электросветотехническое обеспечение безопасности полетов гражданской авиации / Д.Ю. Юмахин — Вестник ОГУ №9 / сентябрь 2012, 203 с, ил., стр. 168—172.
7. Международная Организация Гражданской Авиации. Руководство по управлению безопасностью полетов. Издание второе — 2009. Doc 9859 AN/474., 318 с.: ил.

## Использование современных винтовых механизмов в домкратах

Тихонов Алексей Сергеевич, студент;  
Щёголев Сергей Николаевич, студент  
Волгоградский государственный технический университет

При старте ракеты со специальной подвижной установки последняя испытывает значительные перегрузки. Для того чтобы уменьшить нагрузки на подвеску и обеспечить правильное положение при старте используют домкраты. В технике существует большое количество разных типов этих механизмов. У каждого из них имеются свои достоинства и недостатки. В начальной стадии проектирования необходимо выбрать тип домкрата, т.к. в зависимости от типа домкрата зависит вес машины, габариты и ее компоновочная схема.

Домкрат — устройство, предназначенное для поднятия грузов и удержания в заданном положении необходимое время.

Основные цели разработки новых конструкций и схем домкратов:

- повышение надежности;

- повышение нагрузочной способности;
- повышение КПД;
- уменьшение времени на подготовку работы;
- упрощение конструкции путем использования более эффективных методов уплотнения (для гидравлических составляющих);
- применение новых материалов более легких, прочных, износостойких.

Основными направлениями повышения надежности и эффективности использования горизонтирующих устройств является конструктивное усовершенствование механической части домкрата, путем применения новых типов передач.

В винтовом домкрате используется передача винт-гайка. Основными преимуществами этих передач, по сравнению с другими механизмами являются простота

конструкций; изготовления и эксплуатации; высокая прочность при ударных нагрузках; возможность самоторможения и высокая кинематическая точность. Главным недостатком является большие потери на трение (в самотормозящей передаче КПД  $\leq 0,5$ ) и вследствие чего высокий износ. Все основные недостатки таких передач определяются характером сопряжения винтовых поверхностей винта и гайки и их относительного движения, так как в процессе работы происходит скольжение рабочих поверхностей друг по другу при незначительном количестве смазки между ними. Требование высокого КПД механизма обязывает для уменьшения коэффициента трения антифрикционную пару сталь – бронза. На рисунке 1 приведена схема передачи винт-гайка.

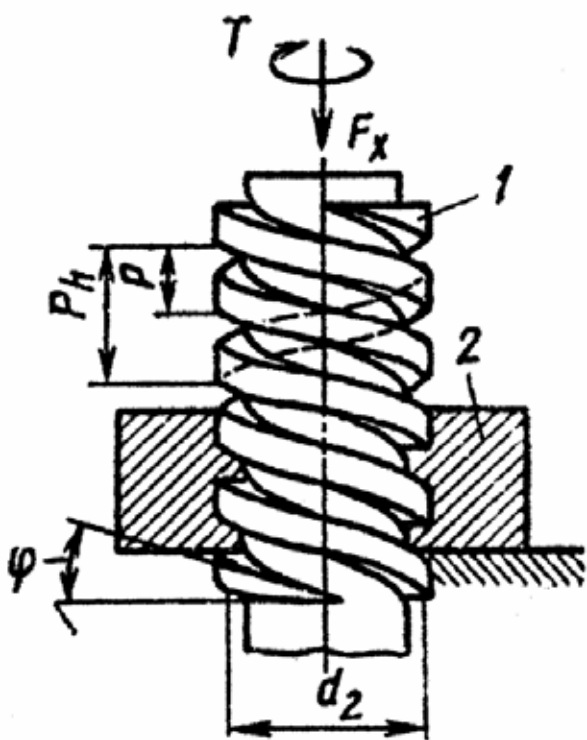


Рис. 1. Передача винт-гайка. 1 – винт; 2 – гайка

Повысить КПД можно следующим образом [1]:

1) увеличение угла  $\varphi$  подъема винтовой линии на среднем диаметре резьбы  $d_2$ . При этом

$$\varphi = \arctan \left( \frac{P}{\pi \cdot d_2} \right) \quad (1)$$

где:  $P$  – шаг резьбы;  $z$  – число заходов резьбы. Из формулы (1) видно, что наиболее эффективно для повышения КПД увеличить число заходов.

2) использование резьбы винта и гайки с малым углом наклона к вертикали рабочего профиля витка  $\Psi$ . В механизмах винт – гайка скольжения применяют трапецидальную ( $\Psi=15^\circ$ ), нереверсивную упорную ( $\Psi=3^\circ$ ). Эти резьбы имеют прямолинейные боковые стороны витков резьбы для технологичности изготовления. На рисунке 2 показан профиль витка резьбы.

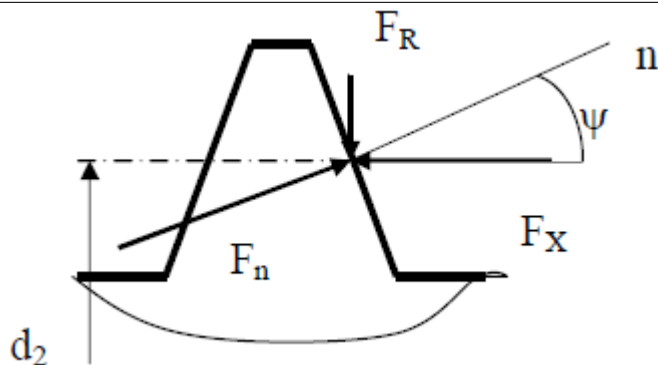


Рис. 2. Профиль витка резьбы

3) использования высококачественных антифрикционных материалов для гайки, а для винта – материалов с высокой износостойкостью.

Перечисленными методами существенно повысить КПД механизмов винт – гайка скольжения не удастся, поэтому были разработаны винтовые механизмы качения. Переход в винтовых механизмах от трения скольжения к трению качению стал возможен за счет введения в механизм дополнительных деталей, установленных между винтом и гайкой.

### Шариковинтовая передача

На рисунке 3 показана шариковинтовая передача. Для повышения технических характеристик передачи между гайкой 2 и винтом 1 установлены шарики 4, размещенные в винтовых канавках, выполненных на поверхности винта и гайки.

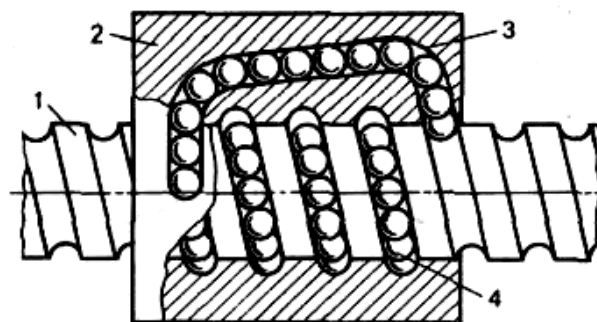


Рис. 3. Шариковинтовой механизм. 1 – винт; 2 – гайка; 3 – канал возврата; 4 – шарики

Эти канавки служат дорожками качения для шариков. Шарики движутся по замкнутой траектории, возвращаясь в исходное положение по каналу возврата 3, и не выходят за пределы гайки. Конструируются механизмы с одной, двумя, но чаще с тремя группами шаров, каждая из которых независимо циркулирует по своей замкнутой траектории. Шариковинтовой механизм имеет различную форму профиля винтовой канавки, выполненной на поверхностях винта и гайки [2].



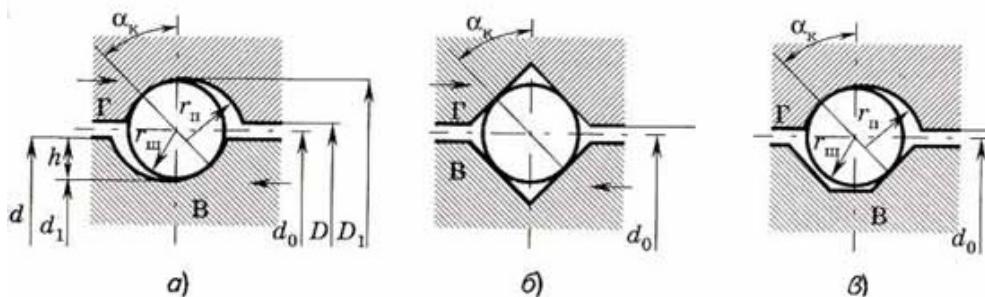


Рис. 4. Профили винта и гайки шариковинтовой передачи

Профиль канавки является специальным модифицированным для реализации определенной цели. На рисунке 4 показаны основные профили винта и гайки шариковинтовой передачи. На рисунке 4 а – полукруглый профиль копирует профиль шара и обеспечивает одноточечный начальный контакт шара с канавкой, на рисунке 4 б – прямолинейный профиль, и на рисунке 4 в – комбинированный профиль.

Основные достоинства шариковинтовой передачи:

- Малые потери на трение;
- Высокая нагрузочная способность при малых габаритах;
- Размерное поступательное перемещение с высокой точностью;
- Высокое быстродействие;
- Плавный и бесшумный ход.

К недостаткам шариковинтовой передачи можно отнести:

- Сложность конструкции гайки;
- Ограничение по скорости вращения винта (из-за вибрации);
- Высокую стоимость (исполнения с шлифованным винтом).

### Роликовинтовая передача

На рисунке 5 показана простейшая конструкция ПРВМ с короткими роликами, между резьбовыми деталями которой имеются осевые зазоры. Механизм состоит из многозаходных винта 1 и гайки 5, между которыми установлены  $n$  резьбовых однозаходных роликов 4. По одной образующей витки резьбы каждого ролика находятся в зацеплении с витками резьбы гайки, а по противоположной образующей – с витками резьбы винта. Торцовые шейки роликов установлены в отверстиях сепараторов 2. Чтобы ролики относительно винта имели одну степень свободы и синхронно работали, их дополнительно связывают с гайкой с помощью зубчатых зацеплений. Для этого на концах каждого ролика непосредственно по резьбе нарезают наружные зубья, которые зацепляются с внутренними зубьями, нарезаемыми на втулках 3, которые закреплены в гайке [3].

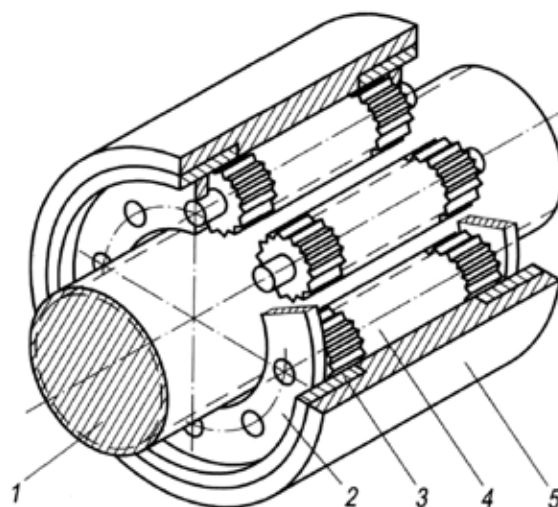


Рис. 5. Планетарный роликовинтовой механизм. 1 – винт; 2 – сепаратор; 3 – втулки 4 – ролики; 5 – гайка

При вращении винта гайка поступательно перемещается вдоль его оси, а ролики совершают планетарное движение. Каждый ролик вращается вокруг своей оси, и все ролики вместе с сепараторами вращаются вокруг оси винта. Размеры деталей ПРВМ так подобраны, что ролики обкатываются по гайке, а в точке начального контакта сопрягаемых витков винта и ролика вектора их линейных скоростей практически совпадают. Таким образом, ПРВМ относится к винтовым механизмам, в которых реализуется трение качения. В некоторых конструкциях ПРВМ ведущим звеном является вращающаяся гайка, а винт зафиксированный от вращения совершает поступательное движение.

Основные достоинства роликовинтовых передачи:

- Очень высокой грузоподъемностью (статическая нагрузка до 1000 тонн, динамическая нагрузка до 200 тонн);
- Очень высокой допустимой скоростью вращения (для РВП диаметром 48 мм – 3000 об/мин);
- Очень высокими допустимыми ускорениями (7000 рад/сек кв.);
- Долгим сроком службы даже при постоянной работе;

- Высочайшей надежностью;
  - Хорошей сопротивляемостью агрессивным средам (пыль, песок, лёд);
  - Хорошей сопротивляемостью ударным нагрузкам и вибрациям;
  - Прекрасной повторяемостью позиционирования (шаг 1 мм);
- Наиболее эффективными методами увеличения коэффициента полезного действия, нагрузочной способности и

жесткости механизма является применение современных передач. В современной технике широкое применение находят шариковинтовая и роликовинтовая передачи. Исследованы недостатки и достоинства этих передач. Несмотря на то что себестоимость этих домкратов больше их целесообразно использовать т.к. они обладают лучшими характеристиками и имеют больший срок службы.

Эти передачи являются наиболее перспективными в развитии современной техники.

#### Литература:

1. Решетов Д.Н. Детали машин: Учебник для студентов машиностроительных и механических специальностей вузов. — М.: Машиностроение, 1989. — 496 с.
2. Павлов Б.И. Шарико-винтовые механизмы в приборостроении. Ленинград-Москва, Машиностроение, 1968. — 134 с.
3. Блинов Д.С. Планетарные роликовинтовые механизмы. Конструкции, методы расчетов / Под ред. О.А. Ряховского. — М.: МГТУ, 2006. — 222 с.

## Концепция системы освещения помещений с автоматическим управлением на базе светодиодов

Ульянов Роман Сергеевич, студент;

Завьялов Владимир Андреевич, доктор технических наук, профессор  
Московский государственный строительный университет

*В данной статье рассмотрены существующие системы освещения и предложена концепция системы автоматического управления искусственным освещением, выполненным на базе светодиодов.*

В настоящее время целью светотехнического расчета является подбор осветительного оборудования, расчет освещенности, уточнение типа светильника, мощности источников света, их расположение. При этом влияние светящихся элементов источников света, их цветопередача и особенности сумеречного зрения не учитываются.

Известно, что существует зависимость между освещением (его спектральным составом, интенсивностью излучения) и процессами жизнедеятельности живых организмов.

Качественное освещение обеспечивает адекватное зрительное восприятие объектов, от качества освещения зависят такие параметры как цветопередача, и четкость восприятия объекта. [1]

Другим важным фактором является влияние света на физиологические процессы живых организмов. Световые лучи видимого спектра проникают в тело на глубину около 2,5 см. Они стимулируют биохимические процессы, увеличивают иммунную реактивность. Повышается возбудимость коры головного мозга, деятельность желез внутренней секреции, обмен веществ. При этом разные цвета видимого спектра оказывают различное влияние на нервно-психические процессы. Ультрафиолетовое излучение, попадая на кожу человека, оказывает фотоэ-

лектрический и люминесцентный эффекты. Умеренное ультрафиолетовое облучение повышает иммунные свойства. Малые дозы УФ облучения оказывают возбуждающий эффект. Инфракрасное излучение ускоряет биохимические и иммунные реакции, в результате чего ослабевает нервное напряжение. [2]

Из сказанного выше можно сделать вывод о том, как много значит в нашей жизни освещение.

С усилением процесса урбанизации, большинство людей вынужденно большую часть дня пользоваться искусственным освещением, характеристики которого чаще всего уступают естественному освещению. Ученые всего мира задумываются о различных способах улучшения показателей искусственного освещения. Так, например, исследователи из Уральской государственной сельскохозяйственной академии, провели сравнительный анализ воздействия излучения светодиодных светильников и люминесцентных ламп, на процесс роста живых организмов. [3]. Однако в данной работе не были рассмотрены аспекты автоматизации управления освещением на базе светодиодов. Вопросы управления освещенностью и спектральным составом излучения были рассмотрены японскими исследователями ещё в 1975 г. [4]. К сожалению, в то время технологии освещения на базе

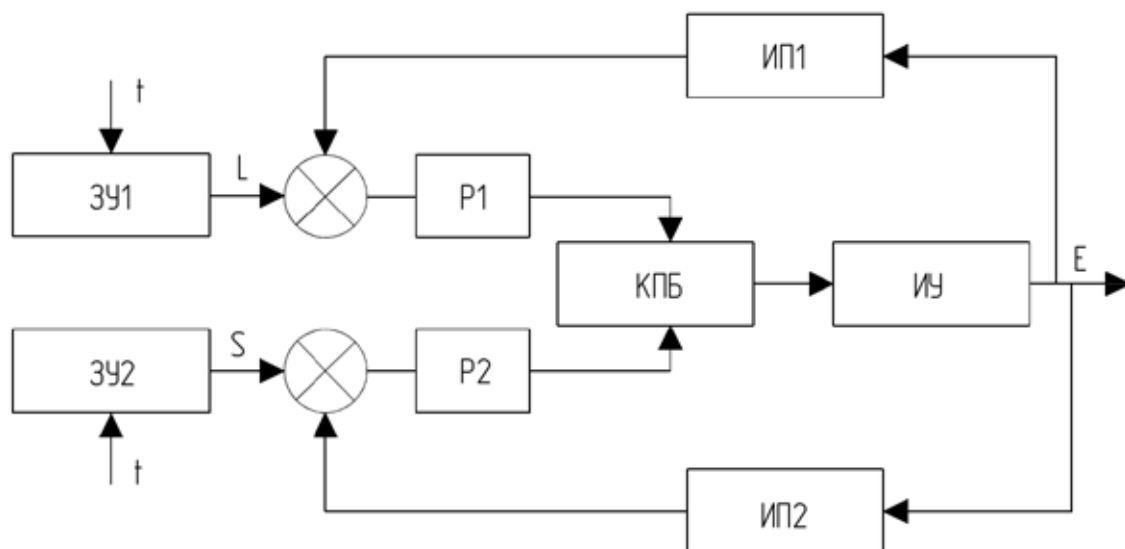


Рис. 1. **Функциональная схема системы.**

Элементы схемы: P – регулятор; ЗУ – задающее устройство; ИУ – исполнительное устройство (светодиоды); ИП – Измерительный преобразователь (обратная связь); КПБ – контрольно пусковой блок (драйвер, блок питания).  
Физические величины:  $t$  – время;  $L$  – яркость;  $E$  – освещенность;  $S$  – спектральный состав

светодиодов не были широко распространены и в их работе источником излучения служили люминесцентные лампы.

Современные условия диктуют необходимость постепенного отказа от люминесцентных ламп, это вызвано, как вопросами экологической безопасности, так и появлением более качественных источников излучения. По сравнению с люминесцентными лампами, светодиоды имеют большую надежность, меньшее потребление энергии, а также лучшую спектральную характеристику [5,6].

На основе анализа ситуации, автором данной работы сформулирована концепция системы автоматического управления искусственного освещения на базе светодиодов.

Целью разработки системы является создание комфортных условий труда работников при рациональном использовании системы освещения.

Для достижения желаемого эффекта система автоматического управления должна обладать, как свойствами программной, так и стабилизирующей системы автоматического управления. Это, с одной стороны, обеспечит более широкие возможности в процессе управления освещением, с другой стороны позволит достигать заданных параметров освещения, за счет автоматической подстройки управляющих воздействий.

Функциональную схему предполагаемой системы можно представить в следующем виде (рис. 1). Предполагается, что система посредством задающего устройства (ЗУ1) в зависимости от входящего сигнала времени выра-

батывается контрольное значение нормы освещенности в текущий период времени. Далее поступивший сигнал сравнивается с действующим уровнем освещенности (показания измерительного преобразователя (ИП1)), На основе результата сравнения формируется соответствующий закон регулирования (P1) и выдается управляющий сигнал на контрольно пусковой блок (КПБ), который включает ту или иную группу исполнительных устройств (светодиодов).

Работа второго контура аналогична первому, но в этом случае контролируемым параметром является спектральная характеристика освещения.

Функциональная схема, однако, показывает лишь функции элементов системы.

Возможная техническая реализация предлагаемой системы показана на рис. 2.

В качестве источников освещения для достижения оптимальных воздействий на освещенность в помещении были приняты 2 типа осветительных приборов:

Светодиодные светильники – сборки светодиодов выбранного оттенка белого света, монтируемые на месте традиционных ламповых светильников. Данные светильники должны обеспечивать необходимый уровень освещенности в условиях отсутствия или сильного недостатка естественного освещения.

Светодиодные ленты – сборки светодиодов с различной длиной волны излучения (УФ, видимого спектра, ИК диапазона). Ленты могут быть расположены по периметру помещения и непосредственно у рабочих мест.

## Условные обозначения

Графическое и буквенно-цифровое обозначение	Наименование
 Серв	Сервер контроля системы
 S	Измерительный преобразователь – спектрометр
 I	Измерительный преобразователь – фотоземлетр
 UV	Светодиоды ультрафиолетового излучения
 W	Светодиоды белого света
 C	Светодиоды различных цветов видимого спектра
 PKU	Прибор контроля и управления
 KDL	Контрольно-пусковое устройство
 + -	Блок питания
 α	Внешний интерфейс связи
 O	Калибровочный прибор
 LedLine	Светодиоды объединенные в светодиодную линию
 LedLamp	Светодиодные светильники
 - - -	Линия питания
 —	Линия связи

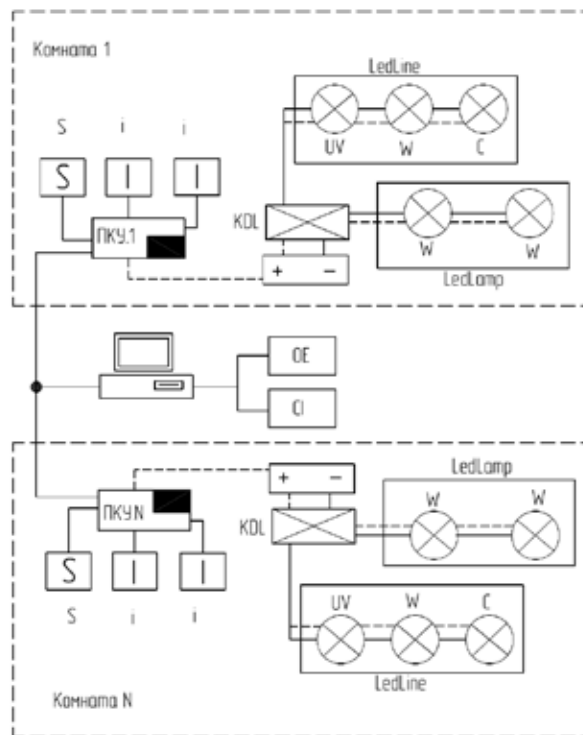


Рис. 2. Принципиальная схема системы

Данные устройства обеспечивают регулирования спектрального состава и яркости освещения, как в объеме всего помещения, так и непосредственно в местах установки.

В случае работы системы на постоянном токе, яркость свечения светодиодов в определенных рамках можно будет регулировать с помощью широтно-импульсной модуляции, что позволит управлять уровнем освещенности не только с помощью подключения или отключения светодиодных модулей, но и плавное регулирование с помощью программно-аппаратного управления питанием.

Программно аппаратный комплекс позволит автоматическое и ручное дистанционное управление системой освещения, а так же её диспетчеризацию непосредственно с автоматизированного рабочего места и с удаленного терминала (например по средствам web интерфейса).

Главным управляющим узлом системы является сервер. В сервер загружена управляющая программа, которая позволяет за счет исполнительных устройств добиваться требуемой интенсивности и состава освещения в широком диапазоне. Предполагается, что программа сервера будет обрабатывать алгоритм «естественного освещения», создавая в помещении освещение близкое по па-

раметрам к естественному освещению в текущий период времени. С другой стороны, как было сказано выше, освещение в определенной степени способно воздействовать на биологические ритмы человека, поэтому данную систему можно использовать для повышения производительности труда или наоборот для создания обстановки способствующей скорейшему расслаблению.

Концепция системы предусматривает возможность полной симуляции естественного освещения, как по необходимой яркости, так и по его составу. Предлагаемое решение может быть использовано, как в целях оказания благотворного воздействия на человека, так и в целях энергосбережения. Применение данной системы обосновано, как для освещения общественных или производственных помещений, так и для создания системы освещения для системы жизнеобеспечения замкнутого цикла, например космическая станция, подводная лодка, полярные станции.

На текущий момент автору работы не известно о промышленных образцах подобных систем. Существующий патент на светодиодное освещение применяется в растениеводстве [8], у автора работы нет данных о возможных последствиях воздействия данной системы на человека.

## Литература:

1. Качество искусственного освещения — Андрей Ланцов (<http://www.e-audit.ru/light/quality.shtml>)
2. Елена Петровна Гора Экология человека, М., Дрофа [http://www.libma.ru/nauchnaja\\_literatura\\_prochee/yekeologija\\_cheloveka/p2.php](http://www.libma.ru/nauchnaja_literatura_prochee/yekeologija_cheloveka/p2.php)

3. Перспективы применения светодиодов в растениеводстве (Александр Прокофьев | Андрей Туркин | Андрей Яковлев). Полупроводниковая светотехника №5 2010 стр. 60.
4. Control of artificial light for plantsii. automatic control of light intensity and spectral composition – TSuyoshi MATSUI, Hiroshi EGUCHI, Yasuhiko SOEJIMA, and Michio HAMAKOGA Biotron Institute, Kyushu University, Fukuoka, Japan (Received June 2, 1975) [http://astp.jst.go.jp/modules/search/DocumentDetail/0582-4087\\_13\\_3\\_CONTROL%2BOF%2BARTIFICIAL%2BLIGHT%2BFOR%2BPLANTS\\_N%252FA](http://astp.jst.go.jp/modules/search/DocumentDetail/0582-4087_13_3_CONTROL%2BOF%2BARTIFICIAL%2BLIGHT%2BFOR%2BPLANTS_N%252FA)
5. Люминесцентная лампа – Материал из Википедии – свободной энциклопедии
6. Белый светодиод Материал из Википедии – свободной энциклопедии
7. Datasheet SUPER FLUX LED LA M P, 4PIN LED – BL-FL760Rxx
8. Светодиодный фитооблучатель (патент №2454066) <http://www.freepatent.ru/patents/2454066>

## Улучшение процесса сгорания сжиженного углеводородного газа добавками водорода

Федянов Евгений Алексеевич, доктор технических наук, профессор;  
Захаров Евгений Александрович, кандидат технических наук, доцент;  
Гаврилов Дмитрий Сергеевич, магистрант;  
Левин Юрий Васильевич, аспирант  
Волгоградский государственный технический университет

Сжиженные углеводородные газы (СУГ), сырьем для производства которых являются попутные нефтяные газы и газы, получаемые в процессе переработки нефти, все шире используется в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания (ДВС).

Положительные свойства СУГ как моторного топлива хорошо известны: они обладают высокой детонационной стойкостью, более широкими пределами воспламенения, меньшей токсичностью отработавших газов. В сравнении с бензином СУГ имеет более низкую стоимость при развитой сети газозаправочных станций.

В настоящее время применительно к бензиновым ДВС чаще всего реализуется концепция двухтопливного двигателя. Суть ее заключается в том, что существующий бензиновый двигатель дополнительно оснащается газобаллонным оборудованием (ГБО) для работы на СУГ. Однако такое ГБО зачастую не адаптировано к конкретной модели двигателя. Это обстоятельство может негативно сказаться на процессе сгорания топлива и, как следствие, характеристиках двигателя: увеличиваются расход топлива и выбросы токсичных компонентов с отработавшими газами [1]. Ухудшение процесса сгорания в наибольшей степени может проявиться на режиме холостого хода и переходных режимах, на которых в городских условиях эксплуатации значительную долю времени работают двигатели легковых автомобилей, маршрутных такси, малотоннажных грузовиков.

Одним из наиболее перспективных путей повышения экономичности и снижения токсичности газового ДВС является использование смесового топлива, представляющего собой смесь СУГ и водорода в разных пропорциях. Основными сдерживающими факторами широкого применения водорода в ДВС является его высокая

цена и отсутствие развитой инфраструктуры. Поэтому сегодня нет возможности экономически перевести автомобильный транспорт на водород. В связи с вышесказанным, представляет интерес использование водорода в качестве малых добавок к СУГ с целью улучшения процесса сгорания.

Положительное влияние малых добавок водорода на процесс сгорания бензина подтверждено результатами ряда исследований [2, 3], в том числе проведенных в Волгоградском государственном техническом университете (ВолгГТУ). В частности, были получены количественные данные о влиянии добавок водорода на скорость сгорания бензовоздушных смесей. Для СУГ таких данных практически нет. В связи с этим в камере сгорания постоянного объема проведены эксперименты, в ходе которых было изучено влияние добавок водорода на скорость распространения ламинарного пламени в смесях СУГ с воздухом.

Для экспериментов использована цилиндрическая стальная камера сгорания диаметром 90 мм и длиной 115 мм (рис. 1). Установка с этой камерой сгорания оснащена необходимой контрольно-измерительной и регистрирующей аппаратурой, а также системой для подачи топливовоздушной смеси и удаления продуктов сгорания. С целью исключения влияния на результаты экспериментов погрешностей индивидуального дозирования топлива и воздуха, топливовоздушные смеси различного состава приготавливались в отдельных баллонах. Состав топливовоздушной смеси задавался соотношением величин парциальных давлений СУГ, водорода и воздуха. Давление топливовоздушной смеси перед ее воспламенением в камере сгорания во всех случаях равнялось атмосферному.

Воспламенение топливовоздушной смеси осуществлялось искровой свечой зажигания. При этом специальная

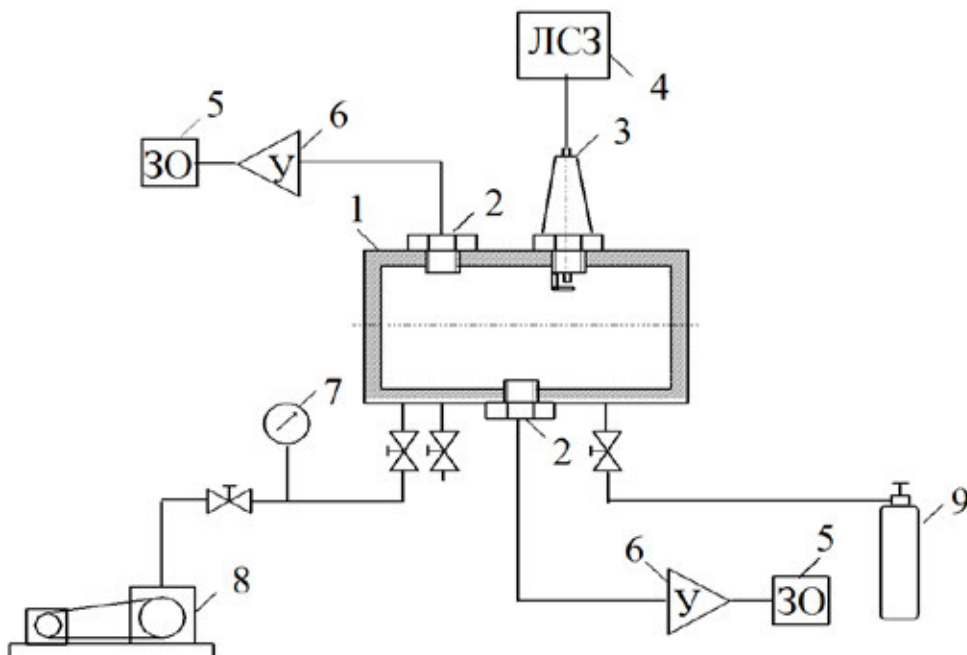


Рис. 1. Экспериментальная установка с камерой сгорания постоянного объема:  
 1 – камера сгорания постоянного объема; 2 – ионизационные датчики; 3 – свеча зажигания;  
 4 – лабораторная система зажигания с регулируемыми параметрами искрового разряда; 5 – электронный запоминающий осциллограф; 6 – усилители электрических сигналов; 7 – вакуумметр; 8 – вакуумный насос;  
 9 – баллон с топливозвоздушной смесью.

лабораторная система зажигания позволяла варьировать силу тока ( $I = 25 \dots 400$  мА) и длительность электрического разряда ( $\tau = 0,2 \dots 8$  мс).

Распространение фронта пламени по объему камеры сгорания регистрировалось с помощью двух ионизационных датчиков, сигналы которых через усилители поступали на вход цифрового запоминающего осциллографа. Значение видимой скорости  $w_b$  распространения пламени вычислялось делением разности расстояний от источника зажигания до каждого из ионизационных датчиков на разность интервалов времени между началом разряда на свече зажигания и появлением сигнала на каждом из датчиков (рис. 2). Такая методика исключала влияние на результат определения  $w_b$  процесса образования начального очага горения. Данный факт также подтвердился серией проведенных опытов при одном и том же составе топливозвоздушной смеси, но при различных параметрах электрического разряда ( $I, \tau$ ). Варьирование параметров электрического разряда свечи не изменяло регистрируемую видимую скорость сгорания  $w_b$ .

Нормальная скорость распространения пламени  $w_n$  вычислялась по значению видимой скорости с учетом текущего значения степени расширения продуктов горения  $\varepsilon_b$  на момент достижения фронтом пламени каждого из датчиков:

$$w_n = \frac{w_b}{\varepsilon_b}$$

Оценка степени влияния добавок водорода на скорость распространения ламинарного пламени в смесях СУГ и воздуха была сделана по величине изменения нормальной скорости распространения фронта пламени при различных значениях коэффициента избытка воздуха.

На рис. 3 приведены полученные на основе опытов зависимости величины нормальной скорости  $w_n$  распространения фронта пламени в смесях СУГ с добавками водорода до 5% по массе при различных значениях коэффициента избытка воздуха  $\alpha$ . Как видно, в смеси, близкой по составу к стехиометрической ( $\alpha = 1,07$ ), добавка 5% водорода увеличивает  $w_n$  на 70%. В бедной смеси при  $\alpha = 1,47$  аналогичная по массе добавка повышает нормальную скорость на 61%. Полученные экспериментальные данные позволяют утверждать, что добавки водорода в смесь СУГ с воздухом позволяют значительно ускорить процесс сгорания. Также следует отметить, что при наличии в топливозвоздушной смеси свободного водорода существенно повышается стабильность воспламенения. Так, в ходе опытов не было зафиксировано пропусков зажигания исследуемых бедных смесей с добавками водорода в отличие от топливозвоздушных смесей без добавок водорода.

При использовании добавок водорода в ДВС, работающем на СУГ, следует ожидать существенного улучшения его энергоэкологических показателей.

При этом обращает на себя внимание практически линейная зависимость между значением  $w_n$  и величиной добавки водорода.



Рис. 2. Сигналы, регистрируемые запоминающим осциллографом

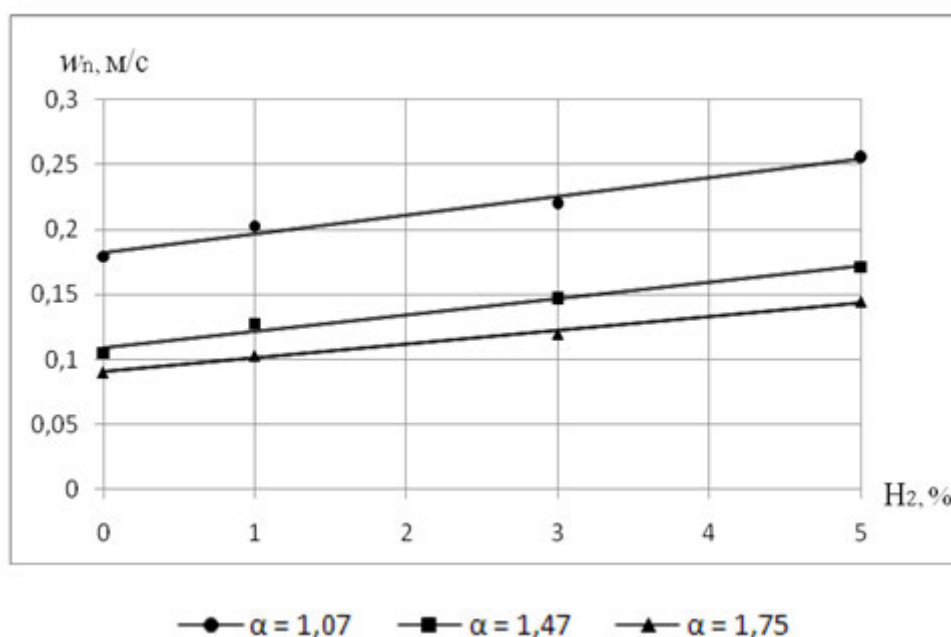


Рис. 3. Влияние добавок водорода (0...5%) на нормальную скорость сгорания смеси СУГ с воздухом при различных значениях коэффициента избытка воздуха

Для того чтобы выяснить, сохраняется ли указанная выше линейная зависимость при больших значениях добавок водорода, были проведены опыты с добавками 20%, 40%, 60% водорода, а также на чистом водороде. Результаты этих экспериментов приведены на рис. 4. Показанные на этом рисунке зависимости подтверждают линейный характер зависимости нормальной скорости распространения пламени от величины добавки водорода.

Исходя из линейного характера полученных зависимостей, можно рекомендовать для определения нормальной скорости распространения пламени при любых добавках водорода формулу:

$$w_{nn} = w_{nCH} \cdot (1 - g_{H_2}) + w_{nH_2} \cdot g_{H_2},$$

где  $w_{nCH}$ ,  $w_{nH_2}$  – нормальные скорости пламени для СУГ и чистого водорода;  $g_{H_2}$  – величина добавки водорода (по массе) к СУГ.

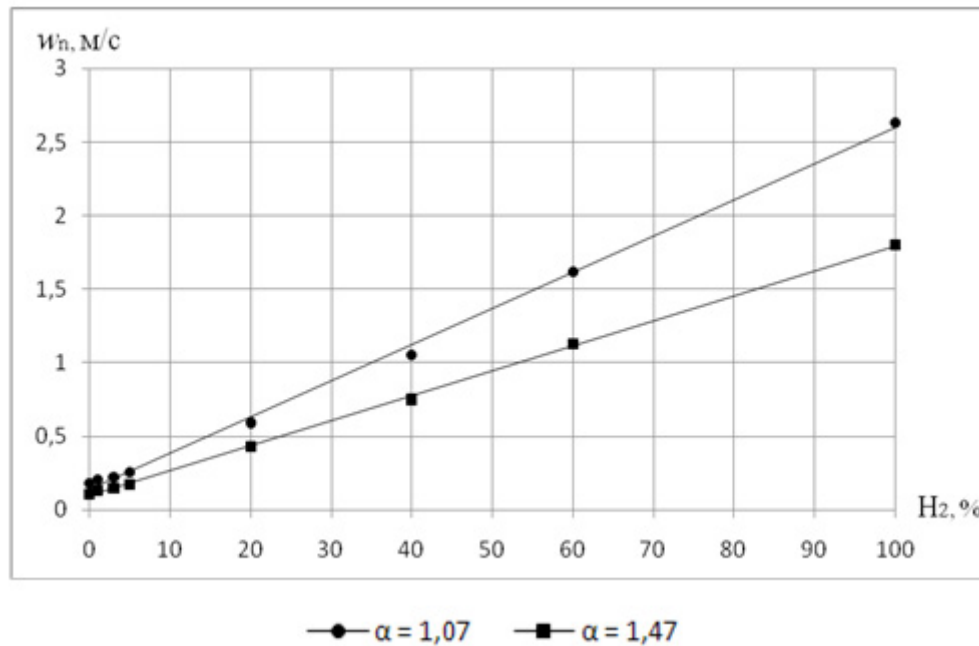


Рис. 4. Влияние добавок водорода (0...100%) на нормальную скорость сгорания смеси СУГ с воздухом при различных значениях коэффициента избытка воздуха

Литература:

1. Регулировка бензинового ДВС при переводе его на сжиженный нефтяной газ / Злотин Г.Н., Захаров Е.А., Кузьмин А.В. // Двигателестроение 2007. №2. С. 29–31.
2. Злотин, Г.Н. Начальный очаг горения при искровом зажигании гомогенных топливовоздушных смесей в замкнутых объемах / Г.Н. Злотин, Е.А. Федянов, ВолгГТУ. – Волгоград, 2008. – 152 с.
3. Смоленский В.В., Смоленская Н.М., Шайкин А.Г. Влияние добавки водорода на процесс горения в бензиновых двигателях с искровым зажиганием / Прогресс транспортных средств и систем – 2009: Материалы Международной научно-практической конференции. – Ч. 1, с. 247–248.

## Применение метода интерполяции по коэффициенту формы для решения задач строительной механики

Фетисова Мария Александровна, доцент;  
Володин Сергей Сергеевич, аспирант  
Орловского государственного аграрного университета

*В статье предлагается способ применения метода интерполяции по коэффициенту формы для определения максимального прогиба пластинок с комбинированными граничными условиями. Для отыскания опорных решений применяются простейшие аффинные преобразования.*

*In article the way of application of a method of interpolation on factor of the form for definition of the maximum deflection of plates with the combined boundary conditions is offered. The elementary affine transformations are applied to search of basic figures.*

Одним из основных научных направлений строительной механики по-прежнему остается разработка и развитие простых аналитических приближенных ме-

тодов, которые позволяют путем сравнительно несложных инженерных расчётов получать оценки интегральных физических параметров конструкций. С помощью таких ме-



тодов удаётся установить аналитическую связь параметров прочности, жесткости и устойчивости от отдельных геометрических характеристик конструкций и физико-механических свойств материала. Это способствует более правильному представлению о силовых схемах в исследуемых конструкциях. Одним из таких методов расчета плитных конструкций является метод интерполяции по коэффициенту формы (МИКФ) [2].

В основе МИКФ лежит изопериметрический метод, основоположниками которого являются Д. Пойа и Г. Сеге [1], так как основным аргументом в получаемых аналитических зависимостях является отношение коэффициента формы [2;3] к площади области ( $K_f/A$ ). Отличие его заключается в том, что, если при использовании изопериметрического метода поведение интегральных параметров внутри множества решений между опорными не известно, то при использовании МИКФ получается аналитическая зависимость, позволяющая найти решение для любой фигуры из рассматриваемого множества.

С учетом изопериметрических свойств и закономерностей коэффициента формы [3] для областей с выпуклым контуром график изменения  $w_0 (1/w_0) - 1/K_f$  изображен на рисунке 1.

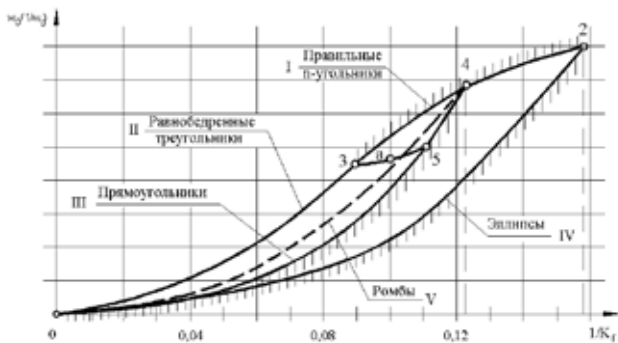


Рис. 1

Пластинкам в виде правильных фигур соответствует кривая I, пластинкам в виде равнобедренных треугольников — кривая II, прямоугольным пластинкам — кривая III, эллиптическим пластинкам — кривая IV, пластинкам в виде ромба — кривая V.

Если рассмотрим некоторое конкретное геометрическое преобразование, например, прямоугольника в равнобедренный треугольник, то изменение максимального прогиба опишется кривой 3—5, причем изменение этой кривой будет носить монотонный характер. При этом кривая 3—5 пересечет вертикальную прямую в некоторой точке а, которая будет являться графическим образом решения для трапеции с коэффициентом формы  $K_f=9$ . Если эту кривую описать аналитической зависимостью, то она будет давать решения для всего рассматриваемого подмножества трапеций в зависимости от коэффициента формы.

Сущность метода интерполяции по коэффициенту формы заключается в следующем. Пусть необходимо записать решение для некоторого множества фигур, полу-

ченных путем какого-либо непрерывного (или дискретного) геометрического преобразования. При анализе фигур (форм пластинок) этого множества следует выделить среди них хотя бы две пластинки, решения для которых известны («опорные» решения). Желательно чтобы эти две пластинки при выбранном геометрическом преобразовании отстояли друг от друга на «небольшом расстоянии».

Известные решения  $(w_0)_1$  и  $(w_0)_2$  для этих пластинок могут быть представлены в виде зависимостей:

$$w_{nm} = w_{нсн} \cdot (1 - g_{H_2}) + w_{нH_2} \cdot g_{H_2}, \quad (1)$$

Предположим, что при выбранном преобразовании  $A_1 = A_2$  (с изменением фигуры меняется и ее масштаб). Разделив второе выражение на первое, найдем значение параметра n для заданного геометрического преобразования.

$$n = \frac{\ln(w_{01}/w_{02})}{\ln(K_{f2}/K_{f1} \cdot A_1/A_2)}, \quad n = \ln\left(\frac{(w_0)_1}{(w_0)_2}\right) / \ln\left(\frac{K_{f2}}{K_{f1}}\right); \quad (2)$$

$$w_0 = (w_0)_1 \left(\frac{K_{f1} A}{K_f A_1}\right)^n$$

Структура этих формул соответствует зависимости (1).

К такому виду можно привести все получаемые решения при любом геометрическом преобразовании, предварительно представив в безразмерном виде (приведя к единичной площади). Если вместо  $(w_0)_2$  подставить значение  $w_0$  для любой пластинки, относящейся к выбранному геометрическому преобразованию, то получим:

$$w_0 = (w_0)_1 \left(\frac{K_f}{K_{f1}}\right)^n. \quad (3)$$

Легко заметить, что опорные решения в (3) удовлетворяются автоматически.

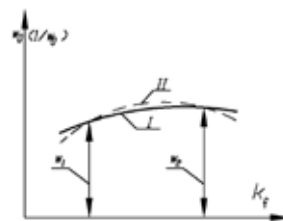


Рис. 2

Графически рассмотренная аппроксимация изображена на рисунке 2, где кривая I соответствует действительным значениям  $w_0$ , а кривая II — приближенным решениям, полученным по формуле (3).

Приведенные выше рассуждения основывались на непрерывных геометрических преобразованиях, когда изменение формы фигур рассматриваемого множества происходит непрерывно и монотонно, а также можно вполне успешно применять дискретные геометрические преобразования, когда переход от одной фигуры к другой осуществляется скачкообразно.

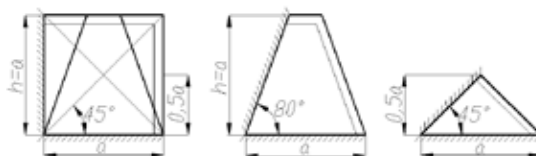


Рис. 3. Аффинное преобразование сжатием прямоугольника

Пусть требуется найти максимальный прогиб для пластинки в виде равнобедренной трапеции, применив преобразование аффинного растяжения (сжатия) прямоугольника (рис. 3). Параметры пластинки: угол при основании  $\alpha = 80^\circ$ , отношение основания к высоте  $a/h = 1$ ;  $a = 1\text{ м}$ ;  $b = 0,65\text{ м}$ ; площадь  $A = 0,825\text{ м}^2$ ; коэффициент формы  $K_f = 8,2925$ . Для этой пластинки найдено значение изгиба с помощью МКЭ  $w_0 = 0,0715\text{ мм}$ .

Заданная трапеция может быть получена путем преобразования квадрата с коэффициентом формы  $K_f = 8$ ; площадью  $A = 1\text{ м}^2$ ,  $w_0 = 0,115\text{ мм}$ . Путем геометрических построений (см. рис. 2) и проведения необходимых вычислений найдем, что другой опорной фигурой будет являться равнобедренный треугольник с углом при вершине  $\beta = 90^\circ$ ;  $a = 1\text{ м}$ ;  $h = 0,5\text{ м}$ ;  $A = 0,25\text{ м}^2$ ;  $K_f = 11,669$ ;  $w_0 = 0,0037\text{ мм}$ .

По опорным решениям, применив методику МИКФ, получим:

Литература:

1. Поля Г., Сега Г. Изопериметрические неравенства в математической физике. — [Текст] / Поля Г., Сега Г — М.: Госматиздат, 1962. — 336 с.
2. Коробко А.В. Геометрическое моделирование формы области в двумерных задачах теории упругости. — [Текст] / В.И. Коробко — М.: Изд-во АВС, 1999. — 320 с.
3. Коробко В.И. Изопериметрический метод в строительной механике. — Т. 1. [Текст] / В.И. Коробко — М.: Изд-во АСВ, 1997. — 396 с.

## Проектирование экспериментальной установки для весового эксперимента в аэродинамической трубе

Хоробрых Михаил Александрович, студент;

Фролов Владимир Алексеевич, кандидат технических наук, доцент

Самарский государственный аэрокосмический университет им. С.П. Королева

### 1 Весы аэродинамические

Весы аэродинамические — установка или система для измерения составляющих аэродинамических сил и моментов, действующих на модель в аэродинамической трубе. Каждая составляющая воспринимается отдельным измерительным каналом — компонентом. Аэродинамические весы могут иметь от одного до шести компонентов.

$$n = \frac{\ln(W_{02}/W_{01})}{\ln(K_{f2}/K_{f1} \cdot A_1/A_2)} = \frac{\ln(0,0037/0,115)}{\ln(11,669/8 \cdot 1/0,25)} = -1,948;$$

$$W_0 = W_{01} \cdot \left( K_{f2}/K_{f1} \cdot A_1/A_2 \right)^n,$$

$$W_0 = 0,115 \cdot (8,2935/8 \cdot 1/0,825)^{-1,948} = 0,0737\text{ мм},$$

что отличается от решения, полученного МКЭ, на 3,07%.

Таким образом, применение МИКФ позволяет получать простые аналитические зависимости для определения максимального прогиба в задачах поперечного изгиба пластинок. Этот метод позволяет также производить контрольные проверки решений для конкретных видов пластинок, полученных другими приближенными способами, путем построения этих фигур с помощью различных геометрических преобразований.

По принципу действия аэродинамические весы подразделяются на механические и электрические (тензометрические).

Механические аэродинамические весы состоят из жёсткой рамы (расположена за границами потока аэродинамической трубы) и связанных между собой рычажных систем, удерживающих её в положении равновесия; выходные звенья рычажных механизмов соединены с изме-

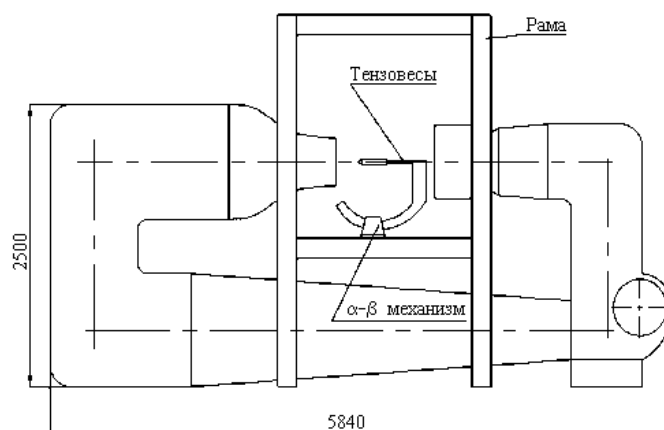


Рис. 1. Состав аэродинамической трубы

рительными приборами. Модель устанавливается на раме с помощью стоек или растяжек; имеется также механизм дистанционного изменения углов установки модели. В процессе эксперимента усилие, развиваемое выходным звеном какой-либо рычажной системы, пропорционально одноимённой составляющей аэродинамической силы или момента, действующей на модель. Измерение усилия осуществляется при помощи автоматических коромысловых весовых элементов с подвижными грузами либо электрическими динамометрами. В том и другом случаях значение усилия преобразуется в электрический сигнал с целью его регистрации и дальнейшей обработки на электронно-вычислительной машине. Полный диапазон измерения механических весов разбивается на ряд поддиапазонов. Погрешность весов, приведённая к 0,05%.

Электрические аэродинамические весы состоят из упругого тела, чувствительных элементов и преобразователей деформации чувствительных элементов (обычно тензорезисторных) в электрический сигнал. Чувствительные элементы выполнены вместе с телом и ориентированы так, чтобы деформация элемента, вызванная соответствующей составляющей аэродинамической силы или момента, была максимальной. Различают два типа электрических аэродинамических весов — с вынесенными чувствительными элементами и с элементами, расположенными внутри модели. Для измерения всего диапазона возможных значений составляющих аэродинамической силы и момента, реализуемых в данной аэродинамической трубе, обычно требуется ряд аэродинамических весов. Погрешность электрических аэродинамических весов, приведённая к диапазону, составляет 0,3–0,5%.

## 2 Аэродинамическая труба

### 2.1 Основные параметры трубы

Аэродинамическая труба Т-3 СГАУ (Рисунок 1) является трубой малых скоростей, замкнутого типа с открытой рабочей частью. Коэффициент поджатия сопла равен 6 (отношение площади поперечного сечения фор-

камеры к площади рабочей части). Рабочая часть трубы открытая, длиной 1 м. Поперечное сечение сопла прямоугольное 0.4x0.6 м, со скошенными углами. Для перемещения исследуемой модели рабочая часть оборудована  $\alpha-\beta$  механизм. Диапазон перемещения модели по углу  $\alpha$  [ $-10^\circ; +20^\circ$ ], по углу  $\beta$  [ $-20^\circ; +45^\circ$ ]. Поток в рабочей части трубы создаётся центробежным вентилятором, ротор которого представляет собой крыльчатку. Скорость потока задается до 50 м/с за счет изменения числа оборотов двигателя вентиляторной установки. Минимальная скорость, которая может поддерживаться автоматизированной системой 2 м/с.

### 2.2 Воздушный тракт

Воздушный тракт трубы (рисунок 2) состоит из сопла, открытой рабочей части, входного диффузора, обратного канала с поворотными коленами, форкамеры с хонейкомбом и сеткой.

Поток в рабочей части трубы создаётся центробежным вентилятором, ротор которого представляет собой крыльчатку. В контуре имеются 4 поворотные колена. За рабочей частью расположен входной двухконтурный диффузор, который представляет собой расширяющийся канал, обеспечивающий торможение потока с наименьшими потерями и, тем самым, эффективное превращение кинетической энергии в энергию давления. В корпусе диффузора выполнены инжекторные регулируемые окна, предназначенные для снижения пульсаций потока. Сетка служит для датурбулизации воздушного потока на входе в вентилятор. Обратный канал представляет собой канал переменного сечения с поворотными коленами и вентиляторным отсеком. В первом поворотном колене располагаются профилированные направляющие лопатки, разворачивающие поток на  $90^\circ$  и уменьшающие завихрения потока на поворотах. Во втором — диаметральный вентилятор сварной конструкции. В третьем и четвертом поворотных коленах также имеются профилированные направляющие лопатки. За четвертым поворотным коленом в форкамере установлен металлический хонейкомб, служащий для выравнивания потока по направлению и пред-

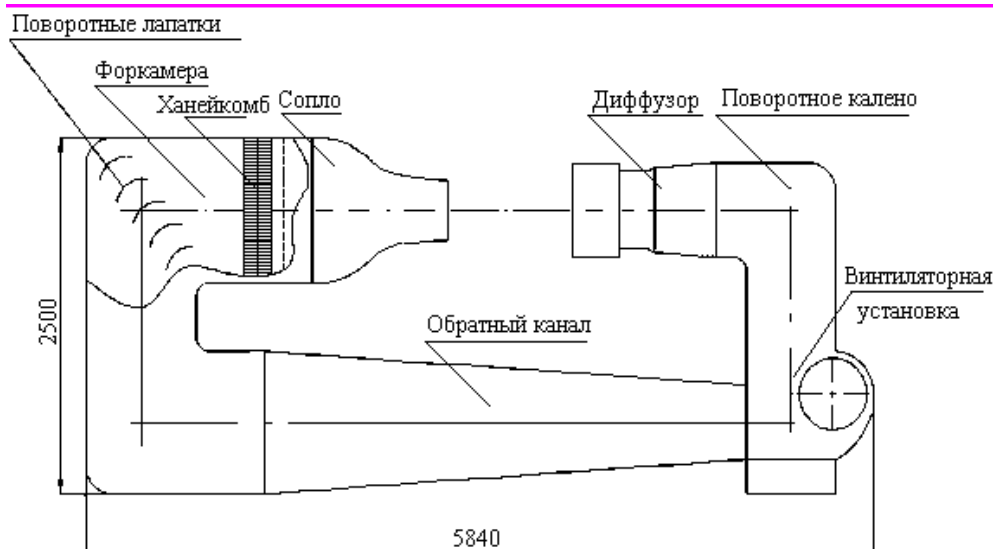


Рис. 2. Воздушный тракт трубы

ставляющий собой сотовый блок из стальных пластин. За хонейкомбом стоит специальная детурбулизирующая сетка, которая гасит возмущения и уменьшает неравномерности распределения скорости потока по сечению форкамеры.

### 2.3 Привод и вентилятор

Поток в рабочей части трубы создаётся центробежным вентилятором, ротор которого представляет собой крыльчатку. Вентилятор приводится в движение электродвигателем постоянного тока мощностью 45 кВт. Для питания электродвигателя используется тиристорные преобразователь ТЕ4–100/460 дополненный системой принудительного воздушного охлаждения. Система управления питанием электродвигателя имеет обратную связь по частоте вращения. В качестве задатчика оборотов используется ЦАП установленный в управляющей ПЭВМ.

### 3 $\alpha$ - $\beta$ механизм

$\alpha$ - $\beta$ -механизм (рисунок 3) предназначен для установки модели в рабочей части аэродинамической трубы, с требуемыми углами атаки  $\alpha$  и скольжения  $\beta$ . Величины углов  $\alpha$  и  $\beta$  задаются программно. Основой механизма является основание и корпус с вертикальной осью вращения. Для крепления тензосовесов имеется стальной кронштейн, который жестко связан с зубчатым колесом. Электрожгут связи тензосовесов с измерительной системой проложен в канале, находящемся под обтекателем. Диапазон перемещений модели по углу  $\alpha$   $[-10^\circ; +20^\circ]$ , по углу  $\beta$   $[-20^\circ; +45^\circ]$ . Перемещения  $\alpha$ - $\beta$ -механизма осуществляются двумя двигателями постоянного тока типа ДП-50. Для контроля скорости вращения двигателя оснащены тахогенераторами.

#### 3.1 Средства измерения

Аэродинамические тензосовесы состоят из упругого тела, чувствительных элементов (профрезерованных соответ-

ствующим образом балок) и преобразователей деформаций (мосты тензорезисторов) в электрический сигнал. Чувствительные элементы выполнены вместе с телом тензосовесов как одно целое и ориентированы так, чтобы деформации элементов, вызванные соответствующей составляющей аэродинамической силы или момента, были максимальными.

Конструкция тензосовесов такова, что позволяет измерять силы и моменты относительно заданной точки. Эта задача для  $Y$ ,  $M_z$  и для  $Z$ ,  $M_y$  решается при помощи двух упругих элементов установленных так, что по отношению друг к другу они выполняют роль кинематического элемента. При этом центральный стержень подвергается поперечному изгибу и воспринимает на себя большую часть силы. Наружные элементы являются звеньями упругого параллелограмма и совершают поступательное движение. Пара сил момента воспринимается наружными элементами, нагружаемыми силами противоположного знака. При этом центральный стержень играет роль упругого шарнира, относительно которого происходит поворот звена.

### 4 Проектирование математической модели

Для проектирования был выбран профиль GA (W)-1 [1]. На рис. 4 приведены координаты профиля GA (W)-1 в процентах от зависимости от хорды профиля.

При выбранное хорде  $b = 200$  мм, получаем координаты (таблица 1).

Зная координаты верхней и нижней поверхности профиля построим контур профиля (рисунок 5).

Проектирование модели крыла с вихревыми ячейками проводилось в программном пакете SolidWorks [2]. Программный комплекс SolidWorks предназначен для автоматизации работ промышленного предприятия на этапах

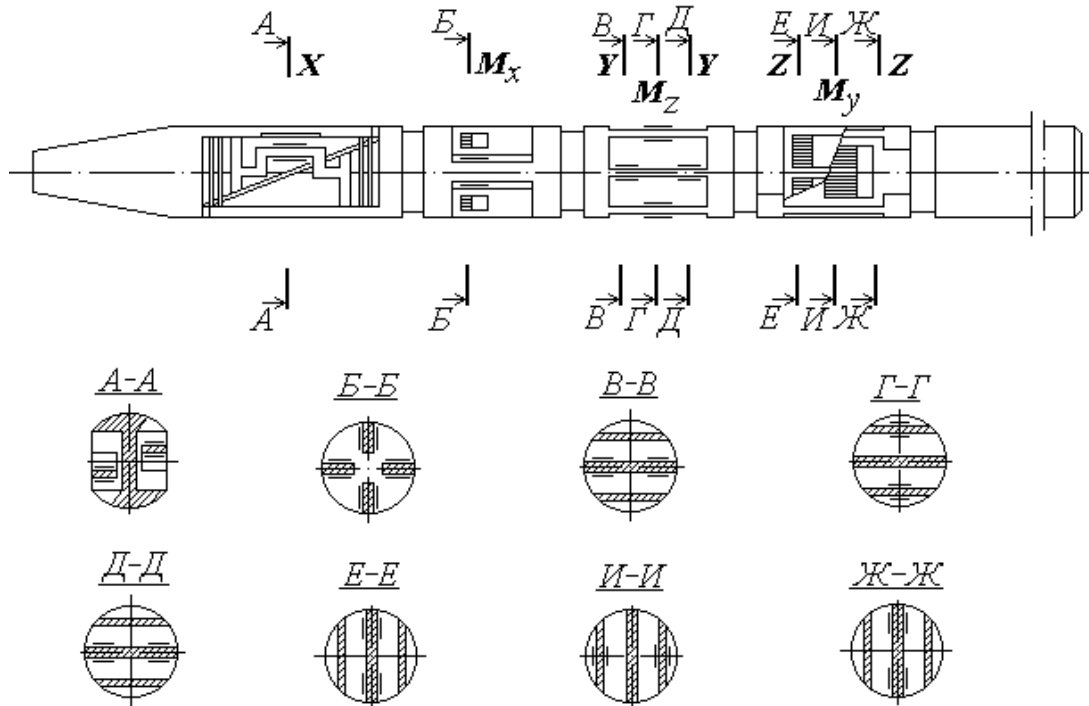


Рис. 3. Аэродинамические тензосесы

ПРОФИЛЬ NASA GA(W)-1  
 $c = 0,17$

$\bar{x}, \%$	$\bar{y}_s, \%$	$\bar{y}_n, \%$
0,000	0,000	0,000
0,200	1,300	-0,974
0,500	2,035	-1,444
1,250	3,069	-2,052
2,500	4,165	-2,691
3,750	4,974	-3,191
5,000	5,600	-3,569
7,500	6,561	-4,209
10,000	7,309	-4,700
12,500	7,909	-5,087
15,000	8,413	-5,426
17,500	8,848	-5,700
20,000	9,209	-5,926
25,000	9,778	-6,265
30,000	10,169	-6,448
35,000	10,409	-6,517
40,000	10,500	-6,483
45,000	10,456	-6,344
50,000	10,289	-6,091
55,000	9,917	-5,683
57,500	9,674	-5,396
60,000	9,374	-5,061
62,500	9,013	-4,678
65,000	8,604	-4,265
67,500	8,144	-3,830
70,000	7,639	-3,383
72,500	7,096	-2,930
75,000	6,517	-2,461
77,500	5,913	-2,030
80,000	5,291	-1,587
82,500	4,644	-1,191
85,000	3,983	-0,852
87,500	3,313	-0,565
90,000	2,639	-0,352
92,500	1,965	-0,248
95,000	1,287	-0,257
97,500	0,604	-0,396
100,000	-0,074	-0,783

Рис. 4. Координаты профиля GA (W)-1

Таблица 1. Координаты профиля GA (W)-1 при b = 200 мм

$Y_b$	$Y_H$	x
0,000	0,000	0,000
2,600	-1,948	0,400
4,070	-2,888	1,000
6,138	-4,104	2,500
8,330	-5,382	5,000
9,948	-6,382	7,500
11,200	-7,138	10,000
13,122	-8,418	15,000
14,618	-9,4	20,000
15,818	-10,174	25,000
16,826	-10,852	30,000
17,696	-11,4	35,000
18,418	-11,852	40,000
19,556	-12,53	50,000
20,338	-12,896	60,000
20,818	-13,034	70,000
21,000	-12,966	80,000
20,912	-12,688	90,000
20,538	-12,182	100,000

$Y_b$	$Y_H$	x
19,834	-11,366	110,000
19,348	-10,792	115,000
18,748	-10,122	120,000
18,026	-9,356	125,000
17,208	-8,53	130,000
16,288	-7,66	135,000
15,278	-6,766	140,000
14,192	-5,86	145,000
13,034	-4,922	150,000
11,826	-4,06	155,000
10,582	-3,174	160,000
9,288	-2,382	165,000
7,966	-1,704	170,000
6,626	-1,13	175,000
5,278	-0,704	180,000
3,930	-0,496	185,000
2,574	-0,514	190,000
1,208	-0,792	195,000
-0,148	-1,566	200,000

конструкторской и технологической подготовки производства изделий любой степени сложности и назначения. Специализированные модули программного комплекса решают задачи на этапе производства и эксплуатации.

На рис. 6-9 приведены результаты проектирования модели профиля крыла в разобранном виде и в сборе.

### 5 3D-печать

До недавнего времени процесс проектирования и изготовления аэродинамических моделей занимал до нескольких недель, а порой и месяцев. Процесс изготовления аэродинамических моделей во многом совпадает с более общим процессом, имеющим место в промышленности, который имеет название «прототипирование». Процесс прототипирования это создание объектов по их компьютерной 3D-модели. Сфера разработки и изготовления макетов находится в постоянном развитии, что способствует появлению новых инструментов и приёмов.

Пожалуй, самым ярким примером такого развития является технология быстрого прототипирования (Rapid Prototyping) или как её ещё называют – 3D-печать. С помощью 3D-принтеров можно в кратчайшие сроки создать образцы практически любых объектов, в том числе макеты зданий, промышленных конструкций, элементов сложных механизмов и многое другое.

Достигается это за счёт так называемого процесса «наращивания» объекта с использованием специальных компонентов по заранее подготовленной компьютерной 3D-модели.

Данный метод изготовления моделей является более быстрым, точным и недорогим по сравнению с традиционным методом изготовления аэродинамических моделей.

3D-принтеры компании Z Corporation [3] отличаются от конкурентных мировых аналогов высокой производительностью, хорошей цветопередачей и наименьшей стоимостью изготовления прототипов.

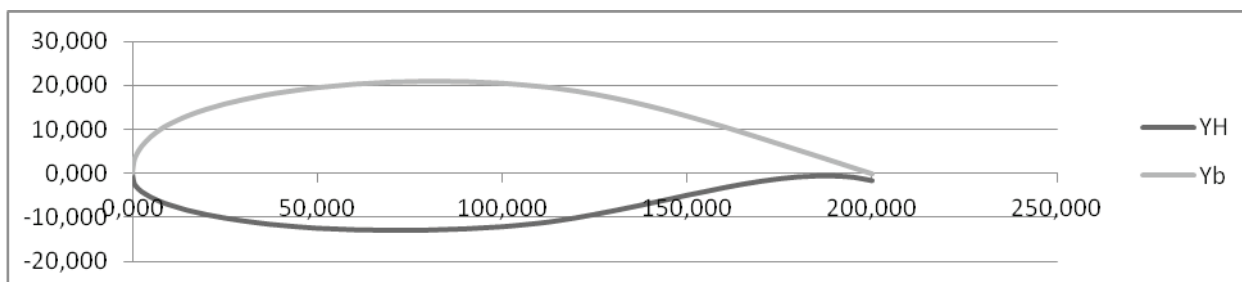


Рис. 5. Контур профиля

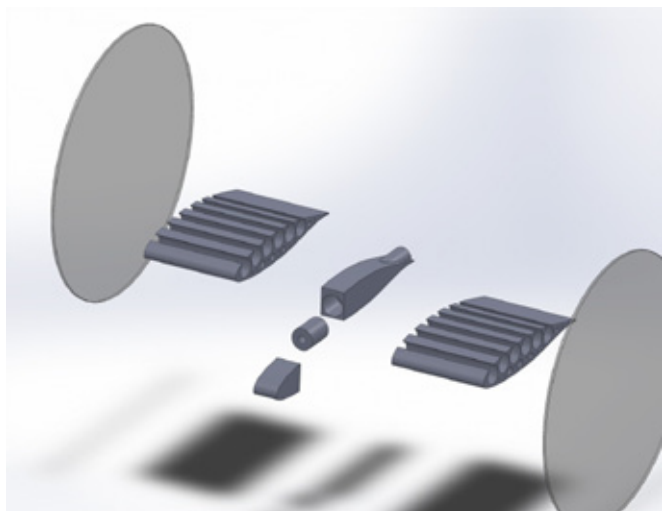


Рис. 6. Разобранная модель (вид спереди)

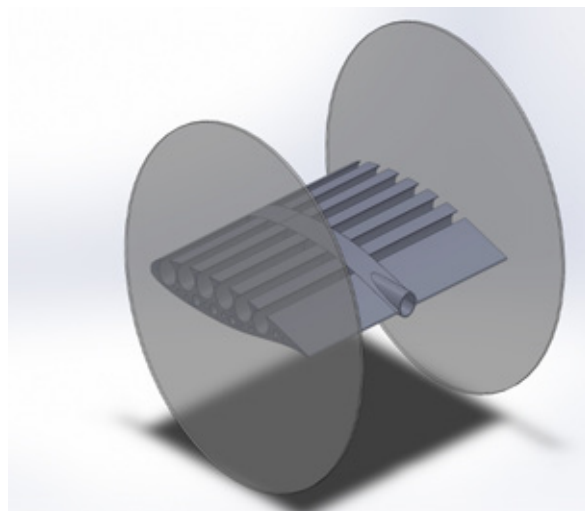


Рис. 8. Собранная модель (вид сзади)

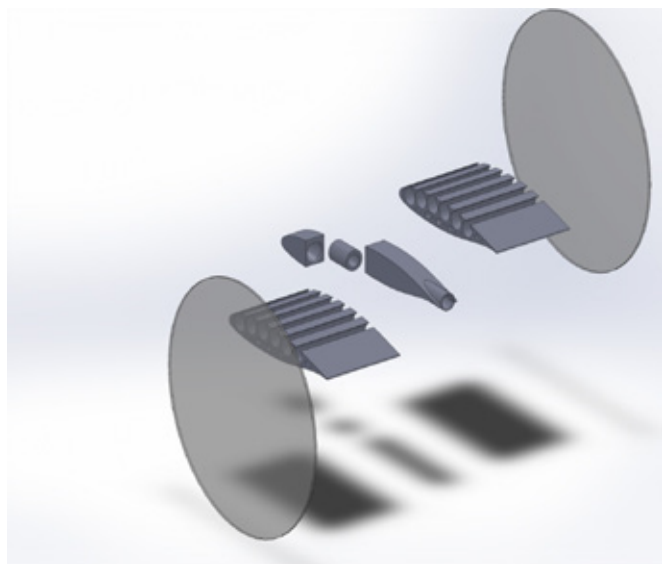


Рис. 7. Разобранная модель (вид сзади)

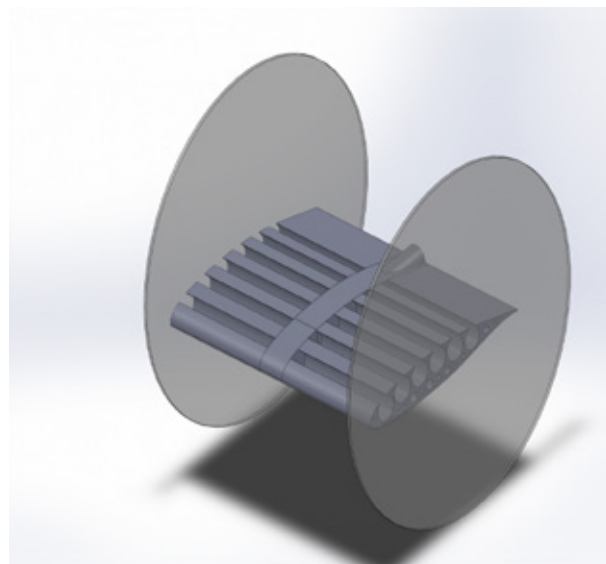


Рис. 9. Собранная модель (вид спереди)



Рис. 10. 3D-принтер компании Z Corporation

Ниже приводятся основные характеристики 3D-принтера Spectrum Z™ 510:

- скорость печати: 2 слоя в минуту;
- размеры рабочей части: 254×356×203мм;
- толщина одного слоя: 0,0875 мм;
- разрешение печати: 600×540 dpi;
- количество печатающих головок: 4.

Возможные материалы: высококачественные композитные материалы, материалы для непрерывного литья, стандартным материалом является порошок на основе гипса.

Для подсчёта стоимости будущего изделия учитывается не габаритный, а только полезный объём 3D-модели. Изделия проектируются пустотелыми для экономии используемого материала и уменьшения полезного объёма модели. Примерная стоимость рассчитывается исходя из  $1\text{см}^3 = 40\text{ руб.}$ , в зависимости от сложности 3D-модели и её размеров.

Литература:

1. Кашафутдинов С.Т., Лушин В.Н. Атлас аэродинамических характеристик крыловых профилей. — М.: Сибирский научно-исследовательский институт авиации им. С.А. Чаплыгина, 1994. — 74 с.
2. Прохоренко В.П. SolidWorks. Практическое руководство. — М.: Бином, 2004. — 289 с.
3. Rev J. Spectrum Z™510 3D Printer. Hardware manual. 08 2007, from <http://isites.harvard.edu/is/docs/icb.topic907832.files/ZCorp-Z510-UserManual.pdf>

## Применение ШИМ в регулировании освещенности рабочего места

Шиколенко Илья Андреевич, студент;  
Завьялов Владимир Андреевич, доктор технических наук  
Московский государственный строительный университет

*В статье рассматривается применение широтно-импульсной модуляции в регулировании освещенности рабочего места.*

В настоящее время наибольшую популярность завоевывают светодиодные источники освещения (светодиодные лампы, светодиодные ленты). Их основным достоинством является низкое энергопотребление (за счет малых значений питающего напряжения и тока) и высокий ресурс работы и при соответствующем спектре излучения оказывает благоприятное воздействие на организм работника.

Недостатком существующих систем светодиодного освещения является отсутствие возможности плавного включения освещения и зависимости искусственного освещения от естественного.

В настоящее время чаще всего рабочее место освещается искусственным или комбинированным (естественное + искусственное) светом.

Авторами статьи предлагаются следующие изменения в существующей схеме освещения для достижения максимального удобства:

1. Применение светодиодных ламп или светодиодных лент вместо стационарных ламп накаливания и ламп дневного света;
2. Использование двух и более фотодатчиков;
3. Применение ШИМ для осуществления плавного регулирования уровня освещения рабочего места.

Применительно к автоматическому регулированию освещения рабочего места, следует заметить, что яркость

свечения большинства светодиодов зависит от силы тока питающего напряжения.

Внедрение светодиодного, автоматически регулируемого, освещения осуществляется для достижения следующих целей:

1. Снижение энергопотребления;
2. Достижение максимальной равномерности освещения (уменьшение количества затененных участков);
3. Достижение равномерности освещения в течение смены (отсутствие заметной разницы в естественном и искусственном освещении);
4. Увеличение КПД осветительного оборудования;
5. Управление освещением индивидуального рабочего места каждого конкретного человека, а не всего помещения в целом. Таким образом подстраивается освещение под конкретного человека и расположение конкретного рабочего места;
6. Применением ШИМ в регулировании освещения рабочего места;
7. Поддержание уровня освещения на заданном уровне с учетом других источников освещения (естественное, общее освещение помещения);
8. Создание распределенного освещения, а не сосредоточенного.

Для проверки целесообразности введения указанных выше изменений была проведена серия экспериментов.

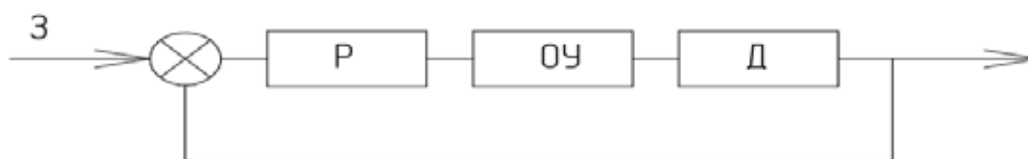


Рис. 1. Структура САУ, где З – задающее устройство, Р – регулятор, ОУ – объект управления, Д – датчик.



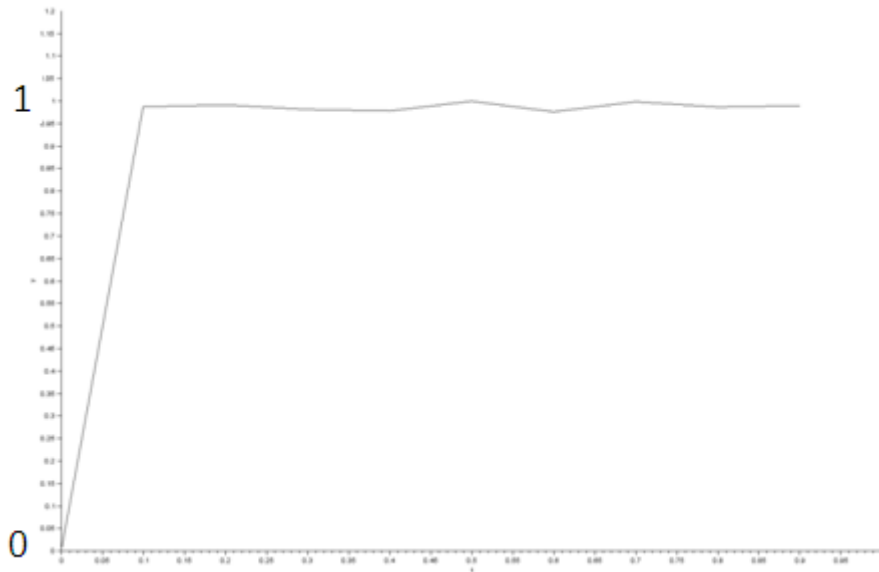


Рис. 2. Реакция системы на единичное ступенчатое воздействие

ШИМ-регулятор имеет следующую передаточную функцию:

$$W_p(p) = K_1 \frac{e^{-p\tau_0}}{T_1 p + 1}$$

При высокой частоте  $f$  ШИП можно считать безинерционным звеном и в первом приближении пренебречь величинами  $T$  и  $\tau_0$  и принять  $W(s) = K[1]$ .

Источник светодиодного освещения, как объект регулирования, представляет собой апериодическое звено [2]:

$$W_{oy}(p) = \frac{K_2}{T_2 p + 1}$$

Датчик, как объект регулирования, представляет собой апериодическое звено [2]:

$$W_d(p) = \frac{K_3}{T_3 p + 1}$$

Система управления должна отвечать следующим критериям:

1. Установившаяся ошибка регулирования  $e \rightarrow 0$
2. Перерегулирование  $\sigma \rightarrow 0$
3. Время регулирования  $t \leq 1$  с

4. Допустимое напряжение на выходе регулятора  $U \leq 12V$

Проведем расчет системы управления.

$$W(p) = W_p(p) * W_{oy}(p) * W_d(p)$$

$$W(p) = K_1 \frac{e^{-p\tau_0}}{T_1 p + 1} * \frac{K_2}{T_2 p + 1} * \frac{K_3}{T_3 p + 1}$$

$$K_0 = K_1 * K_2 * K_3$$

$$W(p) = \frac{K_0 * e^{-p\tau_0}}{(T_1 p + 1) * (T_2 p + 1) * (T_3 p + 1)}$$

Рассмотрим реакцию системы на единичное ступенчатое воздействие.

Числовой пример расчета синтезированной системы автоматического регулирования произведен при следующих значениях её параметров.

$$K_1 = 2,2, K_2 = 1,3, K_3 = 0,3, T_1 = 0,005, T_2 = 0,05, T_3 = 0,02.$$

Рассмотрим зависимость комфортного освещения рабочего места от времени суток.

Средняя освещенность естественным светом рабочей поверхности внутри помещения обычно составляет

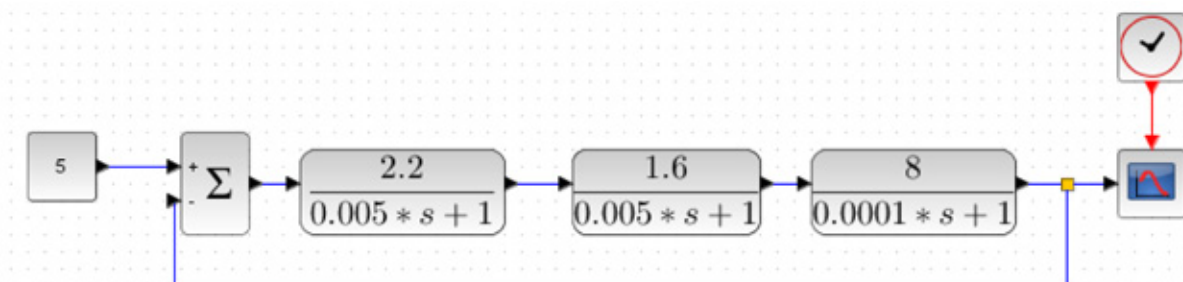


Рис. 3. Модель системы управления

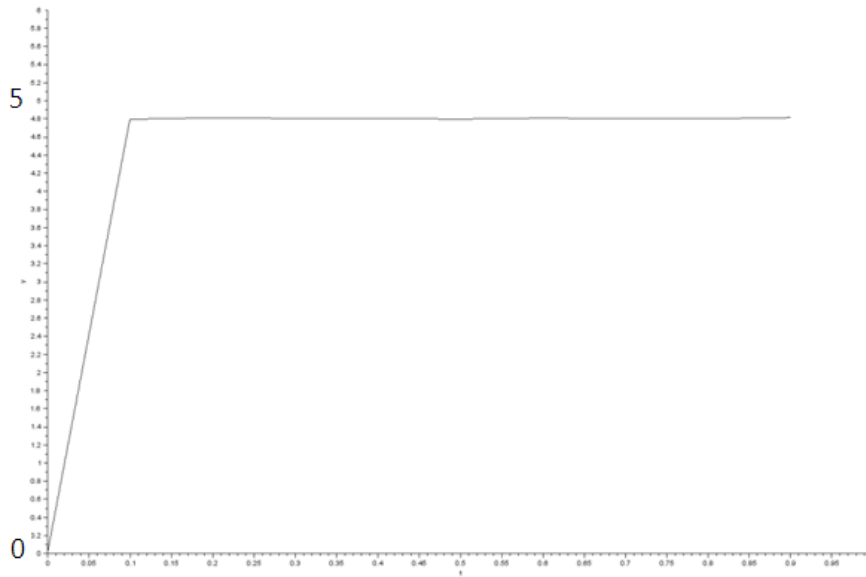


Рис. 4. Переходная характеристика математической модели

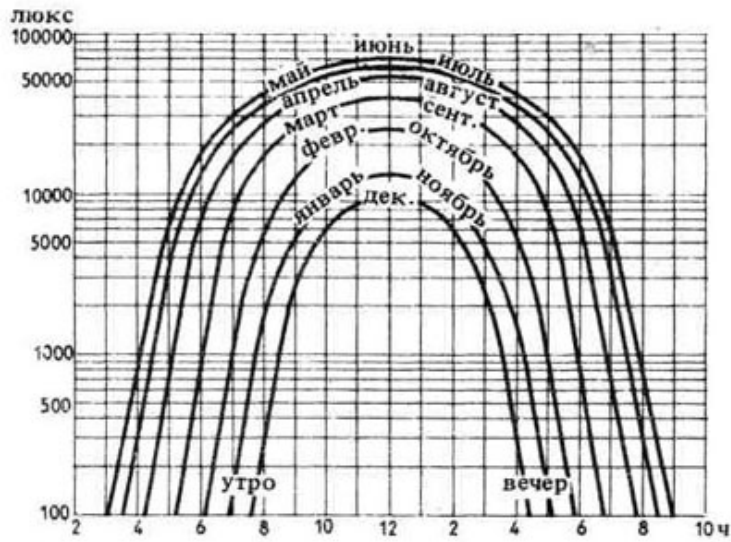


Рис. 5. График суточного изменения средней освещённости горизонтальной поверхности на открытом воздухе

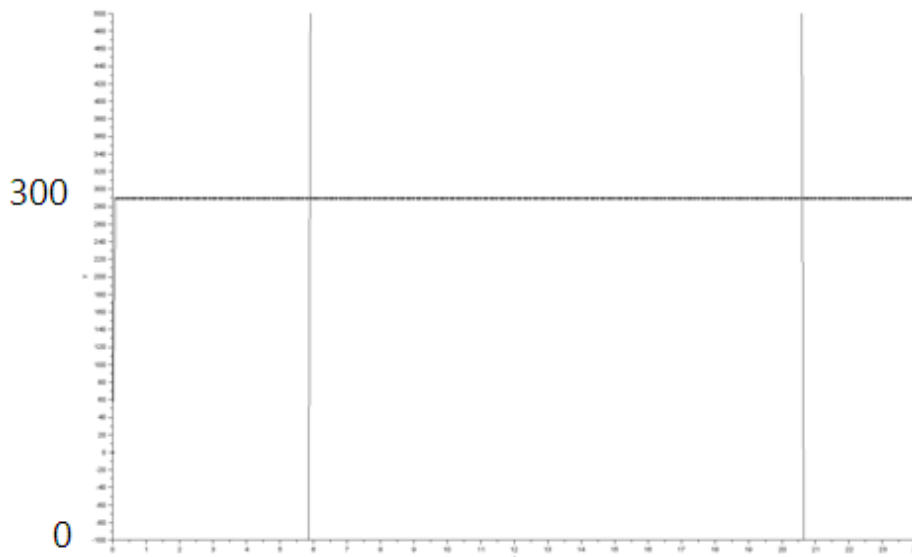


Рис. 6. График взаимосвязи уровня регулируемого искусственного и естественного освещений

10–15% от естественной освещенности. Это связано с изменением положения Солнца и образованием тени в условиях городской застройки.

Освещенность рабочей поверхности для большинства производств, как правило, составляет 300 лк [4, Табл. 1, характеристика зрительной работы средней точности.].

В результате проведения ряда экспериментов с различными входными параметрами были выявлены следу-

ющие достоинства предлагаемой схемы:

Нет необходимости в использовании порогового реле, при котором включается искусственное освещение, т.к. требуемый уровень освещения поддерживается на постоянном оптимальном уровне, согласованном с внешним естественным освещением;

Освещение является равномерным, наличие вертикальных теней сводится к минимуму.

Литература:

1. [http://imed.narod.ru/el\\_mech/pwm.htm](http://imed.narod.ru/el_mech/pwm.htm)
2. Завьялов, В.А. Методические основы теории автоматического управления: учебное пособие / В.А. Завьялов, К.Е. Горшков, И.В. Редин. — М.: МГСУ, 2009. — 75 с.
3. <http://arx.novosibdom.ru/node/188>
4. СНиП 23–05–95, Естественное и искусственное освещение.

## Технические аспекты работы библиотек

Яргин Сергей Вадимович, кандидат технических наук, доцент  
Российский университет дружбы народов (г. Москва)

*Limited access to foreign professional literature has consequences for research and practice: persistence of some outdated methods. The shortage of foreign literature has been partly compensated by domestic editions, containing compilations from foreign sources, borrowings without references, and mistranslations. International literature is scarcely quoted in some scientific publications. Drawbacks in the works of two large libraries are discussed here. Today, however, there are grounds for optimism: the economic upturn must bring improvements.*

Ограниченный доступ к профессиональной литературе отрицательно сказывается на образовании, науке и практике [1, 2]. О недостатках в работе Государственной Центральной Научной Медицинской Библиотеки (ГЦНМБ) сообщалось ранее [1]. В условиях безответственной медицинской рекламы и приоритета коммерческих интересов над медицинской этикой среди части врачей и организаторов здравоохранения, доступ к медицинской литературе необходим не только специалистам, но также некоторым больным или их родственникам. В 90-е и в начале 2000-х годов большинство иностранных журналов из Зала текущей периодики ГЦНМБ были перемещены в подвал. Журналы из подвала выдавались редко («платная услуга»), позже выдача была прекращена совсем; в подвале было затопление, и часть журналов была испорчена (Рис. 1–3).

Большинство иностранных журналов за 90-е и часть — за 2000-е годы по-прежнему находятся в подвале и читателям не выдаются. Финансирование науки сегодня улучшается, журналы нужны для обзоров литературы т.п., учреждениям и отдельным специалистам приходится заказывать статьи через интернет за деньги. Это не может полностью заменить работу с журналами: выпуски бывают тематическими, их иногда полезно просматривать. Среди причин перемещения журналов в подвал

называют нехватку помещения. На самом деле, места в библиотеке много, но часть помещений занята ММУ им. И.М. Сеченова, другими учреждениями и фирмами. У библиотеки забрали весь верхний этаж, где раньше располагался читальный зал. Сейчас там проходят занятия; шум мешает читателям библиотеки. Другое просторное помещение занято «Выставочным залом», где продают иностранную литературу. Участие сотрудников библиотеки в продажах книг создает конфликт интересов: в библиотеке трудно найти даже немногие имеющиеся иностранные руководства по практическим разделам медицины. Основные иностранные учебники и руководства должны находиться в Зале открытого доступа. Консультанты не всегда проводят различие между учебниками (которые в первую очередь нужны преподавателям и студентам) и руководствами, которые необходимы специалистам-практикам. Необходимо также отметить малое количество закупаемых иностранных книг (в первую очередь — руководств по практическим разделам медицины) и журналов. В последние годы количество закупаемых журналов увеличилось; однако выбор журналов для закупки иногда осуществляется по непонятным критериям, приобретаются малоизвестные журналы со статьями по узким темам. Такие статьи можно заказывать через интернет. Покупать на бумаге

желательно в первую очередь известные научные и общемедицинские журналы, а также основные журналы по разделам медицины, по рекомендации профессоров и специалистов, не связанных коммерческими интересами. Среди прочих недостатков необходимо отметить следующие. Электронный каталог работает через интернет с перебоями. В зале текущей периодики многие тонкие журналы стоят вертикально, в результате чего они мнутся (Рис. 4): тонкие журналы должны лежать горизонтально. В переплетенных журналах иногда закрыта часть текста у корешка. В читальном зале душно, особенно летом. Годами не работает буфет. Гардеробщицы и охранники заставляют докторов покупать и надевать бахилы. Охранники на посту разуваются и смотрят телевизор; к докторам иногда обращаются «мужчина!», что, по мнению автора, не является моральным оправданием, но может, в некоторых случаях, служить психологическим объяснением упомянутых выше нарушений медицинской этики. В условиях отказа от медицинской этики в качестве средства против описываемых явлений можно испытать ректальную инфузию раствора аминазина некоторым принимающим решения лицам. В туалетах бывает грязно, часто отсутствуют мыло, бумажные полотенца [3]. Зимой бывает некому очистить ото льда ступени. Персонал (ксерокса, компьютерного зала) нередко шумит, мешая читателям.

Помимо упомянутых выше, среди первоочередных мер можно назвать следующие: вернуть библиотеке верхний этаж, где раньше располагался читальный зал, за счет чего можно расширить основное хранилище. Переместить туда все журналы из подвала. В хранилище желательно переместить все журналы за период 1990–2010 гг., разгрузив Зал текущей периодики. Упростить систему поиска литературы с помощью электронного каталога, подготовить краткую и понятную инструкцию: как отдельно искать статьи и книги, русскую и иностранную литературу. Все приобретенные библиотекой иностранные книги, находящиеся в Выставочном зале, должны быть занесены в электронный каталог, иначе их трудно найти. Продажу книг можно оставить, если это не будет влиять на выбор приобретаемой библиотекой литературы и консультирование читателей. Разрешить проносить в библиотеку ноутбуки в соответствующих чехлах или сумках (по примеру Российской Государственной Библиотеки). Следить за тишиной в читальном зале, в т.ч. чтобы был отключен звук в ноутбуках. В читальном зале наладить кондиционирование воздуха; кондиционеры должны регулярно проходить техническое обслуживание (иначе не исключен вред для здоровья).

#### Литература:

1. Яргин С. О недостатках в работе ГЦНМБ. Библиотечное дело 2008, №03 (69), стр. 36.
2. Jargin S.V. Eingeschränkter Zugang zur internationalen medizinischen Fachliteratur in der ehemaligen Sowjetunion. Wiener medizinische Wochenschrift 2012, V 162, N 11–12, p. 272–5.

Недостатки в работе Российской Государственной Библиотеки (РГБ), во многом подобны описанным выше. Значительная часть иностранных научных журналов и книг была перемещена в филиал в Химках. Журналы за 1980-е годы и старше, перемещенные в Химки, бывают нужны исследователю и практику; в то же время, они часто недоступны через интернет. Новые журналы подолгу находятся в переплете (в 2012 г. переплетался 2009 г.) Свежие журналы часто нужны читателям; переплетать нужно журналы 15-летней давности или старше. В переплетенных журналах текст иногда слишком близок к корешку, что мешает копированию. Электронный каталог в РГБ не позволяет отдельно искать русскую и иностранную литературу, не учитывает инициалы авторов. Желательно сократить время выполнения заказов. Отмеченное выше по отношению к ГЦНМБ о закупках иностранной литературы относится также к РГБ. Наряду с имеющимися отделами профессионального копирования, в обеих библиотеках желательно установить карточные копировальные автоматы. Необходимо отменить запрет на сканирование и фотографирование в читальных залах (без вспышки и звуковых эффектов). Запрет на фотографирование ведет к бессмысленному расходу бумаги на копирование, трате времени в очередях, дискуссии с сотрудниками ксерокса и т.п. Желательно поставить больше мягких диванов и кресел: в пожилом возрасте не все могут подолгу сидеть на стульях. Рядом с диванами можно поместить таблички «для инвалидов и читателей старшего возраста», наладить освещение. В заключение хотелось бы выразить надежду, что в главном здании РГБ не будет производиться капитальный ремонт, как это было сделано в Доме Пашкова, где располагается ряд отделов РГБ [4]. Желательно ограничиться косметическим ремонтом с сохранением подлинности интерьера: лепнины, паркета, оконных наполнений и др. [5] По примеру зарубежных библиотек, в целях экономии времени, можно разрешить проходить в библиотеки в верхней одежде: некоторые читатели заходят только для заказа литературы. В заключение следует отметить, что затрудненный доступ к профессиональной литературе имеет отрицательные последствия, в частности, сохранение устаревших методов в практической работе [2]. Недостаточный доступ к иностранной литературе отчасти компенсируется компилятивными изданиями на русском языке, которые иногда содержат заимствования без ссылок и неточности перевода. В некоторых научных публикациях иностранная литература цитируется недостаточно, встречаются неточные цитаты. Сегодня, однако, ввиду успешного экономического развития, имеются все основания для оптимизма.



Рис. 1–3. Хранение журналов за 1990-е и 2000-е годы в подвале ГЦНМБ.  
Журналы из подвала читателям не выдаются. Часть журналов намокала при протечках.



Рис. 4. Тонкие журналы в зале текущей периодики ГЦНМБ стоят вертикально, в результате чего они мнутся. Это особенно нежелательно для журналов, содержащих морфологические иллюстрации, например, «Архив патологии».

3. Jargin S.V. On the causes of insufficient restroom environmental hygiene in the former Soviet Union. *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo* 2009, V 51, N 6, p. 353. <http://www.scielo.br/pdf/rimtsp/v51n6/v51n6a09.pdf>
4. Jargin S. Euroremont in Pashkov House. *Domus News* of 03 January 2010 <http://www.domusweb.it/en/news/euroremont-in-pashkov-house/>
5. Яргина З.Н., Яргин С.В. Эстетическая оценка реконструкции Москвы. *Архитектура и строительство Москвы*, 2010, №6, стр. 22–29. <http://annamoss.ru/esteticheskaya-ocenka-rekonstrukcii-moskvy>

## ИНФОРМАТИКА

### Программирование линейного асинхронного двигателя в MATLAB

Емельянов Александр Александрович, старший преподаватель;

Медведев Алексей Владимирович, аспирант;

Богатов Евгений Анатольевич, инженер;

Кобзев Антон Валерьевич, студент;

Бочкарев Юрий Павлович, студент

Российский государственный профессионально-педагогический университет, Институт электроэнергетики и информатики (г. Екатеринбург)

Математическая модель линейного асинхронного двигателя на основе магнитных схем замещения для исследования электромеханических переходных процессов приведена в статье [1].

Целью данной работы является изложение математической модели линейного асинхронного двигателя на основе электрических и магнитных схем замещения в доступной для понимания студентами форме. Данная работа является продолжением статьи [2], в которой опубликован без сокращения вывод математического аппарата. Для качественного восприятия системы в данной работе повторим основные моменты статьи [2] и покажем процесс перехода от выведенных формул к программированию в MATLAB.

Условное изображение линейного асинхронного двигателя приведено на рис. 1, а. В активной зоне индуктора (статора) в началах обмоток *A*, *B* и *C* условно примем токи со знаком «+», тогда в соответствующих концах обмоток *x*, *y* и *z* — знак «-». Для учета отрицательных токов необходимо умножить соответствующие элементы матрицы **A** на (-1). В шунтирующих зонах под набегающим и сбегающим краями примем по четыре зубцовых деления. На рис. 1, б приведена соответствующая магнитная схема замещения линейного асинхронного двигателя.

Запишем основные уравнения для «*n*»-ого участка схемы замещения.

#### Баланс магнитных напряжений магнитной цепи

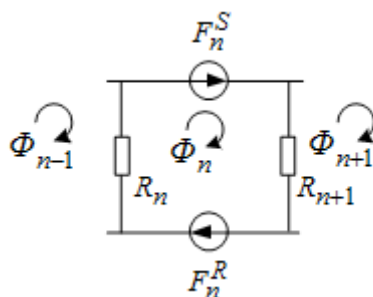


Рис. 2. Магнитная схема замещения

$\Phi_{n-1}, \Phi_n, \Phi_{n+1}$  — контурные магнитные потоки;

$R_n, R_{n+1}$  — магнитные сопротивления воздушных участков;

$F_n^S = \omega_n^S \cdot i_n^S$  — магнитодвижущая сила, созданная статорным током  $i_n^S$ , протекающим по всем проводникам паза ( $\omega_n^S$ );

$F_n^S = 0$  — в шунтирующих зонах;

$F_n^R = \omega_n^R \cdot i_n^R$  — М.Д.С. тока ротора в стержне ( $\omega_n^R = 1$ ).

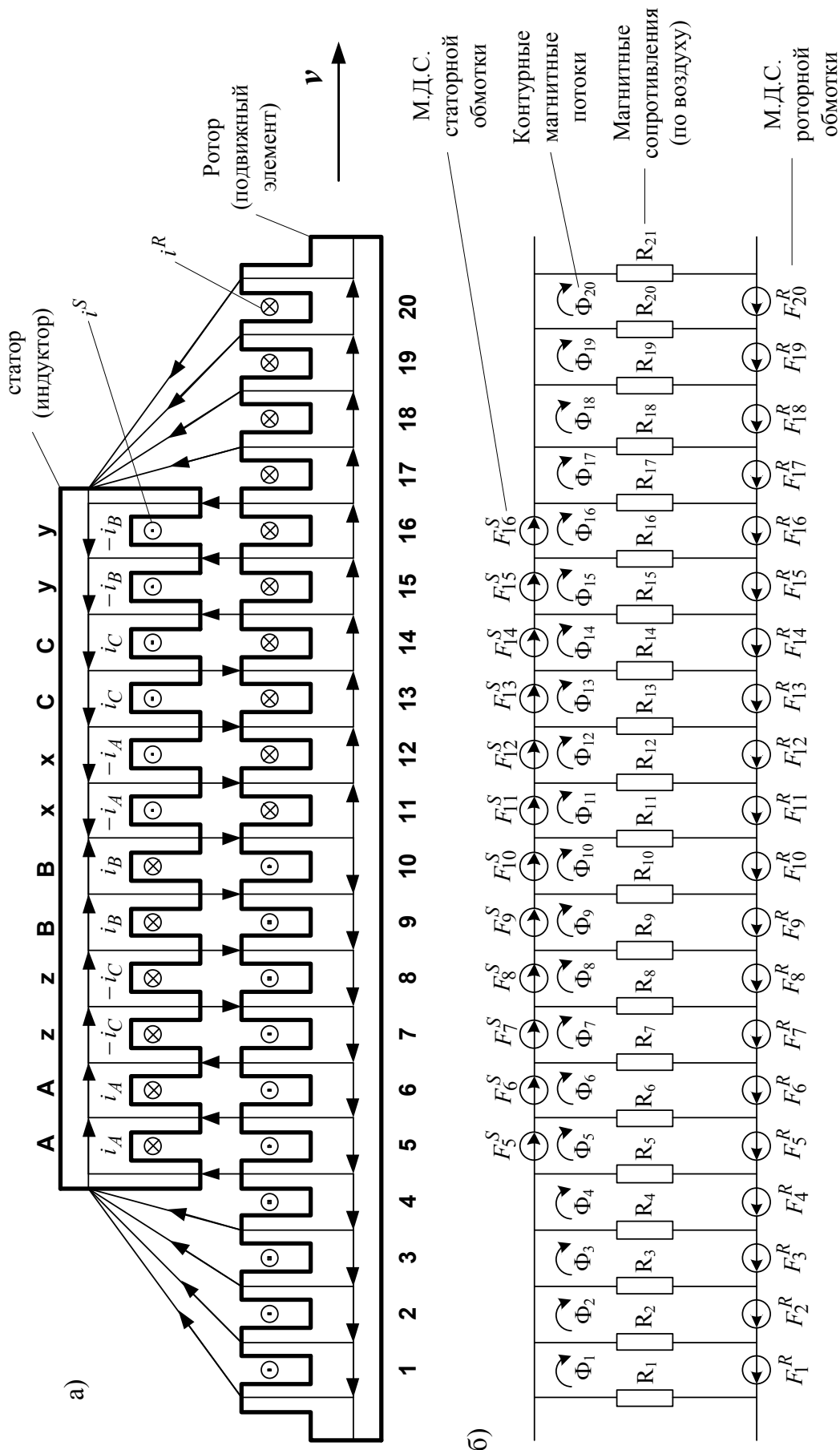


Рис. 1. а) Линейный асинхронный двигатель ( $2p=2, q=2$ ), б) Магнитная схема замещения



Баланс М.Д.С. для « $n$ »-го участка имеет следующий вид:

$$F_n^S + F_n^R = \Phi_n \cdot (R_{n+1} + R_n) - \Phi_{n+1} \cdot R_{n+1} - \Phi_{n-1} \cdot R_n.$$

Отсюда ток в стержне ротора определится по следующему выражению:

$$i_n^R = -\omega_n^S \cdot i_n^S - \Phi_{n-1} \cdot R_n + \Phi_n \cdot (R_{n+1} + R_n) - \Phi_{n-1} \cdot R_{n+1} \quad (1)$$

### Уравнение баланса напряжений электрической цепи ротора

$$r^r \cdot i_n^r + L^r \cdot \frac{\partial i_n^r}{\partial t} + L^r \cdot v \cdot \frac{\partial i_n^r}{\partial x} = -\frac{\partial \Phi_n}{\partial t} - v \cdot \frac{\partial \Phi_n}{\partial x} \quad (2)$$

Выразим производные во времени через конечные разности:

$$\frac{\partial i_n^r}{\partial t} = \frac{i_{n,k}^r - i_{n,k-1}^r}{\Delta t}; \quad \frac{\partial \Phi_n}{\partial t} = \frac{\Phi_{n,k} - \Phi_{n,k-1}}{\Delta t},$$

где  $n$  – номер зубцового деления;

$k$  – номер шага разбиения по времени.

В формуле (2) скорость подвижного элемента принимаем равным  $v = v_{k-1}$  и в пределах « $k$ » интервала считается постоянным.

Производные по пространственной координате « $x$ » выразим через центральные конечные разности:

$$\frac{\partial i_{n,k}^r}{\partial x} = \frac{i_{n+1,k}^r - i_{n-1,k}^r}{2 \cdot t_z}; \quad \frac{\partial \Phi_{n,k}}{\partial x} = \frac{\Phi_{n+1,k} - \Phi_{n-1,k}}{2 \cdot t_z}.$$

С учетом вышеприведенных замечаний уравнение (2) примет следующий вид:

$$r^r \cdot i_{n,k}^r + L^r \cdot \frac{i_{n,k}^r - i_{n,k-1}^r}{\Delta t} + L^r \cdot v_{k-1} \cdot \frac{i_{n+1,k}^r - i_{n-1,k}^r}{2 \cdot t_z} = \frac{\Phi_{n,k} - \Phi_{n,k-1}}{\Delta t} - v \cdot \frac{\Phi_{n+1,k} - \Phi_n}{2 \cdot t_z} \quad (3)$$

Исключим из уравнения (3) токи в роторе. Для этого подставим выражение (1) в уравнение (3) и получим:

$$\begin{aligned} & \left[ \frac{\omega_n^S \cdot L^r \cdot v_{k-1}}{2t_z} \right] \cdot i_{n-1,k}^S + \left[ -\omega_n^S \cdot \left( r^r + \frac{L^r}{\Delta t} \right) \right] \cdot i_{n,k}^S + \left[ -\omega_n^S \cdot \frac{L^r \cdot v_{k-1}}{2t_z} \right] \cdot i_{n+1,k}^S + \left[ \frac{R_{n-1} \cdot L^r \cdot v_{k-1}}{2t_z} \right] \cdot \Phi_{n-2,k} + \\ & + \left[ -R_n \cdot \left( r^r + \frac{L^r}{\Delta t} \right) - ((R_n + R_{n-1}) \cdot L^r + 1) \cdot \frac{v_{k-1}}{2t_z} \right] \cdot \Phi_{n-1,k} + \\ & + \left[ (R_{n+1} + R_n) \cdot \left( r^r + \frac{L^r}{\Delta t} \right) + (R_n - R_{n+1}) \cdot \frac{L^r \cdot v_{k-1}}{2t_z} + \frac{1}{\Delta t} \right] \cdot \Phi_{n,k} + \\ & + \left[ -R_{n+1} \cdot \left( r^r + \frac{L^r}{\Delta t} \right) + ((R_{n+2} + R_{n+1}) \cdot L^r + 1) \cdot \frac{v_{k-1}}{2t_z} \right] \cdot \Phi_{n+1,k} + \left[ -R_{n+2} \cdot \frac{L^r \cdot v_{k-1}}{2t_z} \right] \cdot \Phi_{n+2,k} = \\ & = \left[ -\omega_n^S \cdot \frac{L^r}{\Delta t} \right] \cdot i_{n,k-1}^S + \left[ -R_n \cdot \frac{L^r}{\Delta t} \right] \cdot \Phi_{n-1,k-1} + \left[ \frac{(R_{n+1} + R_n) \cdot L^r + 1}{\Delta t} \right] \cdot \Phi_{n,k-1} + \left[ -R_{n+1} \cdot \frac{L^r}{\Delta t} \right] \cdot \Phi_{n+1,k-1}. \end{aligned} \quad (4)$$

Это уравнение может быть реализовано при произведении матрицы **A** и матрицы-столбца, состоящего из 20 потоков ( $\Phi$ ) и токов в фазах обмотки индуктора. При изменении от  $n = 1$  до  $n = 20$  определяются элементы строк матрицы **A** по уравнению (4).

При подстановке в уравнение (4) значения  $n$  от 1 до 4 и от 17 до 20 определяются элементы строк матрицы **A**, соответствующие шунтирующим зонам двигателя. Рассмотрим формирование элементов 2-ой строки матрицы **A**. Для этого подставим  $n = 2$  в уравнение (4), в результате получим:

$$\begin{aligned}
& \left[ -R_2 \cdot \left( r^r + \frac{L^r}{\Delta t} \right) - ((R_2 + R_1) \cdot L^r + 1) \cdot \frac{v_{k-1}}{2t_z} \right] \cdot \Phi_{1,k} + \\
& + \left[ (R_3 + R_2) \cdot \left( r^r + \frac{L^r}{\Delta t} \right) + (R_2 - R_3) \cdot \frac{L^r \cdot v_{k-1}}{2t_z} + \frac{1}{\Delta t} \right] \cdot \Phi_{2,k} + \\
& + \left[ -R_3 \cdot \left( r^r + \frac{L^r}{\Delta t} \right) + ((R_4 + R_3) \cdot L^r + 1) \cdot \frac{v_{k-1}}{2t_z} \right] \cdot \Phi_{3,k} + \left[ -R_4 \cdot \frac{L^r \cdot v_{k-1}}{2t_z} \right] \cdot \Phi_{4,k} = \\
& = \left[ -R_2 \cdot \frac{L^r}{\Delta t} \right] \cdot \Phi_{1,k-1} + \left[ \frac{(R_3 + R_2) \cdot L^r + 1}{\Delta t} \right] \cdot \Phi_{2,k-1} + \left[ -R_3 \cdot \frac{L^r}{\Delta t} \right] \cdot \Phi_{3,k-1}.
\end{aligned}$$

Отсюда  $a_{2,1} = -R_2 \cdot \left( r^r + L^r / \Delta t \right) - ((R_2 + R_1) \cdot L^r + 1) \cdot v_{k-1} / 2t_z$ . Аналогично, в следующих квадратных скобках будут элементы  $a_{2,2}$ ,  $a_{2,3}$  и  $a_{2,4}$ . В правой части равенства определяется элемент другой матрицы-столбца  $\mathbf{S}$ , а именно  $s_2$ .

Если задать  $n$  в уравнении (4) в пределах от 5 до 16, то это позволит определить элементы строк матрицы для активной зоны индуктора (статора). В качестве примера приведем уравнение (4) при  $n = 6$ :

$$\begin{aligned}
& \left[ \omega_n^s \cdot \frac{L^r \cdot v_{k-1}}{2t_z} - \omega_n^s \cdot \left( r^r + \frac{L^r}{\Delta t} \right) \right] \cdot i_{A,k} + \left[ -\omega_n^s \cdot \frac{L^r \cdot v_{k-1}}{2t_z} \cdot (-1) \right] \cdot i_{C,k} + \left[ R_5 \cdot \frac{L^r \cdot v_{k-1}}{2t_z} \right] \cdot \Phi_{4,k} + \\
& + \left[ -R_6 \cdot \left( r^r + \frac{L^r}{\Delta t} \right) - ((R_6 + R_5) \cdot L^r + 1) \cdot \frac{v_{k-1}}{2t_z} \right] \cdot \Phi_{5,k} + \\
& + \left[ (R_7 + R_6) \cdot \left( r^r + \frac{L^r}{\Delta t} \right) + (R_6 - R_7) \cdot \frac{L^r \cdot v_{k-1}}{2t_z} + \frac{1}{\Delta t} \right] \cdot \Phi_{6,k} + \\
& + \left[ -R_7 \cdot \left( r^r + \frac{L^r}{\Delta t} \right) + ((R_8 + R_7) \cdot L^r + 1) \cdot \frac{v_{k-1}}{2t_z} \right] \cdot \Phi_{7,k} + \left[ -R_8 \cdot \frac{L^r \cdot v_{k-1}}{2t_z} \right] \cdot \Phi_{8,k} = \\
& = \left[ -\omega_n^s \cdot \frac{L^r}{\Delta t} \right] \cdot i_{A,k-1} + \left[ -R_6 \cdot \frac{L^r}{\Delta t} \right] \cdot \Phi_{5,k-1} + \left[ \frac{(R_7 + R_6) \cdot L^r + 1}{\Delta t} \right] \cdot \Phi_{6,k-1} + \left[ -R_7 \cdot \frac{L^r}{\Delta t} \right] \cdot \Phi_{7,k-1}.
\end{aligned}$$

Для элементов матрицы  $\mathbf{A}$ , связанных с токами  $i_A^S$ , выделен 21-й столбец, поэтому:

$$a_{6,21} = L^r \cdot \omega_n^s \cdot v_{k-1} / 2t_z - \omega_n^s \cdot \left( r^r + L^r / \Delta t \right).$$

Аналогично, для токов  $i_C^S$  – 22-ой столбец:

$$a_{6,22} = \left( -\omega_n^s \cdot L^r \cdot v_{k-1} / 2t_z \right) \cdot (-1).$$

Формулы для расчета остальных элементов матрицы  $\mathbf{A}$  для 6-ой строки будут иметь следующий вид:

$$a_{6,4} = R_5 \cdot L^r \cdot v_{k-1} / 2t_z;$$

$$a_{6,5} = -R_6 \cdot \left( r^r + L^r / \Delta t \right) - ((R_6 + R_5) \cdot L^r + 1) \cdot v_{k-1} / 2t_z;$$

$$a_{6,6} = (R_7 + R_6) \cdot \left( r^r + L^r / \Delta t \right) + (R_6 - R_7) \cdot L^r \cdot v_{k-1} / 2t_z + 1 / \Delta t;$$

$$a_{6,7} = -R_7 \cdot \left( r^r + L^r / \Delta t \right) + ((R_8 + R_7) \cdot L^r + 1) \cdot v_{k-1} / 2t_z;$$

$$a_{6,8} = -R_8 \cdot L^r \cdot v_{k-1} / 2t_z.$$

### Баланс напряжения электрической цепи индукторной (статорной) обмотки

Если питается обмотка индуктора от симметричного напряжения, а схема соединения звезда без нулевого провода, то:

$$\begin{cases} U_{AB} = \omega_n^S \cdot \frac{d}{dt} (\Phi_5 + \Phi_6 - \Phi_{11} - \Phi_{12} - \Phi_9 - \Phi_{10} + \Phi_{15} + \Phi_{16}) + r^S \cdot i_A^S - r^S i_B^S + L^S \cdot \frac{di_A^S}{dt} - L^S \cdot \frac{di_B^S}{dt} \\ U_{BC} = \omega_n^S \cdot \frac{d}{dt} (\Phi_9 + \Phi_6 - \Phi_{15} - \Phi_{16} - \Phi_{13} - \Phi_{14} + \Phi_7 + \Phi_8) + r^S \cdot i_B^S - r^S i_C^S + L^S \cdot \frac{di_B^S}{dt} - L^S \cdot \frac{di_C^S}{dt} \end{cases} \quad (5)$$

где  $U_{AB} = U_M \cdot \cos(\omega t + 2\pi / 3)$ ,  $U_{BC} = U_M \cdot \cos \omega t$ ,  $U_{AB} + U_{BC} + U_{CA} = 0$ .

С учетом шага по времени  $\Delta t$  в  $k$ -ый момент времени:

$$\begin{cases} U_{AB} = U_M \cdot \cos[\omega \cdot (k-1) \cdot \Delta t + 2\pi / 3], \\ U_{BC} = U_M \cdot \cos[\omega \cdot (k-1) \cdot \Delta t]. \end{cases}$$

Уравнения (5) при выражении производных по времени через конечные разности примут следующий вид:

$$\begin{aligned} & \frac{\omega_n^S}{\Delta t} \cdot (\Phi_{5,k} + \Phi_{6,k} - \Phi_{11,k} - \Phi_{12,k} - \Phi_{9,k} - \Phi_{10,k} + \Phi_{15,k} + \Phi_{16,k}) + \left( r^S + \frac{L^S}{\Delta t} \right) \cdot (i_{A,k}^S - i_{B,k}^S) \\ &= \frac{\omega_n^S}{\Delta t} \cdot (\Phi_{5,k-1} + \Phi_{6,k-1} - \Phi_{11,k-1} - \Phi_{12,k-1} - \Phi_{9,k-1} - \Phi_{10,k-1} + \Phi_{15,k-1} + \Phi_{16,k-1}) + \\ &+ \left( \frac{L^S}{\Delta t} \right) \cdot (i_{A,k-1}^S - i_{B,k-1}^S) + U_{AB,k}, \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\omega_n^S}{\Delta t} \cdot (\Phi_{9,k} + \Phi_{10,k} - \Phi_{15,k} - \Phi_{16,k} - \Phi_{13,k} - \Phi_{14,k} + \Phi_{7,k} + \Phi_{8,k}) + \left( r^S + \frac{L^S}{\Delta t} \right) \cdot (i_{B,k}^S - i_{C,k}^S) \\ &= \frac{\omega_n^S}{\Delta t} \cdot (\Phi_{9,k-1} + \Phi_{10,k-1} - \Phi_{15,k-1} - \Phi_{16,k-1} - \Phi_{13,k-1} - \Phi_{14,k-1} + \Phi_{7,k-1} + \Phi_{8,k-1}) + \\ &+ \left( \frac{L^S}{\Delta t} \right) \cdot (i_{B,k-1}^S - i_{C,k-1}^S) + U_{BC,k}. \end{aligned} \quad (7)$$

Для определения элементов 21-ой строки матрицы **A** воспользуемся уравнением (6). Для удобства заменим  $\omega_n^S / \Delta t = U$ , тогда:

$$\begin{aligned} & U \cdot \Phi_{5,k} + U \cdot \Phi_{6,k} + (-U) \cdot \Phi_{9,k} + (-U) \cdot \Phi_{10,k} + (-U) \cdot \Phi_{11,k} + (-U) \cdot \Phi_{12,k} + \\ &+ U \cdot \Phi_{15,k} + U \cdot \Phi_{16,k} + (r^S + L^S / \Delta t) \cdot i_{A,k}^S + (-(r^S + L^S / \Delta t)) \cdot i_{B,k}^S = U \cdot (\Phi_{5,k-1} + \Phi_{6,k-1} - \\ &- \Phi_{9,k-1} - \Phi_{10,k-1} - \Phi_{11,k-1} - \Phi_{12,k-1} + \Phi_{15,k-1} + \Phi_{16,k-1}) + (L^S / \Delta t) \cdot (i_{A,k-1}^S - i_{B,k-1}^S) + U_{AB,k}, \end{aligned}$$

отсюда:

$$\begin{aligned} & a_{21,5} = a_{21,6} = a_{21,15} = a_{21,16} = U; \\ & a_{21,9} = a_{21,10} = a_{21,11} = a_{21,12} = -U; \\ & a_{21,21} = r^S + L^S / \Delta t; \\ & a_{21,23} = -(r^S + L^S / \Delta t). \end{aligned}$$

В правой части сформирован элемент  $s_{21}$  матрицы-столбца **S**:

$$\begin{aligned} & s_{21} = U \cdot (\Phi_{5,k-1} + \Phi_{6,k-1} - \Phi_{9,k-1} - \Phi_{10,k-1} - \Phi_{11,k-1} - \Phi_{12,k-1} + \Phi_{15,k-1} + \Phi_{16,k-1}) + \\ &+ (L^S / \Delta t) \cdot (i_{A,k-1}^S - i_{B,k-1}^S) + U_{AB,k}. \end{aligned}$$

Известно, что в трехфазной обмотке сумма токов в фазах в  $k$ -ый момент времени равна нулю.

$$i_{A,k}^S + i_{B,k}^S + i_{C,k}^S = 0.$$

В матричной форме это уравнение можно получить следующим образом. Так как в матрице-столбце токи  $i_a$ ,  $i_b$  и  $i_c$  занимают положения 21, 22, и 23 соответственно, то в матрице  $\mathbf{A}$  в 23-ей строке необходимо приравнять элементы  $a_{23,1}$ ,  $a_{23,2}$ , ...,  $a_{23,20}$  к нулю, а элементы  $a_{23,20}$ ,  $a_{23,21}$ ,  $a_{23,23}$  к единице. То есть  $a_{23,21} = a_{23,22} = a_{23,23} = 1$  и  $s_{23} = 0$ .

Произведем построение математической модели расчета линейного асинхронного двигателя метода Гаусса-Жордана с использованием языка программирования MatLab. Ниже приведен пример кода:

```
function Linear_AD1
% Исходные данные линейного асинхронного двигателя
Rb=0.1003*10^7;
rs=19;
Ls=0.074;
rr=9.269*10^-5;
Lr=0.0372*10^-5;
dt=0.001;
tz=9.769*10^-3;
m=1.9;
v0=0;
wn=200;
f=50;
w=2*pi*f;
U=wn/dt;
Um=310;
X=zeros(23,1);
F=0;
K=input('длительность цикла k=');
% Создание матрицы сопротивлений
R=zeros(21,1);
R(1,1)=500*Rb;
R(2,1)=500*Rb;
R(3,1)=50*Rb;
R(4,1)=5*Rb;
for i=5:17
R(i,1)=Rb;
end;
R(18,1)=5*Rb;
R(19,1)=50*Rb;
R(20,1)=500*Rb;
R(21,1)=500*Rb;
for k=1:(K+1)
v(1,k)=v0; %создание вектор-строки для графика скорости
f(1,k)=sum(F); %создание вектор-строки для графика усилия
Uab=Um*cos(w*(k-1)*dt+2*pi/3);
Ubc=Um*cos(w*(k-1)*dt);
% Матрица токов статора
IS=[0,0,0,0,x(21)x(21),-x(22),-x(22),x(23),x(23),-x(21),-x(21),x(22),
x(22),x(23),-x(23),0,0,0,0];
% Создание матрицы A
A=zeros(23);
% n=1
A(1,1)=(rr+Lr/dt)*(R(2)+R(1))+(R(1)-R(2))*Lr*v0/(2*tz)+1/dt;
A(1,2)=-(rr+Lr/dt)*R(2)+(Lr*(R(3)+R(2))+1)*v0/(2*tz);
A(1,3)=-R(3)*Lr*v0/(2*tz);
% n=2
A(2,1)=-(rr+Lr/dt)*R(2)-(Lr*(R(2)+R(1))+1)*v0/(2*tz);
A(2,2)=(rr+Lr/dt)*(R(3)+R(2))+(R(2)-R(3))*Lr*v0/(2*tz)+1/dt;
A(2,3)=-R(3)*Lr*v0/(2*tz);
```

```

    A(2,4)=-R(4)*Lr*v0/(2*tz);
% n=3
    A(3,1)=R(2)*Lr*v0/(2*tz);
    A(3,2)=- (rr+Lr/dt)*R(3)-(Lr*(R(3)+R(2))+1)*v0/(2*tz);
    A(3,3)=(rr+Lr/dt)*(R(4)+R(3))+R(3)-R(4))*Lr*v0/(2*tz)+1/dt;
    A(3,4)=- (rr+Lr/dt)*R(4)+(Lr*(R(5)+R(4))+1)*v0/(2*tz);
    A(3,5)=-R(5)*Lr*v0/(2*tz);
% n=4
    A(4,2)=R(3)*Lr*v0/(2*tz);
    A(4,3)=- (rr+Lr/dt)*R(4)-(Lr*(R(4)+R(3))+1)*v0/(2*tz);
    A(4,4)=(rr+Lr/dt)*(R(5)+R(4))+R(4)-R(5))*Lr*v0/(2*tz)+1/dt;
    A(4,5)=- (rr+Lr/dt)*R(5)+(Lr*(R(6)+R(5))+1)*v0/(2*tz);
    A(4,6)=-R(6)*Lr*v0/(2*tz);
% n=5
    A(5,3)=R(4)*Lr*v0/(2*tz);
    A(5,4)=- (rr+Lr/dt)*R(5)-(Lr*(R(5)+R(4))+1)*v0/(2*tz);
    A(5,5)=(rr+Lr/dt)*(R(6)+R(5))+R(5)-R(6))*Lr*v0/(2*tz)+1/dt;
    A(5,6)=- (rr+Lr/dt)*R(6)+(Lr*(R(7)+R(6))+1)*v0/(2*tz);
    A(5,7)=-R(7)*Lr*v0/(2*tz);
% n=6
    A(6,4)=R(5)*Lr*v0/(2*tz);
    A(6,5)=- (rr+Lr/dt)*R(6)-(Lr*(R(6)+R(5))+1)*v0/(2*tz);
    A(6,6)=(rr+Lr/dt)*(R(7)+R(6))+R(6)-R(7))*Lr*v0/(2*tz)+1/dt;
    A(6,7)=- (rr+Lr/dt)*R(7)+(Lr*(R(8)+R(7))+1)*v0/(2*tz);
    A(6,8)=-R(8)*Lr*v0/(2*tz);
% n=7
    A(7,5)=R(6)*Lr*v0/(2*tz);
    A(7,6)=- (rr+Lr/dt)*R(7)-(Lr*(R(7)+R(6))+1)*v0/(2*tz);
    A(7,7)=(rr+Lr/dt)*(R(8)+R(7))+R(7)-R(8))*Lr*v0/(2*tz)+1/dt;
    A(7,8)=- (rr+Lr/dt)*R(8)+(Lr*(R(9)+R(8))+1)*v0/(2*tz);
    A(7,9)=-R(9)*Lr*v0/(2*tz);
% n=8
    A(8,6)=R(7)*Lr*v0/(2*tz);
    A(8,7)=- (rr+Lr/dt)*R(8)-(Lr*(R(8)+R(7))+1)*v0/(2*tz);
    A(8,8)=(rr+Lr/dt)*(R(9)+R(8))+R(8)-R(9))*Lr*v0/(2*tz)+1/dt;
    A(8,9)=- (rr+Lr/dt)*R(9)+(Lr*(R(10)+R(9))+1)*v0/(2*tz);
    A(8,10)=-R(10)*Lr*v0/(2*tz);
% n=9
    A(9,7)=R(8)*Lr*v0/(2*tz);
    A(9,8)=- (rr+Lr/dt)*R(9)-(Lr*(R(9)+R(8))+1)*v0/(2*tz);
    A(9,9)=(rr+Lr/dt)*(R(10)+R(9))+R(9)-R(10))*Lr*v0/(2*tz)+1/dt;
    A(9,10)=- (rr+Lr/dt)*R(10)+(Lr*(R(11)+R(10))+1)*v0/(2*tz);
    A(9,11)=-R(11)*Lr*v0/(2*tz);
% n=10
    A(10,8)=R(9)*Lr*v0/(2*tz);
    A(10,9)=- (rr+Lr/dt)*R(10)-(Lr*(R(10)+R(9))+1)*v0/(2*tz);
    A(10,10)=(rr+Lr/dt)*(R(11)+R(10))+R(10)-R(11))*Lr*v0/(2*tz)+1/dt;
    A(10,11)=- (rr+Lr/dt)*R(11)+(Lr*(R(12)+R(11))+1)*v0/(2*tz);
    A(10,12)=-R(12)*Lr*v0/(2*tz);
% n=11
    A(11,9)=R(10)*Lr*v0/(2*tz);
    A(11,10)=- (rr+Lr/dt)*R(11)-(Lr*(R(11)+R(10))+1)*v0/(2*tz);
    A(11,11)=(rr+Lr/dt)*(R(12)+R(11))+R(11)-R(12))*Lr*v0/(2*tz)+1/dt;
    A(11,12)=- (rr+Lr/dt)*R(12)+(Lr*(R(13)+R(12))+1)*v0/(2*tz);
    A(11,13)=-R(13)*Lr*v0/(2*tz);
% n=12

```

```

A(12,10)=R(11)*Lr*v0/(2*tz);
A(12,11)=- (rr+Lr/dt)*R(12)-(Lr*(R(12)+R(11))+1)*v0/(2*tz);
A(12,12)=(rr+Lr/dt)*(R(13)+R(12))+ (R(12)-R(13))*Lr*v0/(2*tz)+1/dt;
A(12,13)=- (rr+Lr/dt)*R(13)+(Lr*(R(14)+R(13))+1)*v0/(2*tz);
A(12,14)=-R(14)*Lr*v0/(2*tz);
% n=13
A(13,11)=R(12)*Lr*v0/(2*tz);
A(13,12)=- (rr+Lr/dt)*R(13)-(Lr*(R(13)+R(12))+1)*v0/(2*tz);
A(13,13)=(rr+Lr/dt)*(R(14)+R(13))+ (R(13)-R(14))*Lr*v0/(2*tz)+1/dt;
A(13,14)=- (rr+Lr/dt)*R(14)+(Lr*(R(15)+R(14))+1)*v0/(2*tz);
A(13,15)=-R(15)*Lr*v0/(2*tz);
% n=14
A(14,12)=R(13)*Lr*v0/(2*tz);
A(14,13)=- (rr+Lr/dt)*R(14)-(Lr*(R(14)+R(13))+1)*v0/(2*tz);
A(14,14)=(rr+Lr/dt)*(R(15)+R(14))+ (R(14)-R(15))*Lr*v0/(2*tz)+1/dt;
A(14,15)=- (rr+Lr/dt)*R(15)+(Lr*(R(16)+R(15))+1)*v0/(2*tz);
A(14,16)=-R(16)*Lr*v0/(2*tz);
% n=15
A(15,13)=R(14)*Lr*v0/(2*tz);
A(15,14)=- (rr+Lr/dt)*R(15)-(Lr*(R(15)+R(14))+1)*v0/(2*tz);
A(15,15)=(rr+Lr/dt)*(R(16)+R(15))+ (R(15)-R(16))*Lr*v0/(2*tz)+1/dt;
A(15,16)=- (rr+Lr/dt)*R(16)+(Lr*(R(17)+R(16))+1)*v0/(2*tz);
A(15,17)=-R(17)*Lr*v0/(2*tz);
% n=16
A(16,14)=R(15)*Lr*v0/(2*tz);
A(16,15)=- (rr+Lr/dt)*R(16)-(Lr*(R(16)+R(15))+1)*v0/(2*tz);
A(16,16)=(rr+Lr/dt)*(R(17)+R(16))+ (R(16)-R(17))*Lr*v0/(2*tz)+1/dt;
A(16,17)=- (rr+Lr/dt)*R(17)+(Lr*(R(18)+R(17))+1)*v0/(2*tz);
A(16,18)=-R(18)*Lr*v0/(2*tz);
% n=17
A(17,15)=R(16)*Lr*v0/(2*tz);
A(17,16)=- (rr+Lr/dt)*R(17)-(Lr*(R(17)+R(16))+1)*v0/(2*tz);
A(17,17)=(rr+Lr/dt)*(R(18)+R(17))+ (R(17)-R(18))*Lr*v0/(2*tz)+1/dt;
A(17,18)=- (rr+Lr/dt)*R(18)+(Lr*(R(19)+R(18))+1)*v0/(2*tz);
A(17,19)=-R(19)*Lr*v0/(2*tz);
% n=18
A(18,16)=R(17)*Lr*v0/(2*tz);
A(18,17)=- (rr+Lr/dt)*R(18)-(Lr*(R(18)+R(17))+1)*v0/(2*tz);
A(18,18)=(rr+Lr/dt)*(R(19)+R(18))+ (R(18)-R(19))*Lr*v0/(2*tz)+1/dt;
A(18,19)=- (rr+Lr/dt)*R(19)+(Lr*(R(20)+R(19))+1)*v0/(2*tz);
A(18,20)=-R(20)*Lr*v0/(2*tz);
% n=19
A(19,17)=R(18)*Lr*v0/(2*tz);
A(19,18)=- (rr+Lr/dt)*R(19)-(Lr*(R(19)+R(18))+1)*v0/(2*tz);
A(19,19)=(rr+Lr/dt)*(R(20)+R(19))+ (R(19)-R(20))*Lr*v0/(2*tz)+1/dt;
A(19,20)=- (rr+Lr/dt)*R(20)+(Lr*(R(21)+R(20))+1)*v0/(2*tz);
% n=20
A(20,18)=R(19)*Lr*v0/(2*tz);
A(20,19)=- (rr+Lr/dt)*R(20)-(Lr*(R(20)+R(19))+1)*v0/(2*tz);
A(20,20)=(rr+Lr/dt)*(R(21)+R(20))+ (R(20)-R(21))*Lr*v0/(2*tz)+1/dt;
% Напряжения
A(21,5)=U;
A(21,6)=U;
A(21,9)=-U;
A(21,10)=-U;
A(21,11)=-U;

```

```
A(21,12)=-U;
A(21,15)=U;
A(21,16)=U;
A(22,7)=U;
A(22,8)=U;
A(22,8)=U;
A(22,9)=U;
A(22,10)=U;
A(22,13)=-U;
A(22,14)=-U;
A(22,15)=-U;
A(22,16)=-U;
```

% Токи

```
A(4,21)=-wn*Lr*v0/(2*tz);
A(5,21)=- (rr+Lr/dt)*wn-wn*Lr*v0/(2*tz);
A(6,21)=wn*Lr*v0/(2*tz)-(rr+Lr/dt)*wn;
A(6,22)=(-wn*Lr*v0/(2*tz))*(-1);
A(7,21)=wn*Lr*v0/(2*tz);
A(7,22)=- (rr+Lr/dt)*wn-wn*Lr*v0/(2*tz))*(-1);
A(8,22)=(wn*Lr*v0/(2*tz)-(rr+Lr/dt)*wn)*(-1);
A(8,23)=-wn*Lr*v0/(2*tz);
A(9,22)=(wn*Lr*v0/(2*tz))*(-1);
A(9,23)=- (rr+Lr/dt)*wn-wn*Lr*v0/(2*tz);
A(10,21)=(-wn*Lr*v0/(2*tz))*(-1);
A(10,23)=wn*Lr*v0/(2*tz)-(rr+Lr/dt)*wn;
A(11,21)=- (rr+Lr/dt)*wn-wn*Lr*v0/(2*tz))*(-1);
A(11,23)=wn*Lr*v0/(2*tz);
A(12,21)=(wn*Lr*v0/(2*tz)-(rr+Lr/dt)*wn)*(-1);
A(12,22)=-wn*Lr*v0/(2*tz);
A(13,21)=(wn*Lr*v0/(2*tz))*(-1);
A(13,22)=- (rr+Lr/dt)*wn-wn*Lr*v0/(2*tz);
A(14,22)=wn*Lr*v0/(2*tz)-(rr+Lr/dt)*wn;
A(14,23)=(-wn*Lr*v0/(2*tz))*(-1);
A(15,22)=wn*Lr*v0/(2*tz);
A(15,23)=- (rr+Lr/dt)*wn-wn*Lr*v0/(2*tz))*(-1);
A(16,23)=(wn*Lr*v0/(2*tz)-(rr+Lr/dt)*wn)*(-1);
A(17,23)=wn*Lr*v0/(2*tz);
A(21,21)=rs+Ls/dt;
A(21,23)=- (rs+Ls/dt);
A(22,22)=- (rs+Ls/dt);
A(22,23)=rs+Ls/dt;
A(23,21)=1;
A(23,22)=1;
A(23,23)=1;
```

% Матрица свободных членов

```
S=[((Lr*(R(2)+R(1))+1)/dt)*X(1)+(-Lr*R(2)/dt)*X(2);
(-Lr*R(2)/dt)*X(1)+((Lr*(R(3)+R(2))+1)/dt)*X(2)+(-Lr*R(3)/dt)*X(3);
(-Lr*R(3)/dt)*X(2)+((Lr*(R(4)+R(3))+1)/dt)*X(3)+(-Lr*R(4)/dt)*X(4);
(-Lr*R(4)/dt)*X(3)+((Lr*(R(5)+R(4))+1)/dt)*X(4)+(-Lr*R(5)/dt)*X(5);
-Lr*wn*IS(5)/dt+(-Lr*R(5)/dt)*X(4)+((Lr*(R(6)+R(5))+1)/dt)*X(5)+
(-Lr*R(6)/dt)*X(6);
-Lr*wn*IS(6)/dt+(-Lr*R(6)/dt)*X(5)+((Lr*(R(7)+R(6))+1)/dt)*X(6)+
(-Lr*R(7)/dt)*X(7);
-Lr*wn*IS(7)/dt+(-Lr*R(7)/dt)*X(6)+((Lr*(R(8)+R(7))+1)/dt)*X(7)+
(-Lr*R(8)/dt)*X(8);
```

```

-Lr*wn*IS(8)/dt+(-Lr*R(8)/dt)*X(7)+((Lr*(R(9)+R(8))+1)/dt)*X(8)+
(-Lr*R(9)/dt)*X(9);
-Lr*wn*IS(9)/dt+(-Lr*R(9)/dt)*X(8)+((Lr*(R(10)+R(9))+1)/dt)*X(9)+
(-Lr*R(10)/dt)*X(10);
-Lr*wn*IS(10)/dt+(-Lr*R(10)/dt)*X(9)+((Lr*(R(11)+R(10))+1)/dt)*X(10)+
(-Lr*R(11)/dt)*X(11);
-Lr*wn*IS(11)/dt+(-Lr*R(11)/dt)*X(10)+((Lr*(R(12)+R(11))+1)/dt)*X(11)+
(-Lr*R(12)/dt)*X(12);
-Lr*wn*IS(12)/dt+(-Lr*R(12)/dt)*X(11)+((Lr*(R(13)+R(12))+1)/dt)*X(12)+
(-Lr*R(13)/dt)*X(13);
-Lr*wn*IS(13)/dt+(-Lr*R(13)/dt)*X(12)+((Lr*(R(14)+R(13))+1)/dt)*X(13)+
(-Lr*R(14)/dt)*X(14);
-Lr*wn*IS(14)/dt+(-Lr*R(14)/dt)*X(13)+((Lr*(R(15)+R(14))+1)/dt)*X(14)+
(-Lr*R(15)/dt)*X(15);
-Lr*wn*IS(15)/dt+(-Lr*R(15)/dt)*X(14)+((Lr*(R(16)+R(15))+1)/dt)*X(15)+
(-Lr*R(16)/dt)*X(16);
-Lr*wn*IS(16)/dt+(-Lr*R(16)/dt)*X(15)+((Lr*(R(17)+R(16))+1)/dt)*X(16)+
(-Lr*R(17)/dt)*X(17);
(-Lr*R(17)/dt)*X(16)+((Lr*(R(18)+R(17))+1)/dt)*X(17)+
(-Lr*R(18)/dt)*X(18);
(-Lr*R(18)/dt)*X(17)+((Lr*(R(19)+R(18))+1)/dt)*X(18)+(-Lr*R(19)/dt)*X(19)
(-Lr*R(19)/dt)*X(18)+((Lr*(R(20)+R(19))+1)/dt)*X(19)+(-Lr*R(20)/dt)*X(20);
(-Lr*R(20)/dt)*X(19)+((Lr*(R(21)+R(20))+1)/dt)*X(20);
(X(5)+X(6)-X(9)-X(10)-X(11)-X(12)+X(15)+X(16))*wn/dt+(Ls/dt)*(X(21)-X(23))+Uab;
(X(9)+X(10)-X(15)-X(16)-X(13)-X(14)+X(7)+X(8))*wn/dt+(Ls/dt)*(X(23)-X(22))+Ubc;
0];

```

```

% Решение методом Гаусса-Жордана
Z=rref([A S]);

```

```

X=Z(1:23,24:24); %Выделение последнего столбца из матрицы

```

```

% Матрица токов ротора

```

```

Ir=[X(1)*(R(1)+R(2))-X(2)*R(2);
-X(1)*R(2)+X(2)*(R(2)+R(3))-X(3)*R(3);
-X(2)*R(3)+X(3)*(R(3)+R(4))-X(4)*R(4);
-X(3)*R(4)+X(4)*(R(4)+R(5))-X(5)*R(5);
-wn*IS(5)-X(4)*R(5)+X(5)*(R(5)+R(6))-X(6)*R(6);
-wn*IS(6)-X(5)*R(6)+X(6)*(R(6)+R(7))-X(7)*R(7);
-wn*IS(7)-X(6)*R(7)+X(7)*(R(7)+R(8))-X(8)*R(8);
-wn*IS(8)-X(7)*R(8)+X(8)*(R(8)+R(9))-X(9)*R(9);
-wn*IS(9)-X(8)*R(9)+X(9)*(R(9)+R(10))-X(10)*R(10);
-wn*IS(10)-X(9)*R(10)+X(10)*(R(10)+R(11))-X(11)*R(11);
-wn*IS(11)-X(10)*R(11)+X(11)*(R(11)+R(12))-X(12)*R(12);
-wn*IS(12)-X(11)*R(12)+X(12)*(R(12)+R(13))-X(13)*R(13);
-wn*IS(13)-X(12)*R(13)+X(13)*(R(13)+R(14))-X(14)*R(14);
-wn*IS(14)-X(13)*R(14)+X(14)*(R(14)+R(15))-X(15)*R(15);
-wn*IS(15)-X(14)*R(15)+X(15)*(R(15)+R(16))-X(16)*R(16);
-wn*IS(16)-X(15)*R(16)+X(16)*(R(16)+R(17))-X(17)*R(17);
-X(16)*R(17)+X(17)*(R(17)+R(18))-X(18)*R(18);
-X(17)*R(18)+X(18)*(R(18)+R(19))-X(19)*R(19);
-X(18)*R(19)+X(19)*(R(19)+R(20))-X(20)*R(20);
-X(19)*R(20)+X(20)*(R(20)+R(21))];

```

```

% Электромагнитное усилие

```

```

F=[ (X(2))*Ir(1)/(2*tz);
(X(3)-X(1))*Ir(2)/(2*tz);

```



```
(X(4)-X(2))*Ir(3)/(2*tz);
(X(5)-X(3))*Ir(4)/(2*tz);
(X(6)-X(4))*Ir(5)/(2*tz);
(X(7)-X(5))*Ir(6)/(2*tz);
(X(8)-X(6))*Ir(7)/(2*tz);
(X(9)-X(7))*Ir(8)/(2*tz);
(X(10)-X(8))*Ir(9)/(2*tz);
(X(11)-X(9))*Ir(10)/(2*tz);
(X(12)-X(10))*Ir(11)/(2*tz);
(X(13)-X(11))*Ir(12)/(2*tz);
(X(14)-X(12))*Ir(13)/(2*tz);
(X(15)-X(13))*Ir(14)/(2*tz);
(X(16)-X(14))*Ir(15)/(2*tz);
(X(17)-X(15))*Ir(16)/(2*tz);
(X(18)-X(16))*Ir(17)/(2*tz);
(X(19)-X(17))*Ir(18)/(2*tz);
(X(20)-X(18))*Ir(19)/(2*tz);
(-X(19))*Ir(20)/(2*tz)];
```

```
% Скорость
v0=v0+(sum(F)/m)*dt;
end;
% Построение графиков
k=0:k;
subplot(2,1,1);
plot(k*dt,v);
title('Скорость');
xlabel('t, с');
ylabel('v, м/с');
grid on
subplot(2,1,2);
plot(k*dt,f);
title('Электромагнитное усилие');
xlabel('t, с');
ylabel('F, Н');
grid on
end
```

Результаты моделирования представлены в таблицах 1, 2 и 3, а также на рис. 3.

Таблица 1. Значения элементов матрицы A при k = 1

$a_{1,1}$	1,313E+05	$a_{1,2}$	-6,514E+04	$a_{1,3}$	-7,370E-04	$a_{2,1}$	-6,514E+04
$a_{2,2}$	7,265E+04	$a_{2,3}$	-6,514E+03	$a_{2,4}$	-7,370E-05	$a_{3,1}$	7,370E-03
$a_{3,2}$	-6,514E+03	$a_{3,3}$	8,165E+03	$a_{3,4}$	-6,514E+02	$a_{3,5}$	-1,474E-05
$a_{4,2}$	7,370E-04	$a_{4,3}$	-6,514E+02	$a_{4,4}$	1,782E+03	$a_{4,5}$	-1,303E+02
$a_{4,6}$	-1,474E-05	$a_{5,3}$	7,370E-05	$a_{5,4}$	-1,303E+02	$a_{5,6}$	1,261E+03
$a_{5,7}$	-1,303E+02	$a_{5,8}$	-1,474E-05	$a_{16,14}$	1,474E-05	$a_{16,15}$	-1,303E+02
$a_{16,16}$	1,261E+03	$a_{16,17}$	-1,303E+02	$a_{16,18}$	-7,370E-05	$a_{17,15}$	1,474E-05

$a_{17,16}$	-1,303E+02	$a_{17,17}$	1,782E+03	$a_{17,18}$	-6,514E+02	$a_{17,19}$	-7,370E-04
$a_{18,16}$	1,474E-05	$a_{18,17}$	-6,514E+02	$a_{18,18}$	8,165E+03	$a_{18,19}$	-6,514E+03
$a_{18,20}$	-7,370E-03	$a_{19,17}$	7,370E-05	$a_{19,18}$	-6,514E+03	$a_{19,19}$	7,265E+04
$a_{19,20}$	-6,514E+04	$a_{20,18}$	7,370E-04	$a_{20,19}$	-6,514E+04	$a_{20,20}$	1,313E+05

$$a_{21,21} = a_{22,23} = 93; \quad a_{22,22} = a_{21,23} = -93; \quad a_{23,21} = a_{23,22} = a_{23,23} = 1;$$

$$a_{4,21} = a_{13,21} = a_{9,22} = a_{12,22} = a_{8,23} = -2,94E - 09;$$

$$a_{5,21} = a_{6,21} = a_{13,22} = a_{14,22} = a_{9,23} = a_{10,23} = -0,02598;$$

$$a_{11,21} = a_{12,21} = a_{7,22} = a_{8,22} = a_{15,23} = a_{16,23} = 0,025978;$$

$$a_{7,21} = a_{10,21} = a_{6,22} = a_{15,22} = a_{11,23} = a_{14,23} = a_{17,23} = 2,94E - 09;$$

$$a_{21,5} = a_{21,6} = a_{22,7} = a_{22,8} = a_{22,9} = a_{22,10} = a_{21,15} = a_{21,16} = 200000;$$

$$a_{21,9} = a_{21,10} = a_{21,11} = a_{21,12} = a_{22,13} = a_{22,14} = a_{22,15} = a_{22,16} = -200000;$$

$$a_{6,4} = a_{7,5} = a_{8,6} = a_{9,7} = a_{10,8} = a_{11,9} = a_{12,10} = a_{13,11} = a_{14,12} = a_{15,13} = 1,474E - 05;$$

$$a_{6,5} = a_{7,6} = a_{8,7} = a_{9,8} = a_{10,9} = a_{11,10} = a_{12,11} = a_{13,12} = a_{14,13} = a_{15,14} = -1,303E + 02;$$

$$a_{6,6} = a_{7,7} = a_{8,8} = a_{9,9} = a_{10,10} = a_{11,11} = a_{12,12} = a_{13,13} = a_{14,14} = a_{15,15} = 1,261E + 03;$$

$$a_{6,7} = a_{7,8} = a_{8,9} = a_{9,10} = a_{10,11} = a_{11,12} = a_{12,13} = a_{13,14} = a_{14,15} = a_{15,16} = -1,303E + 02;$$

$$a_{6,8} = a_{7,9} = a_{8,10} = a_{9,11} = a_{10,12} = a_{11,13} = a_{12,14} = a_{13,15} = a_{14,16} = a_{15,17} = -1,474E - 05.$$

Таблица 2. Значения элементов матрицы A при k = 2

$a_{1,1}$	1,313E+05	$a_{1,2}$	-6,514E+04	$a_{1,3}$	4,089E-02	$a_{2,1}$	-6,514E+04
$a_{2,2}$	7,265E+04	$a_{2,3}$	-6,514E+03	$a_{2,4}$	4,089E-03	$a_{3,1}$	-4,089E-01
$a_{3,2}$	-6,514E+03	$a_{3,3}$	8,165E+03	$a_{3,4}$	-6,514E+02	$a_{3,5}$	8,177E-04
$a_{4,2}$	-4,089E-02	$a_{4,3}$	-6,513E+02	$a_{4,4}$	1,782E+03	$a_{4,5}$	-1,303E+02
$a_{4,6}$	8,177E-04	$a_{5,3}$	-4,089E-03	$a_{5,4}$	-1,303E+02	$a_{5,6}$	1,261E+03
$a_{5,7}$	-1,303E+02	$a_{5,8}$	8,177E-04	$a_{16,14}$	-8,177E-04	$a_{16,15}$	-1,303E+02
$a_{16,16}$	1,261E+03	$a_{16,17}$	-1,303E+02	$a_{16,18}$	4,089E-03	$a_{17,15}$	-8,177E-04
$a_{17,16}$	-1,303E+02	$a_{17,17}$	1,782E+03	$a_{17,18}$	-6,515E+02	$a_{17,19}$	4,089E-02
$a_{18,16}$	-8,177E-04	$a_{18,17}$	-6,514E+02	$a_{18,18}$	8,165E+03	$a_{18,19}$	-6,514E+03
$a_{18,20}$	4,089E-01	$a_{19,17}$	-4,089E-03	$a_{19,18}$	-6,514E+03	$a_{19,19}$	7,265E+04

$a_{19,20}$	-6,514E+04	$a_{20,18}$	-4,089E-02	$a_{20,19}$	-6,514E+04	$a_{20,20}$	1,313E+05
-------------	------------	-------------	------------	-------------	------------	-------------	-----------

$$a_{21,21} = a_{22,23} = 93; \quad a_{22,22} = a_{21,23} = -93; \quad a_{23,21} = a_{23,22} = a_{23,23} = 1;$$

$$a_{4,21} = a_{13,21} = a_{9,22} = a_{12,22} = a_{8,23} = 1,63E - 07;$$

$$a_{5,21} = a_{6,21} = a_{13,22} = a_{14,22} = a_{9,23} = a_{10,23} = -0,02598;$$

$$a_{11,21} = a_{12,21} = a_{7,22} = a_{8,22} = a_{15,23} = a_{16,23} = 0,025978;$$

$$a_{7,21} = a_{10,21} = a_{6,22} = a_{15,22} = a_{11,23} = a_{14,23} = a_{17,23} = -1,63E - 07;$$

$$a_{21,5} = a_{21,6} = a_{22,7} = a_{22,8} = a_{22,9} = a_{22,10} = a_{21,15} = a_{21,16} = 200000;$$

$$a_{21,9} = a_{21,10} = a_{21,11} = a_{21,12} = a_{22,13} = a_{22,14} = a_{22,15} = a_{22,16} = -200000;$$

$$a_{6,4} = a_{7,5} = a_{8,6} = a_{9,7} = a_{10,8} = a_{11,9} = a_{12,10} = a_{13,11} = a_{14,12} = a_{15,13} = -8,177E - 04;$$

$$a_{6,5} = a_{7,6} = a_{8,7} = a_{9,8} = a_{10,9} = a_{11,10} = a_{12,11} = a_{13,12} = a_{14,13} = a_{15,14} = -1,303E + 02;$$

$$a_{6,6} = a_{7,7} = a_{8,8} = a_{9,9} = a_{10,10} = a_{11,11} = a_{12,12} = a_{13,13} = a_{14,14} = a_{15,15} = 1,261E + 03;$$

$$a_{6,7} = a_{7,8} = a_{8,9} = a_{9,10} = a_{10,11} = a_{11,12} = a_{12,13} = a_{13,14} = a_{14,15} = a_{15,16} = -1,303E + 02;$$

$$a_{6,8} = a_{7,9} = a_{8,10} = a_{9,11} = a_{10,12} = a_{11,13} = a_{12,14} = a_{13,15} = a_{14,16} = a_{15,17} = 8,177E - 04;$$

Таблица 3. Результаты расчетов

k = 1					k = 2				
	X	S	$i'_{n,k}$	$F_{n,k}$		X	S	$i'_{n,k}$	$F_{n,k}$
$\Phi_1$	-5,91E-08	-1,47E-05	0,34	-2,08E-06	$\Phi_1$	-1,1E-07	-4,64E-05	0,49	-5,66E-06
$\Phi_2$	-1,18E-07	-2,96E-05	0,68	-2,36E-05	$\Phi_2$	-2,22E-07	-9,33E-05	0,99	-6,38E-05
$\Phi_3$	-7,30E-07	-0,0001	4,21	-0,002	$\Phi_3$	-1,36E-06	-0,0005	6,06	-0,004
$\Phi_4$	-7,68E-06	-0,002	43,74	-0,19	$\Phi_4$	-1,39E-05	-0,006	60,84	-0,42
$\Phi_5$	-8,60E-05	-0,026	246,23	-1,06	$\Phi_5$	-0,0001	-0,069	420,45	-2,94
$\Phi_6$	-9,21E-05	-0,028	283,35	0,33	$\Phi_6$	-0,0001	-0,073	486,84	0,43
$\Phi_7$	-6,30E-05	-0,015	173,86	0,38	$\Phi_7$	-0,0001	-0,049	354,88	1,002
$\Phi_8$	-4,90E-05	-0,012	95,33	0,44	$\Phi_8$	-9,58E-05	-0,038	251,89	1,87
$\Phi_9$	2,79	0,012	-98,77	-0,46	$\Phi_9$	2,48E-05	0,023	-93,11	-0,72
$\Phi_{10}$	4,37	0,015	-191,7	-0,61	$\Phi_{10}$	5,63E-05	0,035	-240,24	-1,48
$\Phi_{11}$	9,10	0,027	-273,1	-0,68	$\Phi_{11}$	0,0001	0,072	-448,87	-2,2
$\Phi_{12}$	9,28	0,027	-287,1	0,41	$\Phi_{12}$	0,0001	0,074	-492,3	0,62

$\Phi_{13}$	6,31	0,015	-174,4	0,38	$\Phi_{13}$	0,0001	0,049	-356,1	1,01
$\Phi_{14}$	4,92	0,012	-96,51	0,44	$\Phi_{14}$	9,62E-05	0,038	-254,41	1,85
$\Phi_{15}$	-2,64E-05	-0,011	89,96	-0,37	$\Phi_{15}$	-2,16E-05	-0,022	76,95	-0,51
$\Phi_{16}$	-3,22E-05	-0,013	125,02	0,15	$\Phi_{16}$	-3,42E-05	-0,026	139,61	0,12
$\Phi_{17}$	-3,02E-06	-0,001	15,63	0,025	$\Phi_{17}$	-4,02E-06	-0,002	12,19	0,021
$\Phi_{18}$	-2,89E-07	-9,08E-05	1,53	0,0002	$\Phi_{18}$	-4,02E-07	-0,0002	1,3	0,001
$\Phi_{19}$	-4,72E-08	-1,46E-05	0,25	3,42E-06	$\Phi_{19}$	-6,61E-08	-3,79E-05	0,21	4,1E-06
$\Phi_{20}$	-2,35E-08	-7,27E-06	0,12	3,02E-07	$\Phi_{20}$	-3,29E-08	-1,88E-05	0,10	3,67E-07
$I_a$	-2,65	-430,4	$F_{\Sigma k}$	0,014	$I_a$	-3,19	-488,68	$F_{\Sigma k}$	-0,82
$I_c$	1,74	-95,943			$I_c$	2,69	-262,39		
$I_b$	0,91	0			$I_b$	0,5	0		

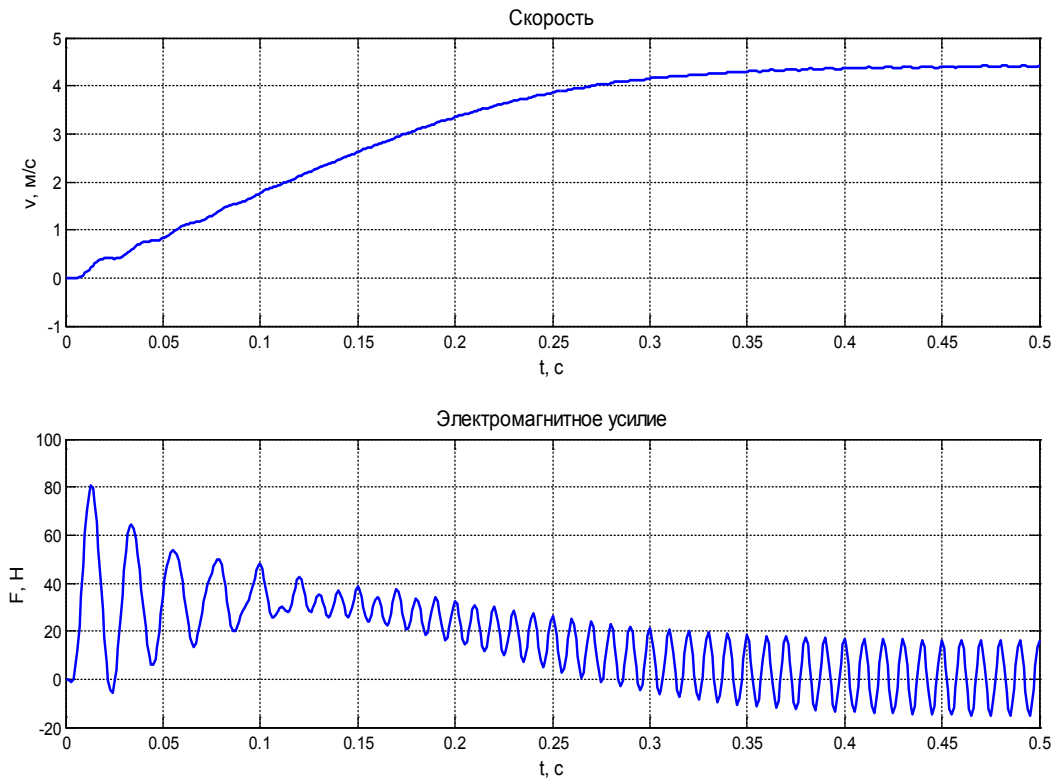


Рис. 3. Зависимости электромагнитного усилия и скорости подвижного элемента от времени при пуске

Полученные результаты моделирования пуска линейного асинхронного двигателя совпадают с данными эксперимента приведенных в статье [1, с. 56].

Литература:

1. Сарапулов Ф.Н., Емельянов А.А., Иваницкий С.В., Резин М.Г. Исследование электромеханических переходных процессов линейного асинхронного короткозамкнутого двигателя // Электричество. — 1982. — №10. — С. 54–57.

2. Емельянов А.А., Богатов Е.А., Клишин А.В., Медведев А.В., Симонович В.Г. Математическая модель линейного асинхронного двигателя на основе магнитных схем замещения // Молодой ученый. — 2010. — №5. — с. 14–22.
3. Ануфриев И.Е. и др. MATLAB 7 / Ануфриев И.Е., Смирнов А.Б., Смирнова Е.Н.. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005. — 1104 с.

## Методы увеличения эффективности проведения работ по техническому обслуживанию и ремонту

Нгуен Тхань Вьет, студент

Волгоградский государственный технический университет

*В статье рассматриваются вопросы повышения конкурентоспособности предприятий за счет увеличения эффективности проведения работ по техническому обслуживанию и ремонту (ТОиР) оборудования с помощью применения показателей эффективности. Представлены основные результаты, полученные в ходе исследований эффективности автоматизации работ по ТОиР. Предлагается система ключевых показателей эффективности использования оборудования. Представлены перспективы использования полученных показателей.*

**Ключевые слова:** оборудование, техническое обслуживание и ремонт оборудования, ТОиР, эффективное использование ресурсов оборудования, ключевые показатели использования оборудования, модель.

Для эффективной работы предприятий необходимо бесперебойное функционирование оборудования. Обеспечением подобных задач занимаются сервисные службы, осуществляющие при необходимости техническое обслуживание и ремонт (ТОиР). Согласно [1], на долю технического обслуживания и ремонта, по различным оценкам, приходится от 20 до 40 % общей стоимости продукции. Согласно [2], работоспособность оборудования обеспечивается за счет качественного, своевременного и безопасного проведения технического обслуживания и ремонта оборудования при рациональном использовании ресурсов.

Многие производственные процессы автоматизируются с использованием специализированных программно-информационных систем. Возможно несколько подходов к автоматизации ТОиР:

1) в рамках существующей или внедряемой системы класса ERP (Enterprise Resource Planning, планирования ресурсов предприятия);

2) использование ЕАМ-системы (Enterprise Asset Management, управления основными фондами предприятия);

3) использование системы класса CMMS (Computerized Maintenance Management System, компьютеризированная система управления техническим обслуживанием).

В конечном счете, объектом автоматизации является процесс технического обслуживания и ремонтов оборудования, в котором в различной степени принимают участие службы предприятия и внешних организаций, участвующих в обеспечении подготовки и проведении работ по ТОиР. [3]

Для того чтобы обеспечить управление процессами ТОиР на верхнем уровне (цех, предприятие), а также для анализа эффективности управления на длительных временных интервалах, руководитель должен оперативно получать достоверные данные из ЕАМ/ CMMS-системы в агрегированном виде, то есть в виде системы ключевых показателей эффективности КПЭ (KPI, Key Performance Indicators). Система КПЭ для ТОиР оборудования позволяет оценить эффективность процессов планирования ремонтов и их выполнения, статистику неисправностей оборудования, эффективность использования оборудования, эффективность деятельности вспомогательных ремонтных подразделений предприятия.

Важное условие успешности управления — выбор системы показателей для системы ТОиР конкретного предприятия. Система показателей должна ориентироваться, с одной стороны, на цели, которые ставит перед предприятием руководитель, с другой стороны — на достигнутый уровень управления и автоматизации. Кроме того, необходимо иметь достаточно удобные средства отслеживания, позволяющие «спускаться» по дереву показателей — от предприятия к цеху и участку, от технологической системы или агрегата к отдельной машине, от общих показателей к более частным, вплоть до микро-объектов, из которых этот показатель складывается. Такое отслеживание позволяет аналитику понять, какая из составляющих вносит наибольший вклад в итоговый показатель, и тем самым подсказать необходимое управляющее воздействие. Кроме того, для ряда показателей желательно назначить допустимые границы («тревожные» и аварийные). «Управление по отклонениям» позволяет сос-

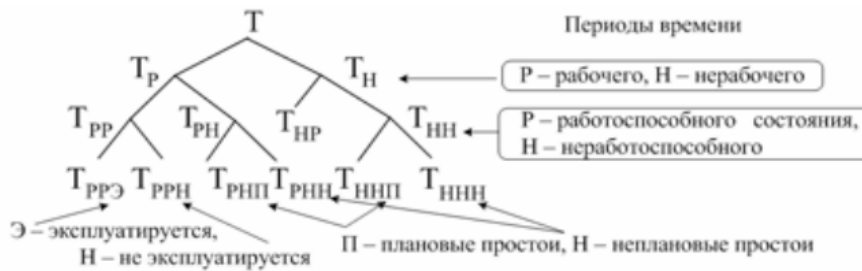


Рис. 1. Граф возможных состояний оборудования в процессе ее эксплуатации

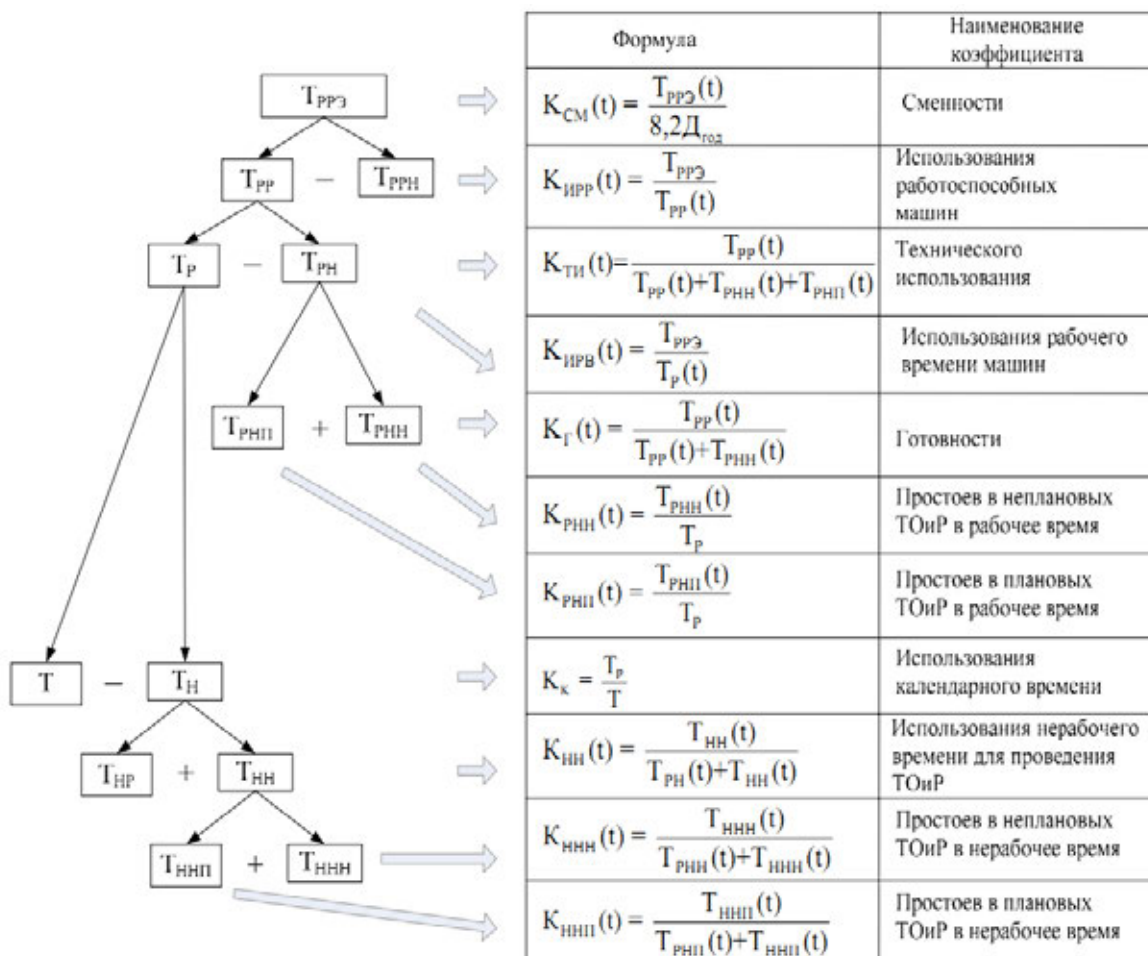


Рис. 2. Модель формирования показателей использования оборудования.  
8,2 – продолжительность рабочей смены, ч; ДГОД – количество дней в году

редоточиться на показателях, выходящих за эти границы.

При этом согласно [4] источником прибыли оборудования является наработка. Процесс формирования наработки оборудования, как результата и источника эффективности деятельности ТОиР, определяется периодами времени пребывания оборудования в различных состояниях (рис. 1), варьирование сочетанием которых позволяет вывести показатели использования оборудования (рис. 2). Буква «t» в скобках указывает на зависимость показателей от срока службы оборудования.

Согласно [5], наиболее важным этапом жизненного цикла оборудования является этап эксплуатации. Эксплуатационные свойства оборудования с точки зрения его функционирования и обслуживания характеризуют показатели использования оборудования (Рис. 2.).

Система коэффициентов использования оборудования характеризует:

– надежность оборудования через комплексные показатели надежности – коэффициенты готовности  $K_Г$  и технического использования  $K_{ТИ}$ ;

– работу ремонтной службы коэффициентами: простоев в плановых ТОиР в рабочее время —  $K_{рнп}$ , простоев в НР в рабочее время —  $K_{рнн}$ , простоев в плановых и неплановых ТОиР в рабочее время —  $K_{рн}$ ;

– работу коммерческой службы через коэффициент использования работоспособных машин  $K_{ирр}$ .

Динамика технического состояния (ТС) оборудования, как функция срока службы, характеризуется изменением коэффициентов готовности и технического использования по мере старения машины. Эти коэффициенты характеризуют и качество работы системы ТОиР, задача которой минимизировать продолжительность периода пребы-

вания техники в неисправном состоянии  $[T_{рнн}(t) + T_{рнп}(t)] \rightarrow \min$ .

Последние три показателя характеризуют использование нерабочего времени машины для восстановления ее работоспособности, что весьма рационально. При этом показатели использования рабочего времени заметно улучшаются.

Предлагаемая модель системы показателей надежности позволяет оценивать техническое состояние оборудования предприятия и, в конечном счете, эффективность работы ремонтной службы предприятия и эффективность управления техническим обслуживанием и ремонтом.

#### Литература:

1. Проект внедрения ЕАМсистемы на «Волжском гидроэнергетическом каскаде». Группа компаний «Современные технологии». 2006. — Режим доступа: — [http://www.sovtech.ru/synergy/eam].
2. Исследование и разработка методики автоматизации ремонтных работ предприятия / А.В. Кизим, Н.А. Линева // Изв. ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах»: межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. — Волгоград, 2008. — Вып. 4, № 2. — С. 43–45.
3. Кизим, А.В. Обоснование необходимости автоматизации работ по ремонту и техническому обслуживанию оборудования / А.В. Кизим // Известия Волгоградского государственного технического университета: межвуз. сб. науч. ст. № 6 (54) / ВолгГТУ. — Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2009. — (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в техн. системах. Вып. 6). — С. 118–121.
4. Репин, С.В. Концепция эффективности эксплуатации строительных машин // Строительные и дорожные машины. — 2007: № 2. — С. 27–31; № 4. — С. 21–25.
5. Кизим, А.В. Задачи и методы поддержки ТОиР оборудования на протяжении его жизненного цикла / А.В. Кизим // Известия ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». Вып. 13: межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. — Волгоград, 2012. — № 4 (91). — С. 55–59.

## Метод k средних при решении задачи распознавания диктора по речевому образцу

Панченко Евгения Юрьевна, студент

Московский государственный технологический университет «Станкин»

Параметризация в задаче распознавания диктора по речевому образцу заключается в выделении наиболее информативных параметров речи и получение компактного описания речевого сигнала. Размерность пространства параметров измеряется десятками. Так, число кепстральных коэффициентов может варьироваться от 10 до 30. Обычно к ним добавляются первые и вторые разности по времени (дельтапараметры), так что размерность пространства признаков для каждого кадра находится в диапазоне от 30 до 90. В общем случае это число должно быть умножено на количество кадров в речевом высказывании, что приводит к размерностям в сотни параметров. Для аппроксимации параметров прибегают к кластерному анализу [1, с. 52].

Кластерный анализ — задача разбиение заданной выборки объектов на подмножества, называемые кластерами, так, чтобы каждый кластер состоял из схожих объектов, а объекты разных кластеров существенно отличались.

Существует множество методов кластеризации. Из методов вероятностного подхода наиболее используемыми являются метод k-means, k-medians, EM-алгоритм. Из методов на основе искусственного интеллекта часто применяют метод нейронных сетей Кохонена. [2, с. 8]

Наиболее надежным способом идентификации диктора в текстонезависимых системах является векторное квантование [3, с. 124], основанное на кластеризации векторов признаков. Множество обучающих векторов преобразуется в множество кодовых слов (векторов), называемое кодовой книгой. Происходит сокращение избыточно большой исходной выборки обучающих параметров путем замены векторов в кластере на наиболее типичного представителя в каждом кластере. Обычно размер кодовой книги выбирается равным 256 или 512. Таким образом, метод векторного квантования применяется для конструирования аппроксимирующих акустических прототипов, используемых в качестве акустических моделей-эталонов.

При идентификации говорящего по поступающему речевому сообщению распределение кластеров оказывается похожим на эталонное для зарегистрированного пользователя, или отличающееся для злоумышленника. Классификация производится вычислением меры близости (сходства) пробных данных и уже известных, которая выражается расстоянием от вектора признаков пробного сигнала до вектора признаков уже классифицированного. В качестве меры близости для числовых атрибутов очень часто используется евклидово расстояние, которое представляет собой геометрическое расстояние в многомерном пространстве:

$$D(x, y) = \sqrt{\sum_i (x_i - y_i)^2}$$

Распространённым методом построения кодовой книги является алгоритм *k*-средних.

Метод оперирует таким понятием как центр тяжести. Центр тяжести — центр масс кластера, координаты которого рассчитываются как среднее значений координат объектов кластера в пространстве данных.

Алгоритм *k*-средних разбивает исходное множество на *k* кластеров, где *k* — предварительно заданное число. Для этого сначала значения средних инициализируются некоторыми векторами из исходного множества. Затем на каждой итерации алгоритма происходит распределение векторов в ближайшие к ним кластеры (для этого вычисляется расстояние между вектором и текущими значениями средних) и перерасчёт среднего в каждом кластере. Для каждого полученного разбиения рассчитывается некоторая оценочная функция *D* — средняя ошибка квантования, *distortion* (англ. искажение) [4, с. 13]:

$$D = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \|x_i - Q(x_i)\|$$

Где *N* — количество обучающих векторов;  $Q(x_i)$  — вектор среднего;  $x_i$  — обучающий вектор, принадлежащий кластеру с центромидом  $Q(x_i)$ .

Литература:

1. X.Huang, A.Acerio, H.Hon. Spoken Language Processing: A guide to theory, algorithm, and system development. Prentice Hall, 2001.
2. Lawrence R. Rabiner, Ronald W. Schafer Introduction to Digital Speech Processing, 2007
3. Аграновский А.В., Леднов Д.А. Теоретические аспекты алгоритмов обработки и классификации речевых сигналов Москва: Изд-во «Радио и связь», 2004. 164 с.
4. ETSI ES 202 050 V1.1.5 (2007–01) ETSI Standard Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); Distributed speech recognition; Advanced front-end feature extraction algorithm; Compression algorithms

Алгоритм *k*-means стремится минимизировать суммарное отклонение точек в кластере от центров кластеров.

Процесс вычисления средних и перераспределения объектов заканчивается тогда, когда кластерные центры стабилизировались, т.е. все наблюдения принадлежат кластеру, которому принадлежали до текущей итерации. Минимизация оценочной функции позволяет сделать результирующие кластеры настолько компактными и раздельными, насколько это возможно. Такое разбиение параметрического пространства является диктороспецифическим.

Полученные значения средних являются кодовыми векторами, используемыми для построения шаблона — кодовой книги.

Разбиение параметрического пространства на 3 кластера методом *k*-means показано на рисунке 1.

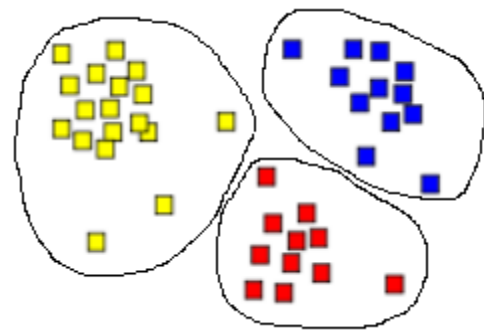


Рис. 1. Результат кластеризации алгоритмом *k*-means (*k*=3)

Метод *k*-means хорошо работает, когда кластеры представляют собой значительно разделённые между собой компактные области. Он эффективен для обработки больших объёмов данных, однако не применим для обнаружения кластеров невыпуклой формы или сильно различающегося размера.



## Разработка мультипоточковой модели последовательно связанных информационных элементов

Чугреев Валерий Леонидович, кандидат технических наук  
Институт социально-экономического развития территорий РАН (г. Вологда)

Рассматриваемая в статье модель является обобщением ранее разработанной модели структурного представления текстовой информации [1], далее для удобства и краткости вместо полного названия будем использовать сокращение — текстовая модель. Мультипоточковую модель последовательно связанных информационных элементов будем именовать как МТ-модель (МТ — аббревиатура от англ. multi-threaded).

Как уже сказано, здесь предлагается обобщение текстовой модели, оно подразумевает расширение модели для представления и обработки последовательно связанных данных произвольной природы. Если данные следуют друг за другом, их можно представить в виде потока информационных элементов. Информационный элемент в данном случае — это элементарная порция данных, которой оперирует модель.

В отличие от текстовой модели информационными элементами в МТ-модели могут быть не только слова, но и другие данные. Например, если мы решим моделировать транспортный поток на некотором участке дороги, то такими элементами будут автомобили (их описание, набор характеристик), проехавших по данному участку за интересующий нас промежуток времени. Поток информационных элементов в данном случае будет описывать последовательность автомобилей. Если мы решим моделировать погоду, то информационными элементами будут климатические данные, например, значения температуры. Данные могут быть любыми, главное — чтобы они были последовательно связаны. Наиболее близкий математический аналог — временной ряд [2]. В нашем случае он может состоять не только из числовых, но и нечисловых (атрибутивных, категориальных) данных.

**Актуальность модели** обусловлена отсутствием математического аппарата для решения задач анализа и прогнозирования нечисловых последовательностей. Решение таких задач весьма актуально в области искусственного интеллекта. Значительная часть информации, нуждающаяся в интеллектуальной обработке, не имеет числовой природы. Мы можем закодировать данные, но не можем их рассчитать, используя традиционные вычислительные методы аппроксимации, интерполяции, экстраполяции и др.

Наличие повторяющихся цепочек информационных элементов дает теоретическую возможность их прогнозирования (на основе факта повторения), но практически это не осуществимо в виду отсутствия подходящего математического аппарата. Данная модель нацелена на решение этой проблемы.

Числовая природа данных (пример с температурой) — это частный случай, в предлагаемой модели она не является

основополагающей. Отказываться от нее вообще, т.е. обрабатывать все числовые данные как атрибутивные, было бы не разумно. В некоторых случаях вычислимость может значительно облегчить анализ и обработку данных, т.к. позволяет достаточно просто рассчитать меру близости/схожести между отдельными информационными элементами (позже мы еще вернемся к этому вопросу) и использовать эту меру при оценке схожести отдельных участков потока.

**Область применения** можно определить исходя из особенностей моделирования. Если нам требуется система, на вход которой подается набор дискретных последовательно связанных информационных элементов, а на выходе мы хотим получить осмысленную реакцию системы, то использование данной модели вполне уместно и оправдано. В общем случае — это самые разные задачи интеллектуальной обработки информации, поиска зависимостей в слабо формализованных и неструктурированных массивах данных.

Для удобства и простоты изложения материала рассмотрим сначала исходную текстовую модель, а затем перейдем к ее обобщению.

Модель структурного представления текстовой информации

Суть подхода заключается в моделировании структуры текста информационным потоком и формировании этим потоком ориентированного мультиграфа, вершинами которого являются слова, а ребрами — связи между словами в тексте. Этот мультиграф является информационной структурой текста.

Информационный поток — это детерминированный поток информационных элементов, принадлежащих конечному множеству. Временной интервал между элементами нас не интересует, интересует только их последовательность. Информационные элементы — это слова, а конечное множество — это множество всех уникальных слов, присутствующих в анализируемом тексте. Информационный поток эквивалентен временному ряду категориальных величин.

Под информационной структурой понимается совокупность всех слов и связей между ними. Информационный поток, по сути, моделирует динамику некоторого процесса, в данном случае текста, а информационная структура является статическим представлением информационного потока.

Переход к модели структурного представления текста осуществляется следующим образом.

1) Текст рассматривается в виде информационного потока, образованного информационными элементами — словами.

Если последовательно брать слова из текста, начиная с самого первого и кончая последним, то это как раз и будет информационный поток  $F$ . При этом набор всех слов в тексте можно выделить в конечное множество уникальных информационных элементов:  $I = \{i_1, i_2, \dots, i_n\}$ , где  $i$  — информационный элемент соответствующий уникальному слову текста.

Информационный поток  $F$ , описывающий текст, будет представлен в виде набора этих элементов:  $F = (i_k, \dots, i_m)$ ,  $i_k, i_m \in I$ ,  $i_k$  — соответствует первому,  $i_m$  — последнему слову в тексте.

Порядок чередования информационных элементов в  $F$  зависит от их последовательности в тексте. Информационные элементы в потоке могут повторяться. Обязательное условие — однозначное соответствие информационного элемента слову из текста. Одинаковые слова в тексте соответствуют одному и тому же информационному элементу.

Возьмем для примера фрагмент текста «в лесу родилась елочка, в лесу она росла» и выполним его моделирование. Всего 8 слов, знаки препинания не учитываются. Из этих 8 слов 2 слова («в», «лесу») повторяются, таким образом, у нас 6 уникальных информационных элементов:

$i_1 = \text{в}, i_2 = \text{лесу}, i_3 = \text{родилась}, i_4 = \text{елочка}, i_5 = \text{она}, i_6 = \text{росла}$

Информационный поток соответствующий этому фрагменту:  $F = (i_1, i_2, i_3, i_4, i_1, i_2, i_5, i_6)$ .

2) Поток формирует структуру.

Если учесть, что слова в тексте повторяются, то, соответственно, можно допустить, что информационный поток будет многократно проходить через одни и те же информационные элементы, формируя связанную информационную структуру текста. Для вышеприведенного примера информационная структура будет выглядеть следующим образом (рис. 1).

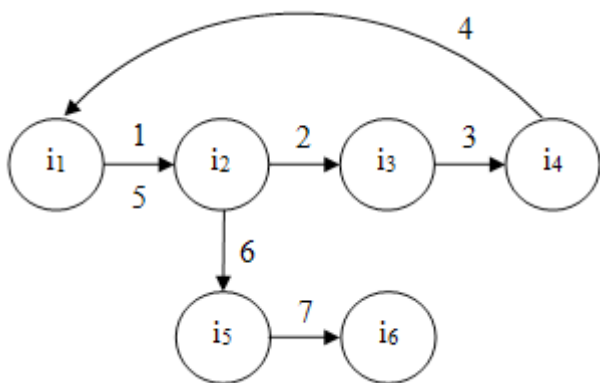


Рис. 1. Структура, формируемая информационным потоком

Для каждого повторного прохождения потока через одну и ту же пару информационных элементов, необходимо формировать дополнительные связи — ребра. Такая структура описывается в виде мультиграфа. Для удобства ото-

бражения мультиграфа (рис. 1) информационный поток индексируется и каждому ребру графа, соединяющего пару вершин, приписывается множество индексов соответствующих прохождению информационного потока через данную пару. Индексация информационного потока означает, что каждому переходу между двумя информационными элементами будет поставлен в соответствие индекс, начиная с единицы, с последовательным его инкрементом.

Множественное индексирование означает множественное прохождение потока, это важная характеристика, она может быть использована для прогнозирования последующего прохождения потока.

**МТ-модель**

Перечислим отличительные особенности МТ-модели.

1. Как уже было сказано ранее, в качестве информационных элементов выступают последовательно связанные данные произвольной природы, которые могут быть как символьными, так и числовыми.

2. Информационный элемент может и должен иметь временную составляющую, а именно время появления (фиксации) элемента в потоке и его продолжительность. В некоторых случаях продолжительностью можно пренебречь, т.е. важен сам факт возникновения определенного информационного элемента в определенное время в информационном потоке.

3. Следующее важное дополнение — это увеличение числа потоков. Возьмем для примера моделирование колебаний курса валют. Очевидно, что такие колебания нужно рассматривать в контексте: какие решения принимает правительство, центральный банк, какая ситуация на рынках и т.д. Если оперировать терминологии данной модели, то речь идет о введении дополнительных информационных потоков, моделирующих контекст.

Таким образом, у нас будет набор потоков:  $(F_1, \dots, F_n)$ . Графически это можно представить следующим образом (рис. 2).

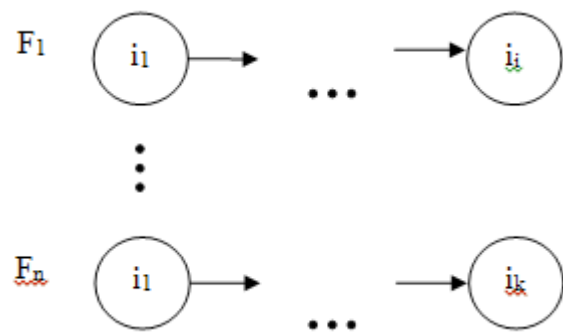


Рис. 2. Множество потоков

Конечно, это предельно упрощенное представление, если учесть графовую структуру, которую формируют потоки, то реальное представление будет на порядки сложнее.

4. Потоки могут быть разнородными по отношению друг к другу, но должны быть однородными по отношению к себе, т.е. наличие параллельных потоков моделирующих одновременно, допустим, экономические и демографические параметры — это нормально, но не нормально, когда эти параметры будут смешивать в одном потоке. Набор  $(i_1, \dots, i_n)$  должен состоять из однородных информационных элементов.

5. Еще один важный момент, который стоит учесть, — это количество уникальных элементов по отношению к элементам, представленным в потоке. Если все информационные элементы уникальны, то о графе говорить не приходится. Нас интересуют повторяющиеся цепочки, именно они могут быть использованы для задач прогнозирования.

Вернемся к примеру с валютой, пусть информационными элементами будут изменения курса. Очевидно, чем больше диапазон изменения и меньше дискретность, тем больше элементов. Назовем все возможные уникальные элементы словарем, тогда размер словаря (число входящих в него элементов) деленный на число событий в потоке будет характеризовать применимость, полезность данной модели. Отношение равно 1 — это случай неприменимости/бесполезности модели.

6. Числовая природа событий, как уже было отмечено выше, — это частный случай, который имеет свои особенности и их можно использовать. Продолжим рассмотрение примера с моделированием потока колебаний курса валюты. Допустим, мы выделили следующее множество уникальных событий: рост валюты на 1, 2, 3, ... 10 %, уменьшение курса на 1, 2, 3, ... 10 %, т.е. всего 20 информационных элементов. Это словарь, который будет описывать моделируемый поток событий (любое событие из потока имеет соответствующую запись в словаре).

Представим, что зафиксирован следующий поток событий:  $5\uparrow$  (рост курса на 5 %),  $3\uparrow$ ,  $1\uparrow$ ,  $4\downarrow$  (падение курса на 4 %). Если он неоднократно повторялся, то эта цепочка обладает прогностической ценностью, встретив в следующий раз цепочку  $5\uparrow$ ,  $3\uparrow$ ,  $1\uparrow$  мы можем с некоторой вероятностью спрогнозировать последующее падение в 4 %. А что если мы встретим цепочку  $6\uparrow$ ,  $3\uparrow$ ,  $1\uparrow$ ? Она похожа на то, что уже было, различаются лишь первые события в цепочке, но различаются незначительно. Есть вероятность того, что для этой цепочки продолжение будет таким же, т.е.  $4\downarrow$ .

Здесь мы опираемся на то, что эти числа близки друг к другу, мы считаем, что мера их близости высока. Такое

знание дает числовая природа событий и ее вполне можно использовать. В тех задачах, где мы можем четко и однозначно оценить меру близости, мы можем ее использовать при последующем анализе модели. Если мы можем оценить меру близости для нечисловых элементов, то можем использовать и ее. Каким образом можно оценить меру близости для нечисловых элементов? С помощью категоризации. Если мы знаем, что какие-то элементы словаря могут быть отнесены к одной группе/категории объектов, то можем учесть эту связь впоследствии.

### Гипотезы

Здесь мы сделаем ряд предположений о применимости предложенной модели для решения прогностических задач.

1. Учитывая повторяемость некоторых цепочек событий (предыстории) в рамках потока, можно прогнозировать последующее поведение потока, т.е. предсказывать возникновение тех или иных элементов (по сути, событий) с некоторой вероятностью.

2. Качество прогноза для потока зависит не только от предыстории в данном потоке, но и от предыстории в других потоках. Если, конечно, эти потоки выбраны и сведены в общую модель осмысленно, если между отдельными событиями этих потоков действительно есть зависимость. Естественно, что предыстория из разных потоков должна учитываться в одном и том же временном диапазоне.

3. Оптимальный временной диапазон, в котором необходимо учитывать предысторию будет разным для разных исходных данных и моделируемых систем. Его правильный выбор и принципы такого выбора — один из открытых вопросов, ответ на который можно получить только в процессе практического моделирования.

### Заключение

Чтобы проверить сформулированные выше гипотезы нужно осуществить компьютерное моделирование на основе реальных данных. Это предполагает: 1) создание программной реализации модели, 2) разработку алгоритма анализа цепочек событий для поиска их зависимостей и причинно-следственных связей применительно к сопряженным графам. Обладая практической реализацией модели и алгоритмами ее анализа, мы можем приступить непосредственно к прогнозированию, т.е. оценке его качества на разных выборках.

### Литература:

1. Чугреев В.Л., Модель структурного представления текстовой информации и метод ее тематического анализа на основе частотно-контекстной классификации: диссертация на соискание уч. ст. к.т.н. — СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2003. — 185 с.
2. Лукашин Ю.П., Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов: Учеб. пособие. — М.: Финансы и статистика, 2003. — 416 с.

## ХИМИЯ

### Получение хлорпарафина марки ХП-30 термическим жидкофазным хлорированием в непрерывном режиме

Красильникова Клавдия Федоровна, доцент;  
Мохова Дарья Дмитриевна, студент  
Волгоградский государственный технический университет

Мировое производство хлорпарафинов является многотоннажным. В настоящее время промышленное производство хлорированных парафинов в странах СНГ осуществляется только предприятиями Российской Федерации. В Волгограде их выпускают ОАО «Каустик» и ОАО «Химпром», в Башкортостане — Стерлитамакское ОАО «Каустик», в Чувашии — Новочебоксарское ОАО «Химпром». Тенденция роста производства хлорпарафинов, отмеченная в последние годы, обусловлена стабильной потребностью как на внутрироссийском рынке, так и спросом в странах СНГ и дальнем зарубежье [3]. Основным экспортером хлорированных парафинов из России является Волгоградское ОАО «Каустик» [2].

Хлорпарафины используются в промышленности тяжелого органического синтеза как полупродукты (ок. 15 %) и как добавки (в основном, вторичные пластификаторы, применяемые совместно с эфирами фталевой кислоты) для полимеров на основе поливинилхлорида (до 80 %), придавая им ряд полезных свойств. Полученные изделия обладают повышенной механической прочностью, морозостойкостью, устойчивостью к действию углеводородов и улучшенной гидрофобностью. Хлорпарафины отличаются низкой токсичностью (4 класс опасности) и доступностью сырья для их производства [4].

Проведенный структурно-функциональный анализ производства хлорпарафина ХП-30, реализованного на промышленном аналоге, позволил выявить следующие недостатки: длительность процесса, периодичность, неэффективная подача газообразного хлора в реактор, недостаточно высокая конверсия хлора (ок. 96 %).

Для повышения эффективности рассматриваемого производства хлорпарафина марки ХП-30 предлагается проводить процесс синтеза целевого продукта в непрерывном режиме хлорирования парафиновых углеводородов газообразным хлором в противоточной секционированной барботажной колонне, что позволяет увеличить производительности оборудования, уменьшить энергоёмкость процесса.

Секционирование колонны, предотвращающее перемешивания реакционной массы по вертикали, и противоток хлор-углеводород обеспечивают практически полную конверсию хлора [1]. Решается вопрос периодичности процесса. Выход хлорпарафина близок к 100%.

Данное усовершенствование несет за собой изменение в конструкции аппарата, используемого на промышленном аналоге, а именно замену основного аппарата — реактора типа «котел» на секционированную барботажную колонну.

Предлагаемый способ компактный, надежный в работе и легко управляемый. При непрерывном режиме хлорирования парафинов получение целевого продукта осуществляется без простоев оборудования. Система характеризуется стационарностью главных переменных (параметры потоков на входах и выходах).

Проведенный технологический расчет барботажной колонны показывает, что эффективный отвод экзотермического тепла реакции возможно осуществить посредством рубашки. В результате расчета подобрана колонна диаметром 1,6 м, высотой 8 м. Колонна снабжена барботером, имеющий следующие характеристики: диаметр трубы 83×3,5 мм, диаметр отверстий 10 мм, необходимое количество отверстий 81.

Таким образом, для рассматриваемого процесса термического жидкофазного процесса хлорирования парафинов фракции  $C_{14}-C_{17}$  предлагается альтернативный реактор полного смешения, работающий в непрерывном режиме, который дает большую удельную производительность, чем периодический реактор в 2,5 раза. При определении оптимальных условий проведения процесса было установлено, что нецелесообразно дальнейшее увеличение температуры, так как это приводит к протеканию побочных процессов (дегидрохлорирования хлорпарафинов), разложению продуктов и, как следствие, к уменьшению селективности и к ухудшению качества целевого продукта.

Применение нового способа получения ХП-30 позволяет достичь одинаковую годовую производительность

при замене 5 параллельно соединенных реакторов ем- каждый (общий объем 31,5 м<sup>3</sup>) на 1 реактор колонного  
костного типа периодического действия объемом 6,3 м<sup>3</sup> типа непрерывного действия объемом 16 м<sup>3</sup>.

Литература:

1. Пат. 2153487 РФ, МПК С 07 С 17/10, С 07 С 19/01. Способ хлорирования парафиновых углеводородов/ Е.С. Балакирев, И.А. Дьяконов, В.А. Филимонов. – 1998.
2. Постоянный технологический регламент ОАО «Каустик» № 79–21/2008 Производства жидких хлорпарафинов, абгазной соляной кислоты.
3. Хлорированные парафины. Обзор производства в СНГ. Электронный журнал «Евразийский химический рынок» <http://www.chemmarket.info>. 2008,12.
4. Огородников С.К. Справочник нефтехимика в 2х томах. Т.2/С. К. Огородников – Л.: Химия, 1978. – 592 с.

# БИОЛОГИЯ

## Характеристика основного ассортимента древесных растений в скверах города Томска

Крюкова Ксения Александровна, аспирант

Национальный исследовательский Томский государственный университет

Зеленые насаждения является неотъемлемым элементом благоустройства городских территорий. Сами же городские насаждения подразделяются на три категории: общего пользования, ограниченного пользования и специального назначения [1]. Значительная роль в общей структуре города отводится насаждениям общего пользования. К ним относят скверы, бульвары, городские парки и сады. Размещение этих насаждений в структуре города зависит от его планировочной организации, природных условий, наличия или отсутствия на его территории естественных лесных массивов.

В Томске площадь зеленых насаждений общего пользования по данным Генерального плана [2] составляет 315,5 га из них: парков – 265,7 га, скверов – 39,5 га, бульваров – 10,3 га.

Цель исследования заключалась в изучении древесных растений в скверах города Томска с определением видового состава и их средних таксационных характеристик. Объектами исследования являлась древесная растительность в 14 скверах: у ЗАГСа, у железнодорожного вокзала Томск-1, у здания Речного порта, Нахимова–Советская, в районе Кузнечного взвоза, Ветеранов, по ул. Р. Люксембург, по пр. Ленина, напротив Дома профсоюзов, Кирова–Красноармейская, у гостиницы Томск-1, Пушкина–Железнодорожная, у ДК Авангард, Карташова–Дзержинского.

### Материалы и методы

В 2010–2012 гг. была проведена инвентаризация зеленых насаждений в ходе, которой осуществлялась дендрометрическая оценка, заключающаяся в определении: видового названия, диаметра ствола на высоте груди (1,3 м) измеряемого мерной вилкой и высоты дерева – высоотермом SUUNTO PM-5/1520, возраста по следующей градации: М – молодые растения с не полностью развитыми кронами и не достигшие размеров взрослых особей, В – взрослые растения с полностью сформировавшейся нормальной для вида величины, С – старые растения с явными признаками старения [3].

### Результаты и их обсуждение

В ходе инвентаризации скверов г. Томска было обследовано 3322 экземпляров древесной и кустарниковой растительности. Выявлено, что во всех исследуемых скверах наиболее представлена древесная растительность, за исключением у здания Речного порта (рис. 1).

По результатам инвентаризации установлено, что видовой состав древесных растений исследуемых скверов формируют представители 11 семейств, 19 родов и 37 видов. Наибольшее распространение получили представители семейства Rosaceae (4 рода, 7 видов), Pinaceae (4 рода, 5 видов) и Salicaceae (2 рода, 12 видов). Следует отметить, что основной ассортимент (62 % от общего числа деревьев) представлен всего пятью видами.

Как показали исследования, доминирующими видами в скверах являются: яблоня ягодная (*Malus baccata* (L.) Borch.), ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.), ива ломкая (*Salix fragilis* L.), береза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh.) и клен ясенелистный (*Acer negundo* L.). Доля их участия в ассортименте зеленых насаждений составляет 14 %, 14 %, 13 %, 11 % и 10 % соответственно. Остальные виды представлены в меньшей степени. Береза повислая (*Betula pendula* Roth.) и липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.) по 8 %, боярышник кроваво-красный (*Crataegus sanguinea* Pall.) – 7 %, тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L.) и рябина сибирская (*Sorbus sibirica* Hedl.) по 3 %. Доля участия других видов составляет менее 3 %.

В составе насаждений скверов города встречаются не только представители местной (аборигенной) флоры, но и интродуценты флор Европы, Дальнего Востока и Северной Америки (рис. 2). Из рисунка видно, что наибольшее разнообразие характерно для флоры Европы – 37 % и Сибири – 33 %. В меньшей степени в составе насаждений присутствуют интродуценты флор Дальнего Востока и Северной Америки – 16 и 14 % соответственно. Наиболее распространенными древесными растениями в скверах являются представители флор: местной (*Picea obovata*, *Betula pendula*, *Betula pubescens*, *Sorbus*

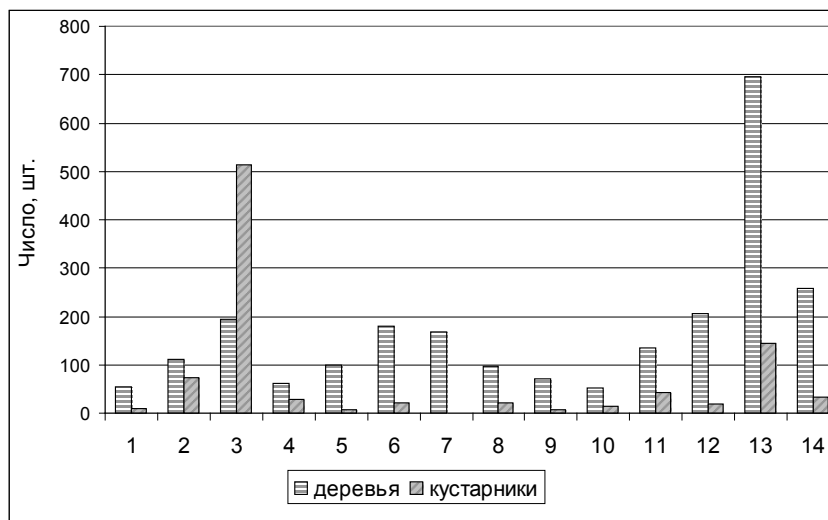


Рис. 1. Встречаемость древесной и кустарниковой растительности в скверах города Томска.

Примечание: 1 – у ЗАГСа; 2 – у железнодорожного вокзала Томск-1; 3 – у здания Речного порта; 4 – Нахимова–Советская; 5 – в районе Кузнечного взвоза; 6 – Ветеранов; 7 – по ул. Р. Люксембург; 8 – по пр. Ленина; 9 – напротив Дома профсоюзов; 10 – Кирова–Красноармейская; 11 – у гостиницы Томск-1; 12 – Пушкина–Железнодорожная; 13 – у ДК Авангард; 14 – Карташова–Дзержинского.

*sibirica*, *Crataegus sanguinea*), Европы (*Tilia cordata*, *Salix fragilis*), Дальнего Востока (*Malus baccata*) и Северной Америки (*Acer negundo*).

Наиболее представленными основными видами (табл. 1) в скверах являются: *Picea obovata* (доля участия составляет до 75 % от общего количества растений в сквере), *Malus baccata* (до 51 %), *Acer negundo* (до 61 %), *Betula pubescens* (до 36 %), *Betula pendula* (до 29 %) и *Tilia cordata* (до 25 %).

Анализ полученных нами данных показывает, что *Picea obovata* и *Malus baccata* произрастает в качестве основного ассортимента в восьми скверах, *Acer negundo* – в семи, *Betula pubescens* и *Betula pendula* – в четырех, *Tilia cordata* – в пяти.

Средние таксационные показатели ( $D_{cp}$  и  $H_{cp}$ ) основных древесных растений колеблются в зависимости от возраста для *Picea obovata* (у молодых – 0,1–4,8 см и 1,0–4,3 м, у взрослых – 9,7–27,7 см и 7,1–16,6 м), *Malus baccata* (у молодых – 0,4–3,4 см и 0,8–3,7 м, у взрослых – 8,2–13,6 см и 4,8–8,8 м, у старых – 14,1–23,5 см и 6,9–9,5 м), *Acer negundo* (у молодых – 0,4–3,4 см и 1,5–5,5 м, у взрослых – 10,9–26,5 см и 7,7–12,5 м, у старых – 33,3–39,5 см и 11,2–13,1 м), *Betula pubescens* (у молодых – 2,0–10,2 см и 2,8–6,7 м, у взрослых – 11,7–28,5 см и 6,1–15,6 м), *Betula pendula* (у молодых – 2,1–2,6 см и 3,0–3,4 м, у взрослых – 16,2–29,2 см и 11,8–17,1 м), *Tilia cordata* (у молодых – 2,0–10,2 см и 2,8–6,7 м, у взрослых – 11,7–28,5 см и 6,1–15,6 м).

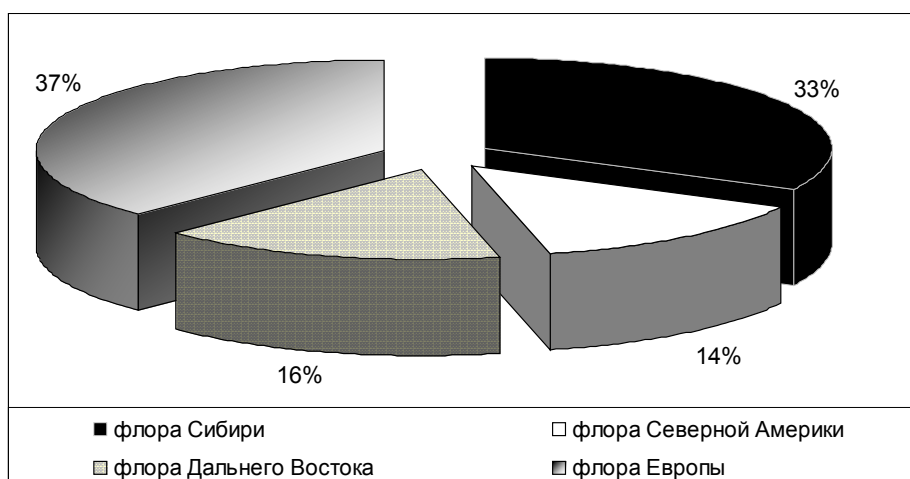


Рис. 2. Соотношение аборигенных и интродуцированных древесных видов в насаждениях скверов города Томска

Таблица 1. Основной ассортимент древесных растений скверов города Томска

№	Число растений, шт.	Плотность посадки, шт./га	Древесные растения						
			Основные виды	Количество, %	Возраст	D <sub>ср</sub> , см		H <sub>ср</sub> , м	
						M ± m	CV	M ± m	CV
<b>у ЗАГСа</b>									
1	55	550	<i>Betula pendula</i>	29	В	37,5 ± 2,1	22,3	19,2 ± 1,1	23,8
			<i>Tilia cordata</i>	25	В	24,8 ± 1,3	19,7	15,6 ± 0,5	12,2
			<i>Picea obovata</i>	18	В	17,8 ± 1,3	20,9	12,2 ± 0,8	18,6
<b>у железнодорожного вокзала Томск-1</b>									
2	111	370	<i>Populus balsamifera</i>	41	В	56,4 ± 2,4	28,8	25,6 ± 0,8	21,2
			<i>Tilia cordata</i>	19	М	4,8 ± 0,4	35,1	4,0 ± 0,1	16,7
				4	В	28,3	–	10,8	–
			<i>Picea obovata</i>	11	В	11,9 ± 1,3	37,1	8,4 ± 0,9	37,3
			<i>Malus baccata</i>	1	М	3,1	–	2,9	–
			9	В	10,1 ± 2,0	63,2	5,3 ± 0,9	52,6	
<b>у здания Речного порта</b>									
3	194	216	<i>Picea obovata</i>	9	М	0,7	–	1,0 ± 0,4	18,6
				11	В	18,0 ± 1,3	34,9	9,6 ± 0,6	29,0
			<i>Crataegus sanguinea</i>	12	В	9,6 ± 0,4	21,0	6,4 ± 0,2	16,3
			<i>Acer negundo</i>	3	М	6,3 ± 0,9	34,7	5,5 ± 0,7	30,9
				5	В	10,9 ± 1,3	38,2	7,7 ± 0,4	16,9
				2	С	33,3 ± 3,6	21,7	13,1 ± 0,2	2,9
			<i>Salix fragilis</i>	10	В	39,1 ± 3,9	43,1	15,5 ± 0,4	12,3
<b>Нахимова–Советская</b>									
4	62	620	<i>Acer negundo</i>	5	М	3,4	–	3,7	–
				57	В	12,6 ± 1,0	31,7	8,8 ± 0,4	17,2
			<i>Malus baccata</i>	6	В	4,4	–	5,2	–
			12	С	13,7 ± 2,3	48,4	7,3 ± 0,9	34,4	
<b>в районе Кузнечного взвоза</b>									
5	100	417	<i>Betula pubescens</i>	10	М	2,07 ± 0,2	32,2	3,4 ± 0,2	22,7
				26	В	22,5 ± 1,6	36,2	13,9 ± 0,9	31,9
			<i>Tilia cordata</i>	2	М	2,0	–	2,8	–
				15	В	24,5 ± 1,4	21,8	11,1 ± 0,3	11,1
			<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	1	М	3,7	–	4,1	–
				14	В	15,1 ± 0,9	22,3	9,0 ± 0,5	19,2
<i>Betula pendula</i>	11	В	23,9 ± 1,5	20,5	15,4 ± 0,7	15,9			
<b>Ветеранов</b>									
6	180	300	<i>Tilia cordata</i>	4	М	10,2 ± 1,8	46,0	5,0 ± 0,7	40,0
				17	В	11,7 ± 0,5	24,2	6,1 ± 0,1	12,1
			<i>Picea obovata</i>	17	В	12,0 ± 0,8	36,3	7,1 ± 0,4	29,6
			<i>Betula pubescens</i>	1	М	2,6	–	3,0	–
				16	В	19,4 ± 1,2	33,8	11,8 ± 0,5	22,6
			<i>Sorbus sibirica</i>	8	М	1,2 ± 0,2	51,3	2,3 ± 0,2	32,7
				7	В	5,0 ± 0,8	58,8	5,2 ± 0,4	25,3
<i>Malus baccata</i>	13	В	12,6 ± 0,7	26,0	6,0 ± 0,4	29,3			
<b>по ул. Р. Люксембург</b>									
7	167	1670	<i>Crataegus sanguinea</i>	57	В	7,4 ± 0,3	30,0	6,8 ± 0,2	14,0
			<i>Acer negundo</i>	34	В	20,6 ± 1,1	40,7	9,5 ± 0,3	24,4
<b>по пр. Ленина</b>									
8	96	192	<i>Tilia cordata</i>	10	М	7,7 ± 0,8	30,5	6,7 ± 0,8	36,9
				13	В	28,5 ± 1,7	21,2	12,1 ± 0,5	13,1
			<i>Picea obovata</i>	19	В	27,7 ± 2,5	38,2	16,6 ± 0,5	13,4
			<i>Acer negundo</i>	16	В	26,5 ± 2,7	39,9	11,8 ± 0,7	24,5
				2	С	39,5	–	11,2	–
			<i>Malus baccata</i>	12	С	23,5 ± 1,5	21,2	9,0 ± 0,5	17,3



напротив Дома профсоюзов									
9	72	180	<i>Picea obovata</i>	75	В	16,4 ± 0,9	40,3	12,3 ± 0,7	36,4
			<i>Acer negundo</i>	15	М	0,7 ± 0,1	62,2	1,5 ± 0,1	23,6
				1	В	17,2	–	12,5	–
Кирова–Красноармейская									
10	52	260	<i>Acer negundo</i>	19	М	0,6 ± 0,1	61,4	2,0 ± 0,2	26,7
				19	В	28,8 ± 4,6	50,8	11,6 ± 1,0	27,9
			<i>Malus baccata</i>	19	С	14,1 ± 1,9	42,2	9,5 ± 0,5	17,0
			<i>Betula pendula</i>	19	В	55,3 ± 8,5	48,4	25,2 ± 0,8	10,4
у гостиницы Томск-1									
11	134	1340	<i>Picea obovata</i>	44	В	9,7 ± 0,4	28,3	9,1 ± 0,3	21,9
			<i>Crataegus sanguinea</i>	28	В	6,5 ± 0,5	45,8	3,5 ± 0,2	33,9
			<i>Malus baccata</i>	1	М	1,2	–	2,1	–
				10	С	16,2 ± 0,9	17,8	6,9 ± 0,3	14,3
Пушкина–Железнодорожная									
12	207	296	<i>Malus baccata</i>	0,5	М	0,4	–	1,5	–
				4	В	8,2 ± 0,9	31,4	4,8 ± 0,9	50,9
				38	С	14,7 ± 0,4	24,7	7,7 ± 0,3	28,2
			<i>Acer negundo</i>	1	М	0,9	–	2,3	–
				25	В	16,4 ± 1,4	60,9	9,3 ± 0,4	28,8
			<i>Betula pubescens</i>	18	В	29,3 ± 1,7	28,5	15,8 ± 0,7	28,5
у ДК Авангард									
13	696	162	<i>Salix fragilis</i>	1	М	2,4	–	3,5	–
				40	В	32,0 ± 0,7	32,2	19,1 ± 0,4	23,0
			<i>Betula pubescens</i>	24	В	16,2 ± 0,5	38,4	17,1 ± 0,6	26,3
			<i>Picea obovata</i>	5	М	4,8 ± 0,3	37,9	4,3 ± 0,3	36,7
				11	В	16,5 ± 0,8	43,0	12,3 ± 0,7	37,1
Карташова–Дзержинского									
14	258	369	<i>Malus baccata</i>	2	М	–	–	0,8	–
				49	С	16,1 ± 0,4	31,0	7,9 ± 0,2	32,5
			<i>Betula pendula</i>	28	В	32,5 ± 1,4	35,5	20,9 ± 0,8	24,1

Проведенные в скверах города Томска исследования позволяют заключить, что в озеленении используется представители, как местной, так и интродуцированной флоры. Однако встречаемость древесных растений в скверах неравномерна, некоторые виды представлены большим количеством, а другие растения только лишь одиночными экземплярами. Изменчивость древесных растений зависит от возраста и колеблется по диаметру и высоте. Так уровни изменчивости по диаметру находятся в

пределах: у молодых – от повышенного до очень высокого, у взрослых – от среднего до очень высокого, у старых – от среднего до очень высокого. Изменчивость по высоте находится: у молодых – от повышенного до высокого, у взрослых – от среднего до очень высокого, у старых – от очень низкого до повышенного.

Полученные данные могут быть использованы при назначении мероприятий по реконструкции насаждений скверов города Томска.

Литература:

1. Теодоронский В.С., Сабо Е.Д., Фролова В.А. Строительство и эксплуатация объектов ландшафтной архитектуры: учебник для студентов высших учебных заведений. М., 2007. 352 с.
2. Томск. Генеральный план. СПб. – Томск, 2007. Т. 2: Обосновывающие материалы. 320 с.
3. Фролова В.А. О мониторинге за состоянием зеленых насаждений на бульварах жилой застройке // Лесной вестник. 1999. № 1. С. 56–60.

## Биоиндикационная оценка качества воды в некоторых степных водоёмах Кубани

Хорошеньков Егор Александрович, аспирант  
Кубанский государственный университет (г. Краснодар)

Оценка качества среды является узловой задачей при любых действиях в области охраны природы и природопользования, эффективное решение которой возможно только при проведении системы мероприятий, объединяемых понятием «экологический мониторинг». Экологический мониторинг обеспечивает постоянную оценку условий среды обитания человека и биологических объектов (растений, животных, микроорганизмов), а также оценку состояния и функциональной целостности экосистем [1, с. 34–41].

Методы биологического мониторинга, в частности биоиндикация состояния экосистемы, широко используются для определения состояния среды в целом и отдельных ее компонентов. Биоиндикация в природных сообществах дает возможность получить информацию о влиянии параметров среды и их взаимодействии. К таким параметрам относятся не только концентрации химических веществ (токсикантов), но и климатические условия, скорости переноса веществ в водной или воздушной среде, эрозийные процессы в почве, соленость воды и т.д. С точки зрения экологического нормирования факторов среды такой подход к индикации представляется наиболее обоснованным, так как предполагает учет отклика реального многовидового сообщества на реальную многокомпонентную нагрузку [2, с. 115–135].

Одним из биоиндикационных методов оценки состояния окружающей среды является метод морфогенетического мониторинга, то есть оценка уровня стабильности развития живых организмов. Она проводится по показателям флуктуирующей асимметрии животных и растений. Флуктуирующая асимметрия, то есть наличие ненаправленных различий в проявлении признака на правой и левой стороне тела, достаточно давно используется для индикации стрессорирующих внешних и внутриорганизменных факторов [3, с. 19; 4, с. 115–125; 5, с. 216; 6, с. 164–168].

Мерой стабильности развития может служить флуктуирующая асимметрия, представляющая собой незначительные ненаправленные отклонения от строгой билатеральной симметрии вследствие несовершенства онтогенетических процессов. Она является одним из основных показателей стабильности развития, позволяющим определить нарушение развития, происходящие на основе одного и того же генотипа [7, с. 42].

Флуктуирующая асимметрия определяется как следствие несовершенства онтогенетических процессов. По феноменологии она представляет собой незначительные ненаправленные отклонения от строгой билатеральной асимметрии.

Флуктуирующая асимметрия представляет собой совершенно особый тип асимметрии, как выражение несо-

вершенства симметрии и направленной асимметрии, реализуемых в биологических объектах. С точки зрения фенотипической изменчивости флуктуирующая асимметрия может быть охарактеризована как наиболее обычное и широко распространенное проявление внутрииндивидуального разнообразия и что, вероятно, является главным, представляет практически уникальную возможность для анализа особой формы изменчивости — случайной спонтанной изменчивости развития.

Величина асимметрии у отдельной особи может быть определена по разности значений рассматриваемого признака слева и справа. Для качественных признаков можно просто учитывать симметрично или асимметрично их проявление.

Рыбы, особенно бентосные виды, как высшее звено трофической цепи водной экосистемы, должны использоваться при определении экологического статуса природной зоны, но предпочтительно их используют в качестве организмов — мониторов заражения [8, с. 27].

Мы оценивали флуктуирующую асимметрию у серебряного карася, пойманных в различных водоёмах Северо-Западного Предкавказья.

Оценка флуктуирующей асимметрии серебряного карася проводилась по стандартным методикам [Методические рекомендации....., 2003]. Нами были использованы такие показатели как ЧАПП и ЧАПО у разновозрастных особей. ЧАПО рассчитывается как отношение числа особей, имеющих асимметричный признак, к общему числу особей. ЧАПП рассчитывается как отношение числа признаков, проявляющих асимметрию, к общему числу учтенных признаков. Также нами был посчитан критерий Пирсона и доли особей с асимметричными признаками в различных водоёмах.

Оценку отклонения стабильности развития рыб от условно нормального состояния мы проводили по шкалам [9, с. 28], приведённым в табл. 1.

Статистическая обработка данных была проведена стандартными статистическими методами [10, с. 291].

Материал для исследования мы собрали в трёх точках. Всего собрано 58 особей карася серебряного.

Первая точка для сбора материала — река Понура. Берега пологие, густо поросшие травой и камышом. Рядом находится частный сектор, на берегах производится выпас скота. Поблизости нет промышленных предприятий. Удалённость от краевого центра составляет 33 км. Забор воды происходит в 4 км от станицы Старонижестеблиевская.

Вторая точка сбора — оросительный канал в рисовых чеках. Берега канала отвесные, поросшие камышом. Канал протекает по территории 8 участка Кубрисводхоза.

Таблица 1. Шкала для оценки отклонений состояния рыб от условий нормы

Балл	Величина показателя стабильности развития рыб (ЧАПП или ЧАПО)
1	до 0,30
2	0,30–0,34
3	0,35–0,39
4	0,40–0,44
5	0,45 и выше

Таблица 2. Частота асимметричного проявления на особь у разновозрастных особей карповых рыб из Бейсукского водохранилища

Водоём	Возраст	ЧАПО	Балл
Р. Понура	4+	0,33 ± 0,11	2
	5+	0,35 ± 0,06	3
	6+	0,46 ± 0,08	5
Оросительный канал	3+	0,36 ± 0,21	3
	5+	0,32 ± 0,08	2
Р. Кубань	5+	0,46 ± 0,16	5
	6+	0,42 ± 0,09	4
	7+	0,36 ± 0,18	3

В 1,5 км от места сбора находится рыбопитомник; В 1 км – молочно-товарная ферма. Место удалено от федеральной трассы, рядом нет промышленных предприятий и жилого сектора. Недалеко от водоёма производится выпас скота. Удаленность место сбора материала от Краснодара составляет 60 км.

Третья точка – река Кубань. Место сбора находится в 12 км от г. Славянск-на-Кубани. Берега широкие, поросшие травой и деревьями. Ближайший населённый пункт находится в 2 км (поселок Могуковровский). По берегам производится выпас скота. В 800 метрах проходит федеральная трасса М 4 «Дон».

Проанализировав таблицу 2 можно сделать выводы о том, что в р. Понура идёт уменьшение антропогенной нагрузки, четырёхлетние караси характеризуют водоём 2 баллом, в то время как караси пяти летнего возраста характеризуют водоём в 3, а шестилетние особи дают водоёму максимальный балл загрязнения.

[11, с. 61–64] проводила аналогичные исследования, отмечает, что у особей некоторых видов (окунь, пиленгас, серебряный карась) во всех типах водотоков в отдельные годы встречаются значительно более низкие показатели флуктуирующей асимметрии. Например, у окуня генерации 2004 г., выловленного в судоходном Дону, обнаружена почти в 2 раза меньшая величина ЧАПО по сравнению с окунями 2007 г. рождения. В районе х. Рогожкино в 1,5 раза меньше величина ЧАПО у особей пиленгаса 2005 г. рождения по сравнению с рыбами этого вида 2003 г.

В р. Малый Койсуг также было отмечено это явление – показатели флуктуирующей асимметрии окуней 2006 г.

оцениваются вторым баллом, а 2007 г. – пятым баллом. В р. Кагальник трехлетние серебряные караси имели самый низкий уровень отклонений от стабильности развития по сравнению с карасями других возрастов. И окуни, и караси не совершают длительных миграций, следовательно, экологические условия в отдельные годы меняются, а с помощью показателей ЧАПО этих рыб можно зафиксировать эти изменения.

Также нами был проанализирован ещё один показатель гомеостаза развития рыб – ЧАПП, результаты приведены в таблице 3.

Сравнивая ЧАПП и ЧАПО, можно судить о незначительных различиях в их показателях, так, например, в р. Понура четырёхлетние особи карася по показателям ЧАПО соответствуют 2 баллам, а по показателям ЧАПП – 3 баллам, пяти и шести летние особи по показателям ЧАПО характеризуют водоём в 3 и 5 баллов, а по показателям ЧАПО особи – 2 и 4 баллами загрязнения. Сравнение показателей ЧАПО и ЧАПП в оросительном канале и р. Кубань показало, по обоим показателям водоём оценивается одинаковыми баллами.

Также мы рассмотрели такой показатель, как фенотипы. Фенотипы (от фен и лат. deviatio – отклонение), фенотипы, отклоняющиеся от среднего (или нормы) для популяции (или вида) вследствие особого сочетания генов (например, крайней гомозиготности) [12].

Мы рассматривали этот показатель у особей серебряного карася из исследованных нами водотоков, определяя отдельно количество особей с отклонениями от нормы (фенотипами), отмеченными с обеих сторон или только с одной стороны тела.

Таблица 3. Частота асимметричного проявления на признак у серебряных карасей

Биотоп	Возраст рыб				
	3+	4+	5+	6+	7+
Р. Понура	-	0,35±0,08	0,34±0,11	0,42±0,05	-
Балл	-	3	2	4	-
Оросительный канал	0,38±0,12	-	0,49±0,07	-	-
Балл	3	-	5	-	-
Р. Кубань	-	-	0,46±0,09	0,41±0,17	0,38±0,12
Балл	-	-	5	4	3

Примечание – «-» – рыбы соответствующего возраста не были пойманы

Таблица 4. Среднее число мелких фенотипов у карася серебряного из различных биотопов (Числитель-правая сторона, знаменатель-левая сторона тела)

Биотоп	Признак			Количество фенотипов $X \pm m$
	Число лучей в грудных плавниках	Число лучей в брюшных плавниках	Число прободённых чешуй в боковой линии	
Р. Понура	0,3/0,2	0,2 / 0,1	1 / 0,8	0,50 ± 0,29 / 0,66 ± 0,33
Оросительный канал	0,5 / 0,6	0,1 / 0	0,5 / 0,8	0,36 ± 0,15 / 0,86 ± 0,44
Р. Кубань	0,5 / 0,2	0 / 0	0,3 / 0,7	0,26 ± 0,18 / 0,30 ± 0,25

Для серебряного карася нормальным является следующее состояние – число лучей в грудных плавниках 15–16, в брюшных плавниках – 9, число чешуй, прободённых сейсмодатчиками органами, – 29–31 [13].

Из таблицы 4 видно, что суммарное количество мелких фенотипов у серебряного карася в р. Понура и в оросительном канале схожи, в р. Кубань эти показатели меньше с обеих сторон тела, но различия лежат в пределах статистической ошибки.

На рисунках 1–3 приведены сведения о распределении карасей с различным числом асимметричных признаков в исследованных водоемах.

Из рисунка 1 видно, что в р. Понура наибольшая доля особей имеет асимметричность по трём признакам, не было встречено нами карасей с асимметричностью по одному признаку. Нами уже проводились аналогичные исследования в реке Кубань (дальше от г. Краснодара) там больше половины учтённых нами особей имели асимметричность по трём признакам, также были отмечены особи с асимметрией по двум и четырем признакам, асимметричных по одному и пяти признакам нами встречено не было.

Как и в р. Кубань большинство особей было асимметричными по трём признакам (65 %), полностью асимметричных особей или полностью симметричных особей здесь нами встречено не было.

[11, с. 65–68] проанализировала характер варьирования флуктуирующей асимметрии по отдельным при-

знакам у рыб разных видов, пойманных в рукавах р. Дон. Автор, также отмечает, что во всех исследованных водотоках не было отловлено рыб, характеризующихся полной симметрией или полной асимметрией (по всем шести признакам).

У леща и белого толстолобика из обоих типов рукавов р. Дон, как и у серебряного карася, подавляющее большинство особей асимметрично по трем или четырем признакам (92,3–100 %). У других карповых рыб (густеры и шемаи) большинство рыб асимметрично по двум или трем признакам – 81,8 %.

У окунеобразных рыб не менее 45 % особей асимметричны по трем признакам. Особи с асимметрией одного, двух, четырех или пяти признаков встречаются значительно реже. Пойманные щуки отличались низким разнообразием асимметрии, подавляющее большинство особей (80–85,7 %) было асимметрично по двум признакам, единичные особи – по одному или трем признакам. Наибольшая вариабельность в распределении рыб по степени флуктуирующей асимметрии отдельных признаков характерна для пиленгаса из обеих точек облова.

В р. Кубань распределение между особями карася асимметричными по двум и трём признакам примерно одинаково, совсем небольшая часть приходится на особей асимметричных по четырём признакам. Карасей асимметричных по одному или пяти признакам нами встречено не было.

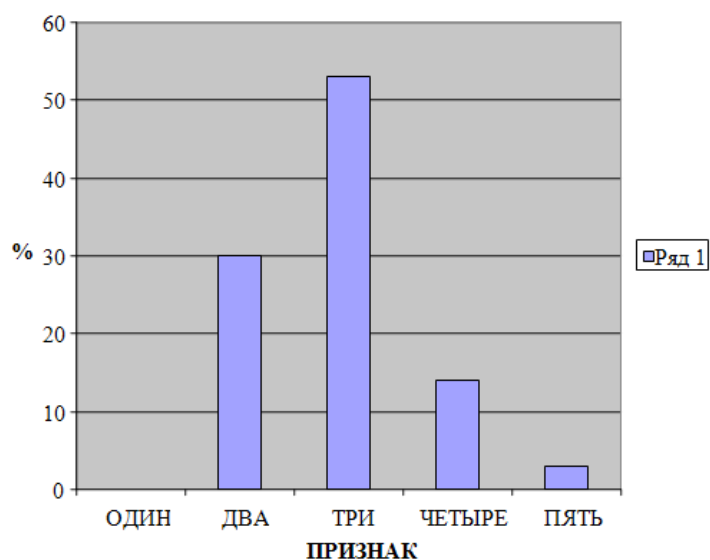


Рис. 1. Доли ассиметричных признаков (%) у особей карся серебряного в р. Понура

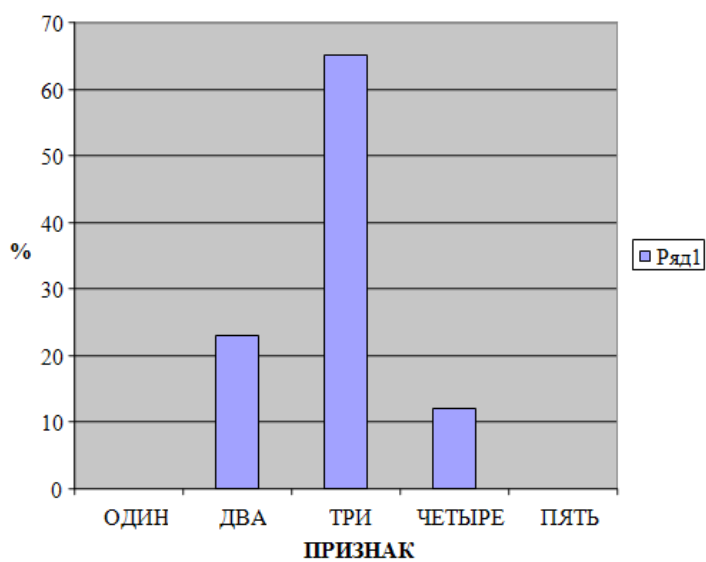


Рис. 2. Доли ассиметричных признаков (%) у особей карся серебряного в оросительном канале

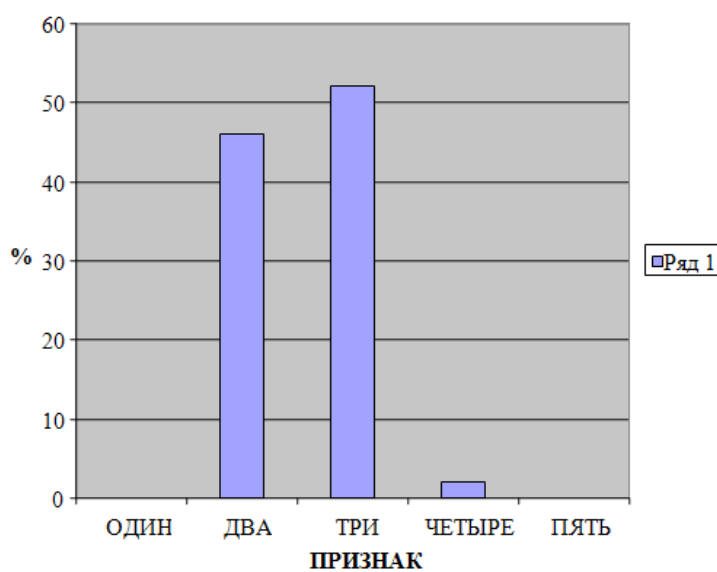


Рис. 3. Доли ассиметричных признаков (%) у особей карся серебряного в р. Кубань

В конце стоит отметить, что карповые рыбы, а именно карась серебряный является отличным биондикатором среды. Этот вид отвечает всем требованиям при выборе биондикаторов. Проанализировав показатели стабиль-

ности развития можно дать оценку состояния водоёму за несколько лет, при этом надо брать разновозрастных особей. К плюсам можно отнести то, что не нужно умерщвлять и изымать особь из популяции.

#### Литература:

1. Стрельцов В.Б., Захаров В.М. Региональная система биологического мониторинга на основе анализа стабильности развития // использование и охрана природных ресурсов в России. 2003. № 4–5. с. 34-41.
2. Булгаков Н.Г. Индикация состояния природных экосистем и нормирование факторов окружающей среды. Обзор существующих подходов // Успехи современной биологии. 2002. Т.122. № 2. с. 115–135.
3. Захаров В.М. Флуктуирующая асимметрия билатеральных структур животных в природных популяциях: автореф. дисс. канд. биол. наук. М., 1979. 19 с.
4. Захаров В.М. Асимметрия морфологических структур животных, как показатель незначительных изменений состояния среды // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Л.: Гидрометиздат, 1981. с. 115-125.
5. Захаров В.М. Асимметрия животных: популяционно-феногенетический подход. М.: Наука, 1987. 216 с.
6. Захаров В.М. Онтогенез и популяций (стабильность развития и популяционная изменчивость) // Экология, 2001. № 3. с. 164-168.
7. Захаров В.М. Здоровье среды: концепция. М., 2000. 42 с.
8. Кабыш Н.Ф. Современное эколого-токсикологическое состояние реки Терек и Дагестанского побережья Среднего Каспия). Автореф. дис.... канд. биол. наук. Махачкала, 2004. 27 с.
9. Методические рекомендации по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ (оценка стабильности развития живых организмов по уровню асимметрии морфологических структур). М., 2003. 28 с.
10. Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Наука, 1980. 291 с.
11. Костылева Л.А. Оценка экологического состояния устья реки дон по стабильности развития позвоночных гидробионтов // Диссертация. Краснодар, 2012. с. 61-68.
12. Дедю И.И. Экологический энциклопедический словарь // Главная редакция Молдавской советской энциклопедии. Кишинев, 1989.
13. Оценка здоровья среды в регионе при радиационном загрязнении: последствия Чернобыльской катастрофы (Брянская область) // Электронный ресурс. Режим доступа [www.healthofenvironment.org](http://www.healthofenvironment.org). (Дата обращения 08.02.2013.)

## ЭКОЛОГИЯ

### Ртуть в донных осадках дальневосточных морей России

Иванов Максим Владимирович, научный сотрудник  
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН (г. Владивосток)

#### Введение

Районы Охотского, Японского морей, были выбраны для изучения, поскольку они различаются характером поступления и накопления ртути.

Котловина Дерюгина Охотского моря известна многочисленными эндогенными источниками, которые могут поставлять ртуть в морскую воду и осадки. Амурский залив Японского моря отличается от районов исследований, тем что он находится в зоне влияния атмосферного разноса антропогенной ртути из прилегающих провинций Китая. Кроме того, здесь существуют локальные источники загрязнения: выбросы неочищенных сточных вод г. Владивостока, вынос терригенной взвеси водами рек, судходная деятельность, загрязнения побережья в местах массового отдыха.

#### Материалы и методы исследований

В работе использованы пробы донных осадков, отобранные в экспедициях на НИС «Профессор Хромов» в 2005 г., НИС «Малахит» в 2004–2010 г., а так же из коллекции ТОИ ДВО РАН, полученные в рейсах НИС «Академик Несмеянов» в 1993 г., «Академик Лаврентьев» в 1996, 2002, 2009 и 2011 г., ГС «Маршал Геловани» в 1999 г., Пробы отбирались дночерпателями, гравитационными и гидростатическими трубками. Использовался анализатор ртути Ра-915+ с пиролитическими приставками РП-91С, ПИРО-915. Нижний предел обнаружения – 0,5 нг/г. Сходимость результатов 2–3 %. Стандартными образцами на ртуть служили ГСО 7183–95, СПДС-1,2,3. Внешний контроль ежегодно выполнялся в лаборатории фирмы-производителя (ООО Люмэкс, г. Санкт-Петербург).

Гранулометрический анализ части проб (n=98) выполнялся с помощью сканирующего лазерного анализатора размерности частиц Analizette («Fritch», Германия). Типизация осадков основывалась на принципе трехкомпонентной классификации по соотношению осадкообразующих фракций псаммита Ps (1–01 мм), алеврита А (0,1–0,01 мм) и пелита P1 (<0,01 мм).

Типичный уровень содержания химического элемента, в данном случае Hg считается среднефоновым содержанием – Сф. Его еще называют фоновым содержанием т.е. Сф=Сме. При его оценке аномальные и ураганные содержания не принимались во внимание.

#### Результаты исследований

Котловина Дерюгина Охотского моря характеризуется выборкой 51 пробы поверхностных донных осадков, которые подразделяются на 3 группы: 1) пробы до глубин 250 м (n=12); 2) в интервале 250–1450 м (n=22) и 3) в интервале 1450–1750 м (n=17). Содержания Hg в целом для данного полигона варьируют от 6 до 421 нг/г. При среднем и медианном содержании, соответственно 48 и 29 нг/г. Фон равен 29 нг/г (рис. 1).

Низкие содержания зафиксированы для глубин до 250 метров и составляют около 12 нг/г. При увеличении глубины содержания ртути резко увеличиваются до 75 нг/г. В самой котловине Дерюгина (глубина 1450–1750 м) достигают 150 нг/г. Повышенные содержания для этого района составляют 421 нг/г. Максимальные содержания (702 нг/г) установлены в районе эндогенных источников («Баритовые горы»)[3].

При анализе распределения ртути по колонкам было выделено несколько типов распределения. В некоторых колонках донных осадках котловины Дерюгина содержания по вертикали находятся в районе фоновых. Такие колонки характерны для восточного склона шельфа о. Сахалин и банки Кашеварова. В остальных колонках котловины Дерюгина содержания по колонке уже намного выше, и содержания сильно варьируют (25–650 нг/г) по вертикали.

В верхней части материкового склона о. Сахалин большинство колонок, сложенных диатомовыми илами, имеет очень низкие и равномерные содержания по всему разрезу. При этом изменения в вещественном составе осадков, наличие газогидратов, карбонатной минерализации, прослоев пирокластики и слоев диагенетических изменений, не сказывается существенным образом на содержания

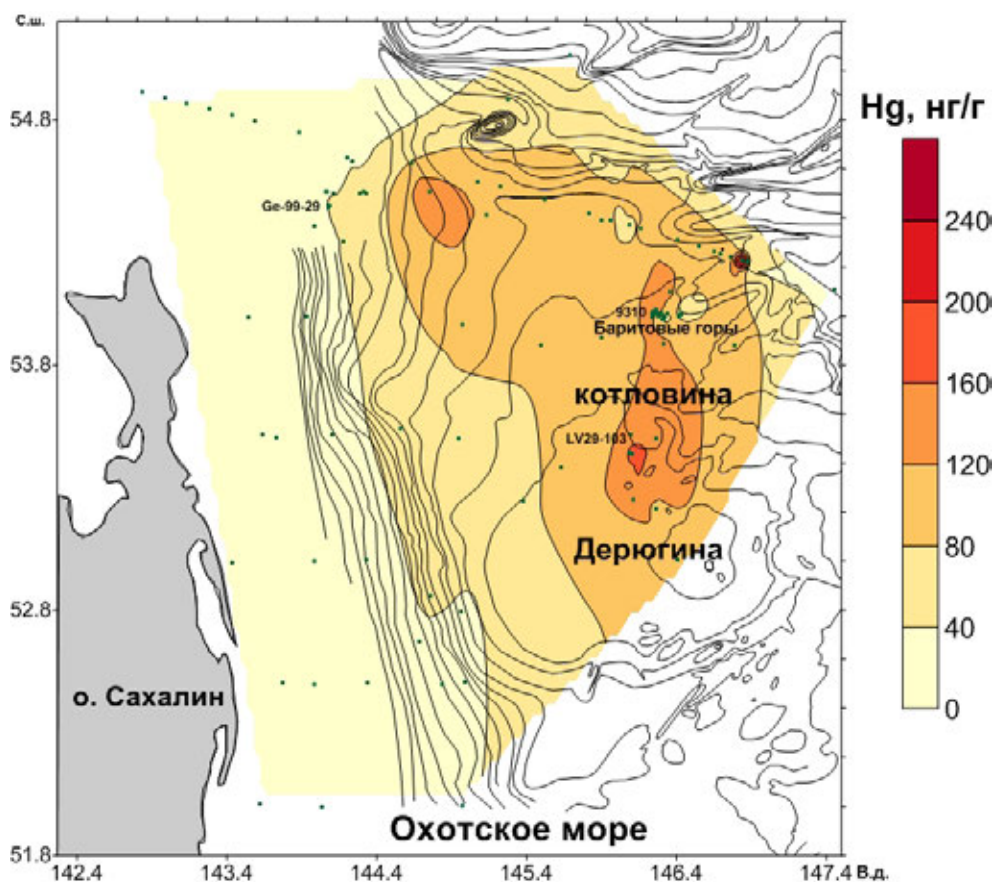


Рис. 1. Содержание ртути в поверхностных донных осадках котловины Дерюгина и прилегающей части Охотского моря. Точками показаны станции отбора. Изолиниями рельеф дна (м)

ртути. Ее средние содержания равны 15–25 нг/г, близки отмеченными в качестве фоновых для осадков Охотского моря. Исключение составляет колонка Ge99–29, в нижней части которой выявлены резко изменчивые и аномальные содержания. Максимальные концентрации ртути характерны для осадков, залегающих под слоем газогидратов, хотя ее очень высокие содержания отмечены также в некоторых горизонтах выше. В целом, вся колонка отличается более высокими содержаниями ртути, по сравнению с другими колонками, отобранными в этом районе.

В центральной части котловины почти повсеместно выявлено значительное увеличение содержаний в голоценовых отложениях и особенно в их верхнем горизонте, сложенном диатомовыми илами с возрастом до 6–8 тыс. лет. Среднее содержание ртути в этом горизонте изменяется весьма значительно. В нижележащих верхнеплейстоценовых отложениях содержания ртути значительно ниже и отличаются относительно малой изменчивостью при средних ее содержаниях 35–40 нг/г. В некоторых колонках в верхнеплейстоценовых отложениях отмечаются существенные вариации содержаний ртути, обусловленные, вероятно, различиями в вещественном составе осадков, например, включениями песчаных прослоев турбидитов.

Повышенные и аномальные содержания ртути в позднеплейстоценовых отложениях характерны только для колонок Ge99–36 и 9310 из района «Баритовых гор». В них голоценовые осадки отсутствуют и на поверхность дна выходят позднеплейстоценовые отложения. Они отличаются наличием аутигенной баритовой и карбонатной минерализациями, причем в колонке 9310 она проявлена более интенсивно

В наших исследованиях мы столкнулись с несколькими формами ртути, которые характеризуются максимумами выхода при температуре 250–290°C для физически сорбированной формы, 331–320°C для хемосорбированной, и 350–410°C для сульфидной. В основном в донных осадках котловины Дерюгина ртуть присутствует в сульфидной форме, исключение составляет колонка Ge99–29, где можно предполагать 3 формы нахождения ртути. В пробах с высоким содержанием ртути из котловины Дерюгина термограмма выхода ртути для различных горизонтов колонки донных осадков различна. Это связано с неоднородностью донных осадков. В колонке LV29–103 в интервале 280–330 см и 890–940 см анализировался пирит, при анализе его кривая термограммы ведет себя неустойчиво. В интервале 890–940 см максимум выхода приходится на 450°C, ртуть так же находится в сульфидной форме. Колонка 9310 характеризуется присутствием физически сорбированной



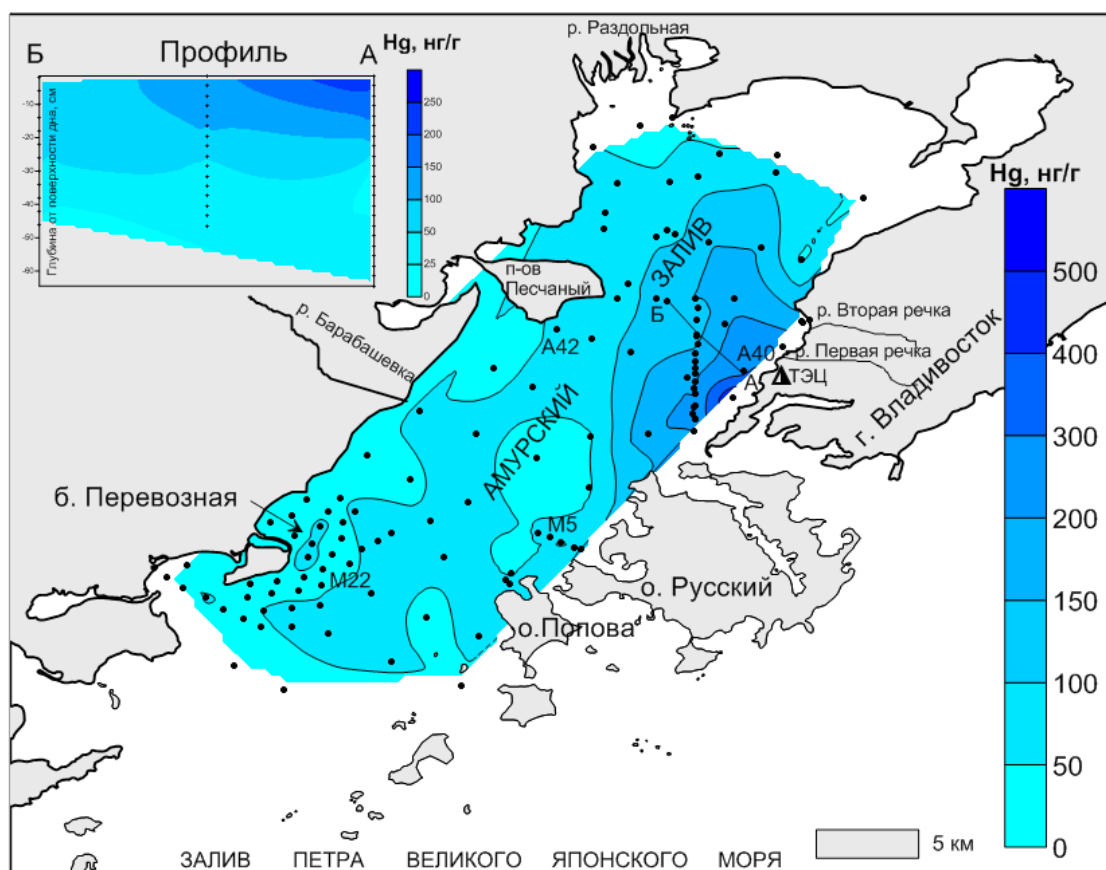


Рис. 2. Содержание ртути в поверхностных донных осадках Амурского залива Японского моря. На врезке показаны содержания ртути по глубине колонок по профилю А-Б

и хемосорбированной формы ртути, что видно из термограммы, где кривая свой максимум достигает не резко, как, например, в пробах Амурского залива.

Для оценки степени близости распределения и влияния отдельных элементов на общий химический состав изученных проб был выполнен корреляционный и R-факторный анализ массива данных (94 пробы). Диаграммы в пространстве первого и второго R-фактора иллюстрируют обособление отдельных элементов (Si, C<sub>орг</sub>, и 2 полиэлементные ассоциации. Основу ассоциации составляет марганец, имеющий положительные корреляционные связи не только с ртутью, но и с другими микроэлементами (Ba, Zn, Ni).

**Амурский залив Японского моря.** Он характеризуется выборкой 103 пробы поверхностных донных осадков, которые подразделены на 4 группы: 1) пробы до глубин 20 м (n=57); 2) в интервале 20–50 м (n=62); 3) пробы с глубин более 50 м (n=14) и 4) пробы прибрежной части в зоне прямого влиянию города Владивосток (n=17). Содержания Hg в целом для этого района варьируют от 6 до 145 нг/г (без аномальных содержаний). При среднем и медианном содержаниях 48 и 13 нг/г соответственно. За фоновые содержания приняты значения медианы для совокупности проб, которые находятся на глубинах более 50 м. Фон равен 13 нг/г (рис. 2).

В поверхностных донных осадках Амурского залива содержания варьируют от 10 до 550 нг/г. Максимальные ее содержания получены для осадков в районах выхода неочищенных сточных вод г. Владивостока (р. Вторая речка, р. Первая речка). Содержания Hg в этих местах превышают фоновые в 10–20 раз. Максимальные содержания данного металла нами установлены в радиусе 300–500 м от места сброса сточных вод р. Вторая речка. Сравнение содержаний ртути в донных осадках, опробованных в 1987 г., и проб, отобранных в 2004 г. показало, что содержания ртути в пробах 2004 г. в 1.5 раза ниже, чем в пробах 1987 г. Это связано с уменьшением интенсивности хозяйственной деятельности после 1988 г. В период 1988–2000 г.г. сброс сточных вод за счет перепрофилирования и сокращения общего числа предприятий-загрязнителей снизился в 6 раз.

Минимальные содержания ртути выявлены для осадков, которые расположены южнее острова Попова и бухты Перевозной. В этих районах нет крупных населенных пунктов и промышленности.

Содержание ртути зависит от гранулометрического состава осадков. Как и для других районов исследований, повышенные содержания ртути характерны для пелитовой фракции. Имеются данные о поставке ртути в Амурский залив водами р. Раздольной, но в ее распределении

в поверхностных осадках это выражено слабо. Предположительно здесь сказывается наличие твердого стока реки, в результате чего загрязнение осадков выявляется только при изучении их конкретных фракций [2].

В центральной части Амурского залива, выделяется район с низким содержанием ртути, здесь преобладают пески мелкозернистые. На этом фоне обычное для морских отложений обогащение ртутью тонкозернистых осадков по сравнению с песчаными и алевритовыми проявляются локально на участках со слабым антропогенным накоплением — например, на юге Амурского залива, где в осевой части залегают пелитовые осадки с содержанием ртути 50–100 нг/г, а вдоль западного берега — пески с содержанием 20–40 нг/г [2]. Не исключено, что донные осадки могут быть загрязнены за счет глобального загрязнения ртутью из Юго-Восточных промышленных районов Азии.

Анализ распределения ртути по колонкам донных осадков выявили весьма сильные вариации ее концентраций, как результат антропогенного поступления, и высокой скорости осадконакопления. Содержания Hg в колонках донных осадков колеблется от 10 до 550 нг/г. В колонках донных осадков в Амурском заливе выделилось два слоя. Верхний слой, отражающий «техногенный» период накопления осадков и нижний, сложенный незагрязненными (10–50 нг/г) осадками. В зависимости от скорости и длительности седиментации мощность верхнего (загрязненного) слоя может достигать до 30 см (станции возле г. Владивостока). При сопоставлении геохимии верхних и нижних слоев колонок, выявилось, что поверхностные осадки практически всей акватории Амурского залива в той или иной степени загрязнены ртутью. В колонках, отобранных в районе бухты Перевозной и района п-ова Песчаный, содержания уже намного меньше и составляют около 20–40 нг/г

Колонки, отобранные в районе Первой и Второй речки, показательны максимальными содержаниями ртути (около 300 нг/г). В них на глубину до 20 см содержания ртути составляют от 100 до 150 нг/г. Можно говорить о том, что донные осадки здесь испытали существенное антропогенное влияние за последние 100 лет. Также в этих районах поступает около 60 процентов неочищенных сточных вод г. Владивостока. Здесь содержания выше фона в 10–20 раз. На интервале 20–30 см содержания ртути в толще осадков составляет 50 нг/г. Это уже намного меньше, но все же они считаются загрязненными. Средние содержания по колонкам (А40, М5) подверженным антропогенному поступлению составляет около 75 нг/г.

Профиль А-Б в Амурском заливе (рис. 2) свидетельствует, что загрязненный слой осадков прослеживается поперек всей верхней части залива. Содержания ртути в нем уменьшаются при удалении от г. Владивостока вглубь залива. Мощность этого слоя составляет около 15–30 см по всему разрезу, что примерно соответствует средней скорости осадконакопления 3–6 мм/год, согласно рассчитанным скоростями по  $^{210}\text{Pb}$ .

При анализе поверхностных осадков станции М13 (Амурский залив) установлено, что ртуть находится в *сульфидной* форме, хотя и нельзя исключать и другие формы нахождения ртути. Нам не удалось выявить другие формы нахождения ртути в осадках Амурского залива.

Для оценки степени близости распределения и влияния отдельных элементов на общий химический состав изученных проб был выполнен R-факторный анализ массива данных (36 проб). Элементы в пространстве двух факторов, в зависимости от величины факторов разделились на две группы. Уровни концентраций металлов из первой группы (Mn-Mg-Al-Ni-Co-Fe), имеющие тесную связь с Fe и Al, формируются под влиянием речного стока и, как правило, тесно связаны с фракционным составом осадков. Элементы второй группы (Hg-Pb-Cu) в меньшей мере связано с фракционным составом осадков и отражает преимущественное поступление этих элементов с хозяйственно-бытовыми и промышленными стоками г. Владивостока. Таким образом, в первой группе объясняется терригенное происхождение элементов Al, Co, Fe, Mn, Ni, которые являются типичными компонентами в составе морских осадков. Вторая группа, включающий Hg, Zn, Cu и Pb отражает антропогенное воздействие на акваторию залива, так как в эту группу входит Pb, известный трассер техногенного загрязнения окружающей среды.

Скорей всего это связано с наличием крупной ТЭЦ г. Владивостока в районе Первой речки, которая использует уголь, мазут и другие нефтепродукты с 1960 годов. Она использует местный уголь, в котором содержание ртути составляет около 700 нг/г. После сжигания Hg попадает в атмосферу, далее в морскую воду и донные осадки Амурского залива. Во Владивостоке преобладают ветра северо-западного направления. Разнос ртути и других тяжелых металлов от ТЭЦ составляет около 5–7 км. Большую роль в поставке ртути в залив играют сточные воды г. Владивостока. В районах сброса (ст. Чайка, р. Вторая речка, р. Первая речка) содержания ртути в морской воде определялись различными авторами. Содержание Hg в морской воде в этих районах 21 нг/л [1]. В водотоках (ст. Чайка, Вторая речка) установлено содержание Hg более 20 нг/л. При среднем содержании для залива около 2 нг/л.

Тяжелые металлы, как и ртуть, являются, индикатором антропогенной нагрузки на донные осадки. Вариации содержаний тяжелых металлов в донных осадках по некоторым колонкам так же подобны изменениям содержаний ртути, хотя степень обогащения или загрязнения осадков, намного меньше, чем для ртути.

## Выводы

В окраинных морях северо-восточной Азии, рассмотренных в данной работе, присутствуют антропогенные и природные источники ртути, оказывающие влияние на содержания ртути в донных осадках.

Концентрации Hg в донных осадках котловины Дерюгина Охотского моря находятся в интервале 15–600 нг/г. Минимальные содержания характерны для восточного шельфа о. Сахалин. Максимальные характерны для района «Баритовых гор» и факела «Обжирова». Распределение ртути по колонкам донных осадков неравномерно для этих районов. В районе склона о. Сахалин содержания ртути не превышают фоновые (около 50 нг/г).

Максимальные содержания ртути в донных осадках Амурского залива определяются антропогенным характером поступления от г. Владивостока. Распределение содержания ртути в донных осадках неравномерно и изменяется в диапазоне 15 до 550 нг/г. Относительно низкие содержания получены для южной части Амурского залива. Установлен приповерхностный максимум в колонках донных осадков, прилегающих к г. Владивосток.

Hg в донных осадках исследуемых морей присутствует в сульфидной форме. Только в колонке донных осадков станции Ge99–29 (котловина Дерюгина) ртуть может находиться не только в сульфидной, но физически сорбированной и хемосорбированной форме.

#### Литература:

1. Аксентов К.И. Ртуть в абиотических компонентах экосистемы залива Петра Великого // Современное состояние и тенденции изменения природной среды залива Петра Великого Японского моря. М.: ГЕОС, 2008. С. 173–184.
2. Аксентов К.И., Астахов А.С. Антропогенное загрязнение ртутью донных осадков залива Петра Великого // Вестн. ДВО РАН. 2009. № 4. С. 115–121.
3. Астахов А.С., Валлман К., Иванов М.В. и др. Распределение ртути и скорость ее накопления в верхнечетвертичных отложениях котловины Дерюгина Охотского моря // Геохимия. 2007. Т. 45. № 1. С. 54–70.

## Современные проблемы производства и переработки свалочного газа

Кучеров Алексей Викторович, кандидат экономических наук, доцент;

Шибилева Ольга Викторовна, кандидат экономических наук, доцент

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева

Свалочный газ образуется при распаде органической материи на полигонах твердых бытовых отходов (ТБО). Этот газ содержит около 50 %  $\text{CH}_4$  и около 50 %  $\text{CO}_2$ , а также небольшое количество безметановых органических соединений. В обычных ситуациях свалочный газ просто улетучивается, однако в последнее время государственные структуры, предприятия и владельцы полигонов ТБО во всем мире стараются собирать его и использовать в качестве источника энергии. Утилизация свалочного газа способствует уменьшению неприятного запаха и других опасных факторов, связанных с его выбросами. Кроме того, она помогает воспрепятствовать попаданию метана в атмосферу, а значит, усугублению местного смога и изменению земного климата.

Ртуть в донных осадках коррелирует с другими химическими элементами. В Амурском заливе хорошие корреляционные связи ее с такими тяжелыми металлами как Co, Cu, Pb. В котловине Дерюгина Hg коррелирует с Mn, Zn, Ni, Cu, Ba.

Значительный вклад в загрязнение ртутью донных осадков Амурского залива вносят неочищенные сточные воды г. Владивостока.

Влияние вещественного состава донных осадков на содержания ртути выражается в приуроченности минимальных содержаний к песчаным осадкам. По мере увеличения содержаний в донных осадках глинистого материала концентрации ртути возрастают. Илы по сравнению с песчаными осадками содержат в 2–6 раза больше ртути.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Мировой океан», ДВО РАН грант (13-III-B-07-010) и РФФИ (грант 12-05-91167-ГФЕН\_a).

Автор благодарит Аксентова К.И. за предоставления дополнительных проб донных осадков для изучения. Автор выражает искреннюю благодарность и признательность А.С. Астахову за ценные советы, конструктивные замечания и пожелания при обсуждении рукописи.

Полигоны ТБО являются третьим по величине антропогенным источником метана на планете, выделяя около 11 % общемирового количества метановых выбросов, или без малого 799 млн. т  $\text{CO}_2\text{E}$  в 2010 г. В таблице 1 приведены данные по выбросу метана на полигонах ТБО для стран, занимающих первые десять мест по данному показателю [1].

Свалочный газ является надежным местным источником возобновляемой энергии, поскольку он, в отличие от многих других альтернативных источников энергии, образуется 24 часа в день и 7 дней в неделю, из бытовых и промышленных отходов, постоянно поступающих на полигоны ТБО. Использование свалочного газа для получения энергии позволяет существенно сократить объем

Таблица 1. Расчетный объем метана, выделившегося на полигонах ТБО за 2010 год

Страна	Объем выделенного метана, млн.т CO <sub>2</sub> E
США	129,7
Китай	47,1
Мексика	38,4
Россия	37,1
Турция	33,1
Индонезия	28,3
Канада	20,7
Великобритания	18,9
Бразилия	17,8
Индия	15,9

выбросов метана с полигонов ТБО и уменьшить потребность в энергии, получаемой из ископаемых видов топлива, сокращая тем самым выбросы CO<sub>2</sub>, диоксида серы, окисей азота и других загрязнителей, образующихся при его сжигании.

По энергетическому потенциалу 1 м<sup>3</sup> свалочного газа соответствует 0,5 м<sup>3</sup> природного газа. Газоэнергетический потенциал полигона, на котором размещен 1 млн. т ТБО с влажностью 40 %, можно рассматривать как техногенное месторождение с запасами 50–60 млн. м<sup>3</sup> природного газа [2]. Утилизация биогаза на полигоне, обслуживающем город с населением 100 тыс. человек, может обеспечить потребности в электричестве и тепле жилого поселка с населением 1 тыс. человек. Причем это техногенное газовое месторождение не создается специально: гигантский биохимический реактор, коим является полигон ТБО — это побочный продукт жизнедеятельности человека, своего рода отхожее место города. Существенное отличие этого месторождения от природных — отсутствие газонепроницаемой изоляции, вследствие чего без оперативной добычи газа одновременно с его генерацией образующийся свалочный газ будет просто выбрасываться в атмосферу, загрязняя ее.

На полигонах ТБО свалочный газ извлекают при помощи системы скважин и воздуходувных, факельных или вакуумных установок. Система направляет собранный газ в центральный пункт, в котором происходит его обработка или обогащение, в зависимости от дальнейшего предназначения. После этого газ можно сжигать в факельных установках, использовать для получения электричества, заменять им ископаемые виды топлива на производстве и в промышленности, либо, обогатив до уровня магистрального газа, использовать непосредственно или переработать на альтернативное топливо для транспортных средств.

Несмотря на наличие сырья и отлаженности технологий получения свалочного газа, его рыночного использования в настоящее время в России практически не происходит. При производстве свалочного газа можно выделить два основных аспекта такой деятельности, ко-

торые в конечном итоге определяют успешность мероприятия. Это аспекты экологической безопасности и энергетической эффективности производства свалочного газа.

Рассмотрим сначала аспекты экологической безопасности. Исследования показывают, что кроме основных компонентов (метан, диоксид углерода) газ с полигонов ТБО содержит так называемые микропримеси, к которым относятся: толуол, аммиак, ксилол, оксид углерода, оксид азота, формальдегид, сернистый ангидрид, этилбензол, сероводород, фенол, цианистый водород [2,3,4]. Обнаруживается и целый ряд других нормируемых компонентов выбросов в атмосферу 2-го класса токсичности, таких как галогенированные углеводороды: дихлорметан, трихлорметан, хлорэтан, трихлорэтан, а также трихлорэтилен и его гомологи. При этом суммарное содержание хлора в микропримесях составляет 25–40 мг/м<sup>3</sup>, что в 250–400 раз превышает предельно-допустимую концентрацию (ПДК). Эти данные не только подтверждают опасность свалочного газа с полигонов ТБО, но, и указывают на необходимость специальных дорогостоящих систем газоочистки при его сжигании в любых целях для любых применений.

То есть, коммерческое использование в качестве энергетического топлива газа с полигонов ТБО в определенной мере ограничивается высокой стоимостью природоохранных устройств на энергогенерирующих установках. В долевом отношении от стоимости основного оборудования, стоимость этих устройств не может быть ниже долевой стоимости газоочистного оборудования мусоросжигательных заводов, где она достигает 50 % от стоимости завода и где практически тот же набор загрязняющих веществ присутствует в потоке отходящих газов. В данном случае этот процент должен быть много выше, ибо масштаб производства много меньше, а физико-химические принципы газоочистки те же.

Рассмотрим теперь второй аспект — энергетическая эффективность. При использовании свалочного газа для производства электроэнергии существуют два варианта генерации: с помощью двигателей внутреннего сгорания и газовых турбин. При использовании газа в двигателе

внутреннего сгорания, обычно необходима компрессия газа до 33кРа. Для использования в газовой турбине необходима более высокая компрессия, порядка 100кРа [4]. При использовании такого сжатия свалочный газ разогревается до температуры превышающей точку его самовоспламенения 82,5<sup>0</sup>С, поэтому его надо охлаждать и для этого также необходима энергия.

Таким образом, без внешнего источника энергии система утилизации тепла отходящих газов с производством электроэнергии при сжигании свалочного газа с полигонов ТБО (учитывающая все без исключения энергозатраты на добычу, подготовку, транспортировку и производство энергии) не является автономной и сама себя окупает с трудом.

Тем не менее, в мировой практике существуют десятки примеров реализации проектов по выработке и переработке свалочного газа. Так, по данным Европейской бига-зовой ассоциации, в 2011 году в ЕС работали 12,4 тысячи установок по добыче свалочного газа. Лидером по этому показателю является Германия, в которой работают 8,4 тысячи таких установок. В 2011 году в Европе было добыто более десяти миллионов тонн нефтяного эквивалента (1,1 миллиарда кубометров) свалочного газа [5].

В качестве примера можно отметить Мариупольский полигон ТБО в Украине. Собранный свалочный газ направляется на когенератор, на котором предполагалось вырабатывать электроэнергию для распределенной сети. Часть произведенной электроэнергии должна использоваться на нужды системы сбора и распределения свалочного газа. Предварительно подсчитанная мощность двигателей внутреннего сжигания, которые могут быть установлены для утилизации газа, составляет 1,0 МВт/час или 7,6 ГВт·ч/год. В феврале 2010 г. была введена в эксплуатацию систему по сбору и утилизации метана на Приморском полигоне ТБО Мариуполя. Городской муниципалитет предоставил компании-разработчику право на дегазацию свалки в обмен на получение 10 % прибыли от продажи электроэнергии. При этом одной из статей получения выручки по данному проекту является реализация так называемых ЕСВ — единиц сокращения выбросов в рамках Киотского протокола, которая равна одной метрической тонне эквивалента диоксида углерода. Киотский протокол предусматривает такой механизм, как проекты совместного осуществления (ПСО), суть которых заключается в возможности продажи другим странам ЕСВ, полученных в результате реализации проектов, направленных на сокращение антропогенных выбросов.

Как видно, основными составляющими успешной реализации данного проекта являются наличие заинтересованности, в том числе финансовой, со стороны государства, а также возможность получения дополнительной коммерческой выгоды от продажи полученных ЕСВ. Стоит отметить, что компания, реализующая проект с Мариупольским полигоном ТБО имеет право оптовой реализации получаемой электроэнергии из свалочного газа на рынке электрической энергии Украины.

Если проанализировать потенциал реализации подобного проекта в России, то сразу следует отметить то, что РФ вышла из Киотского протокола с 2013 года, поэтому торговля ЕСВ становится невозможной. Кроме того, возможности выхода новых электрогенерирующих компаний на монополизируемый рынок электроэнергии России крайне ограничены. Напротив, в той же Украине действует специальный «зеленый» тариф, по которому закупается электрическая энергия, произведенная на объектах электроэнергетики, использующих альтернативные источники энергии. Его величина устанавливается на уровне розничного тарифа для потребителей, умноженного на повышающий коэффициент (для электроэнергии, полученной из ТБО, в настоящее время равен 2,3).

Очевидно, что для развития промышленного производства свалочного газа не хватает качественного государственного регулирования ключевых вопросов, связанных с утилизацией ТБО. Зарубежный опыт показывает, что реализация проектов по получению альтернативной энергии редко приносит большую прибыль. Поэтому катализатором такой деятельности обычно выступают государственные органы власти всех уровней.

Например, хорошо известно, что отдельный сбор отходов ТБО значительно повышает эффективность мусороперерабатывающих заводов, в том числе и по выработке свалочного газа. Сложность селективного сбора отходов обусловлена не столько техническими сложностями, сколько культурными и социальными, связанными с недостатком информации и полномасштабной целенаправленной пропагандой о пользе селективного сбора мусора. Отсутствие государственной политики, пропаганды на государственном уровне, экономического стимулирования в данном вопросе налицо.

С 2006 года полномочия по утилизации отходов переданы в муниципалитеты. Однако в месте с этим местная власть получила накопленные за многие годы проблемы в области обращения с отходами производства и потребления. Отсутствие современных полигонов, мусороперерабатывающих заводов, предприятий по рециклингу отходов, административных рычагов для создания условий по использованию продуктов переработки отходов, в первую очередь, с помощью государственных заказов, фактически сводит на нет усилия местных органов власти.

Таким образом, проблема производства и переработки свалочного газа должна решаться в разрезе ликвидации последствий загрязнения окружающей среды, через целевые программы и за счет средств бюджетов разных уровней. Коммерческое использование такого газа при создании новых объектов размещения отходов возможно при принятии на уровне Российской Федерации правовых актов, регламентирующих строительную деятельность в области обращения с отходами и являющихся нормативной основой для повышения качества возведения полигонов ТБО, оздоровления сложившейся экологической ситуации.

Литература:

1. Управление по охране окружающей среды США (U. S. EPA), 2011 г. ПРОЕКТ: Глобальные антропогенные выбросы парниковых газов (кроме CO<sub>2</sub>): 1990–2030 (отчет EPA 430-D-11–003) // [www.epa.gov/climatechange/economics/international.html](http://www.epa.gov/climatechange/economics/international.html).
2. Пурим В.Р. Бытовые отходы. Теория горения. Обезвреживание. Топливо для энергетики. / В.Р. Пурим. — М.: Энергоатомиздат, — 2002. — 112 с.
3. Концепция управления твердыми бытовыми отходами / Л.Я. Шубов, А.К. Голубин, В.В. Девяткин, С.В. Погадаев. — М.: Государственное учреждение «Научно-исследовательский центр по проблемам управления ресурсосбережением и отходами», 2000. — 72 с.
4. Сапожникова Г.П. Конец мусорной цивилизации: пути решения проблемы отходов. / Г.П. Сапожникова. — М.: «Оксфам» в РФ, 2010. — 108 с.
5. В отличие от ЕС, на московских свалках газ не добывают // АН-онлайн, 12 февраля 2013.

## Применение метода вермикюльтивирования для биодegradации твердых отходов

Ручин Александр Борисович, доктор биологических наук, доцент  
Мордовский государственный природный заповедник имени П.Г. Смидовича

*Обсуждаются вопросы, связанные с утилизацией твердых органических отходов с применением объектов вермикюльтуры — червей *Eisenia foetida*. Описываются субстраты, технологии вермикюльтивирования. Указаны направления использования биогазуса (продукта вермикюльтивирования) в сельском хозяйстве, биомассы червей — в животноводстве, ветеринарии и других областях.*

**Ключевые слова:** вермикюльтура, черви, *Eisenia foetida*, твердые отходы, экологические проблемы, загрязнение.

Определение «отходы» постепенно становится все более условным, поскольку то, что было вчера «отходами», сегодня, может служить сырьем, строительным материалом, топливом, т.е. повторно использоваться человеком. Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» определяет отходы как остатки сырья, материалов, полуфабрикатов, иных изделий или продуктов, которые образовались в процессе производства или потребления, а также товары (продукция), утратившие свои потребительские свойства. Помимо смешения понятий это определение не охватывает некоторые виды отходов, например отходы жизнедеятельности организма. Поэтому правильнее определить отходы как нежелательную часть результата некоторого процесса деятельности человека в глобальной экосистеме [1]. Численные характеристики отходов могут характеризовать коэффициент полезного действия системы. На 1 кг готового продукта в обществе приходится 25 кг отходов, и если учесть, что на земном шаре добывается около 300 млрд. т сырья, то отходов образуется 288 млрд. т. Твердые промышленные и бытовые отходы (в широком понимании твердые отходы — ТО) засоряют и захламляют окружающий нас природный ландшафт. Кроме того они могут являться источником поступления вредных химических, биологических и биохимических препаратов в окружающую природную среду. Это создает определенную угрозу здоровью и жизни населения.

Известно более 20 основных методов обезвреживания ТО, по каждому из которых имеется от 5 до 10 технологических схем, способов переработки и типов сооружений. Классификация методов обезвреживания ТО по технологическому принципу позволяет выделить биологические, термические, химические, механические и смешанные, комбинированные способы переработки ТО. В России 97% всего объема ТО складывается на полигонах, 2% сжигается и 1% компостируется. В США 85% ТО складывается, 15% сжигается, в Японии 45% ТО складывается, 45% сжигается, 10% компостируется.

Выбор метода обезвреживания ТО в конкретном городе зависит от местных условий и осуществляется на базе технико-экономического сравнения вариантов с обязательным учетом требований санитарно-гигиенических норм.

Среди технологий переработки отходов практическое значение имеют:

- захоронение на специально оборудованных полигонах;
- сортировка отходов с выделением вторичного сырья и компостированием органической фракции;
- сжигание;
- химическая нейтрализация.

Приоритетным методом обезвреживания ТО в России в ближайшие 10 лет останется захоронение на полигонах. Вместе с тем интенсивно будут внедряться методы сепарации

рации и компостирования ТО. О вермикомпостировании отходов как одном из способов утилизации твердых бытовых и промышленных отходов пойдет речь. Вермикомпостирование — это биологический способ утилизации органических отходов (в том числе и промышленного происхождения) дождевыми червями. Для этих целей обычно используют червя *Eisenia foetida* или промышленные линии этого вида. Он характеризуется высокой скоростью роста, плодовитостью (в определенных условиях потомство составляет 1500 особей в год), высокой продолжительностью жизни (до 16 лет). Биомасса одной половозрелой особи колеблется от 650 мг до 1 г. В условиях вермиккультуры 1 червь откладывает до 70 коконов в год, из каждого выводятся от 2 до 20 потомков. Через 3 месяца молодь этого вида становится половозрелой [2]. Кроме него, для вермикомпостирования возможно использование и других европейских видов — дождевого червя *Lumbricus terrestris*, малого красного червя *Lumbricus rubellus*, *Dendrobaena veneta*. Однако они имеют существенно меньшую скорость роста и размножения и используются в вермиккультуре довольно редко [3].

Технология вермикомпостирования основана на пищевой активности дождевых червей. Заглатывая и смешивая в процессе питания органические остатки с минеральными частицами почвы, переваривая их и обогащая собственной микрофлорой, ферментами, биологически активными веществами, препятствуя развитию патогенной микрофлоры, дождевые черви производят копролиты с высоким содержанием гумуса, макро- и микроэлементов. Компостную смесь получают из двух компонентов: конвертируемой части и наполнителя-структурообразователя. В качестве конвертируемой части используют органические отходы различного происхождения (к примеру, нами использовались отходы животноводства и птицеводства, сахарного производства), в качестве наполнителя-структурообразователя — песок, почву, солому, известь, мелкий гравий или синтетические гранулы. По нашему опыту можно сказать, что для достижения лучшей структуры и водопрочности структурных агрегатов вермикомпостов наиболее целесообразно использовать почву (серую лесную), нежели песок или гравий. Сырьем для производства вермикомпостов могут служить практически любые органические отходы, поддающиеся разложению (при условии создания благоприятных условий для жизнедеятельности червей). Им могут быть навозы, бытовой мусор, осадок сточных вод, отходы перерабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности, растительные остатки, кухонные отбросы и т.д. Черви хорошо развиваются на отходах пивоварения, свекловичном жоме, отработанном грибном компосте, промышленных отходах хлопчатника и др. Для производства вермикомпостов также можно использовать отходы, создающие опасность загрязнения окружающей среды, устранение которых сопряжено с определенными технологическими трудностями. Такими отходами являются шлам-лигнин и другие отходы

целлюлозно-бумажной промышленности, птичий помет птицефабрик, опилки, полученные от деревьев лиственных пород и т.д. [4–12]. Рациональным способом их использования может стать переработка, способствующая, в частности, снижению содержания в субстратах тяжелых металлов за счет аккумуляции последних в биомассе дождевых червей, а также переводу в малоподвижную форму [13].

Важным условием успешного вермикомпостирования является необходимость предварительного тестирования органических отходов на токсичность для дождевых червей. Тест на токсичность включает смешивание и увлажнение небольшого количества органических отходов с наполнителем, и введение в подготовленный субстрат дождевых червей. Показателями токсичности субстрата и необходимости его дальнейшей переработки являются: низкая двигательная активность дождевых червей и их выползание на поверхность субстрата [14].

Первый этап вермикомпостирования заключается в получении органоминеральной компостной смеси. Органические отходы и наполнители смешиваются и увлажняются до 70–80 %. Для уменьшения времени биоконверсии органических отходов обязательным условием является их предварительное измельчение. Обычно эта стадия предварительного компостирования (ферментации) субстрата приводит к активному размножению микроорганизмов и его температура поднимается до 40–60°C. Продолжительность такой стадии, при условии правильного увлажнения и перемешивания субстрата, составляет 20–30 суток. На втором этапе полученные компостные смеси заселяют культурой дождевых червей. Субстрат при этом должен иметь влажность 80–85 %, которую контролируют. Для предупреждения покидания дождевыми червями конвертируемых субстратов в период массового размножения, а также на последних этапах вермикомпостирования необходимым условием является добавка небольших порций органических отходов. Дополнительные порции органических отходов можно вносить двумя способами — локально или послойно. Для защиты от личинок яйцекладущих насекомых (плодовые мушки дрозифилы) рекомендуется использование механической защиты в виде тканевых укрытий.

Технология вермикомпостирования является практически безотходной. Она основана на способности червей поглощать в процессе своей жизнедеятельности органические остатки и почву, которые в организме червей измельчаются, химически трансформируются, обогащаются питательными элементами, ферментами и микроорганизмами. В результате всех этих процессов получается высокоэффективное органическое удобрение — биогумус. Биогумус (=вермикомпост) — экологически чистое, биологически активное органическое удобрение. Содержание гумуса в зрелом вермикомпосте достигает 10–20%. Гуминовые кислоты, образующиеся в кишечнике дождевых червей, входят затем в комплексные соединения с мине-

ральными компонентами почвы и долго сохраняются в виде водостойких, гидрофильных агрегатов. В вермикомпостах аккумулировано большое количество макро- и микроэлементов в доступной для растений форме. Их содержание зависит от состава исходного органического материала. В среднем, содержание азота колеблется от 1 до 2,4 %, фосфора — от 0,4 до 1 %, калия — 0,9–2,3 %, кальция — 7,1–14,6 %, магния — 0,6–1,6 %, натрия — 0,3–1 %, серы — 0,3–1,4 %. Микроэлементы в вермикомпостах содержатся также в концентрированном виде: марганец — 0,34–0,67 %, медь — 0,27–0,49 %, цинк — 0,07–0,16 %, бор — 0,01–0,03 %. По сравнению с традиционными компостами аналогичного состава, содержание макро- и микроэлементов в вермикомпостах значительно выше. Однако, вследствие высокой потребности дождевых червей в азоте и включению его в биомассу беспозвоночных, содержание азота в вермикомпостах ниже, чем в традиционных микробиологических компостах [7, 8, 10, 15].

Важнейшее следствие прохождения субстратов при вермикомпостировании через кишечник дождевых червей — оптимизация кислотности. При традиционном компостировании и в естественных условиях при разложении органических отходов в почву высвобождаются органические кислоты, pH становится кислой. После переработки органических отходов методом вермикомпостирования кислотность конечного продукта близка к нейтральной. Одной из причин оптимизации кислотности считается способность червей поглощать из почвы кальций [7, 8, 10].

Применение биогумуса оказалось высокоэффективным в овощеводстве, цветоводстве, при выращивании лесного посадочного материала. Использование вермикомпостов ускоряет процесс прорастания семян, снижает стресс от пересадки растений, облегчает получение ранней продукции. Применение вермикомпостов стимулирует рост растений в вегетационных условиях, положительно воздействует на их развитие. Так, происходит увеличение скорости роста ячменя, усиливается энергия прорастания семян зерновых, зеленых культур, корнеплодов. Применение вермикомпостов повышает урожайность пшеницы, сахарной свеклы, редиса, кукурузы, картофеля, овощей, фруктов [11, 14, 16, 17].

Перспективным является использование вермикомпостов для культивирования растений в закрытом грунте [17], где их используют, во-первых, в качестве почвоулучшителя, во-вторых, как компонент тепличных почвогрунтов. Использование вермикомпоста в качестве почвоулучшителя позволяет продлить срок эксплуатации тепличных почвогрунтов до 4 лет. Обладая хорошей структурой и водопрочностью структурных агрегатов, вермикомпосты способны значительно уменьшать степень и темпы уплотнения тепличных почвогрунтов, оказывать рыхляющее воздействие, превосходящее воздей-

ствие опилок или навоза животных. При добавлении к тепличному грунту вермикомпостов наблюдается тенденция увеличения количества наиболее ценных в агрономическом отношении фракций. При использовании вермикомпостов как компонентов тепличных грунтов в условиях экологически чистой технологии возделывания разработаны пропорции их внесения, поскольку при очень высоких нормах внесения биогумусов может наблюдаться угнетение растений, особенно на ранних этапах развития [14, 17].

Таким образом, преимуществами вермикомпостирования, по сравнению с другими видами биоконверсии органических отходов, являются: ускоренная дезодорация; отсутствие необходимости принудительной аэрации и перемешивания; ускорение разложения и минерализации органического материала в 2–5 раз; снижение кислотности среды; увеличение коэффициента гумификации в 1,5–2,5 раза; обеззараживание компоста (снижение содержания патогенных бактерий и семян сорняков); увеличение гомогенности конечного продукта. Возможности и перспективы этой современной биотехнологии могут сыграть большую роль в трех важнейших областях деятельности человека на Земле: экологической, сельскохозяйственной и здравоохранительной. Во-первых, решаются некоторые экологические проблемы — утилизация органических отходов различных производств при одновременном освобождении территорий от завалов. Во-вторых, производство из вермикомпоста экологически чистых органических удобрений и гуминовых препаратов и их применение в сельском хозяйстве помогут решить проблемы в биотехнологии, растениеводстве, животноводстве, пушном звероводстве и рыбоводстве. Эти препараты могут найти самое широкое применение не только как стимуляторы роста, но и как адаптогены, средства защиты от заболеваний, иммунопротекторы в ветеринарии, биологически активные добавки к кормовым смесям и субстратам, средства для снятия почвоутомления. И, наконец, препараты БАВ из тканей дождевых червей могут применяться в медицине и косметике. В некоторых странах (США, Япония, Южная Корея, Израиль, Венгрия и Китай) дождевые черви используются при производстве препаратов для фармацевтики и косметики. В настоящее время биомасса червей уже используется в качестве источника белка для балансирования кормовых рационов домашней птицы, свиней, прудовой рыбы. Следует отметить, что пищеварительная система некоторых животных эволюционно приспособлена к употреблению дождевых червей в пищу. Норма потребления полноценного белка должна составлять 10 % от общего количества белка, и удовлетворяется полностью при добавлении в корм 1 г червей на 1 кг живой массы в сутки с учетом что в биомассе червей содержится около 10 % полноценного белка. Черви могут скармливаться животным в сухом и вареном виде [5].



Литература:

1. Пупырев Е.И. Системы жизнеобеспечения городов. М.: Наука, 2006. 247 с.
2. Игонин А.М. Дождевые черви. Ковров, 2002. 189 с.
3. Тиунов А.В. Компостные черви, вермикомпостирование и вермикомпост: направление научных исследований в последнее десятилетие // Мат. II-й межд. конф. «Дождевые черви и плодородие почв». Владимир: Грин-ПИКЪ, 2004. с. 9–10.
4. Ручин А.Б., Ревин В.В., Иванов А.Ю., Рыскина Н.Н. Использование навозных червей для утилизации свекловичного жома // Дождевые черви и плодородие почв: Мат. Межд. конф. Владимир, 2004. С. 108–109.
5. Унжаков А.Р., Ручин А.Б. Вермитехнология в звероводстве: кормовая добавка, биогумус и утилизация отходов // Современные проблемы и методы экологической физиологии и патологии млекопитающих, введенных в зоокультуру. Петрозаводск, 2009. С. 282–285.
6. Ручин А.Б., Ревин В.В. Вермикультивирование как путь решения некоторых экологических проблем // Наука и инновации в Республике Мордовия. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2006. С. 724–726.
7. Ручин А.Б., Ревин В.В., Иванов А.Ю. Способ получения биогумуса. Пат. № 2255077 от 27.06.2005.
8. Ручин А.Б., Ревин В.В. Способ получения биогумуса. Пат. № 2339601 от 27.11.2008.
9. Чекановская О.В. Дождевые черви и почвообразование. М: АН СССР, 1985. 203 с.
10. Морев Ю.Б. И корм, и удобрение // Сельское хозяйство Киргизии. 1988. № 1. С. 36–37.
11. Битюцкий Н.П. Влияние червей на трансформацию органических субстратов и почвенное питание растений // Почвоведение. 1998. № 3. С. 309–315.
12. Жариков Г.А., Фартуков С.В., Туманский И.М., Ищенко Н.В. Утилизация отходов предприятий микробиологической промышленности методом вермикомпостирования // Биотехнология. 1993. № 1. С. 21–23.
13. Попкович Л.В., Просяников Е.В., Бофкун Г.Ф. Влияние различных способов подготовки субстрата для вермиккультуры и его переработки компостными червями на экологическое качество копролита // Мат. II-й межд. конф. «Дождевые черви и плодородие почв». Владимир: Грин-ПИКЪ, 2004. С. 84–85.
14. Жигжитова И.А., Корсунова Т.М. Методические рекомендации по получению и применению вермикомпостов (биогумуса) для повышения урожая и качества сельскохозяйственных культур. Улан-Удэ, 1999. 18 с.
15. Гоготов И.Н. Характеристика биогумусов и почвогрунтов, производимых некоторыми фирмами России // Мат. I-й межд. конф. «Дождевые черви и плодородие почв». Владимир: Грин-ПИКЪ, 2002. С. 96–99.
16. Ручин А.Б., Колмыкова Т.С., Рыскина Н.Н. Свойства биогумуса, применяемого для повышения плодородия почв // Аграрная наука в решении проблем АМК и экологии региона: Мат. конф. Великий Новгород, 2004. С. 97–98.
17. Ручин А.Б., Ревин В.В., Рыскина Н.Н., Колмыкова Т.С. Влияние биогумуса на продуктивность редиса в условиях закрытого грунта // Современные проблемы естествознания – 2004. Агробиотехнологии. Владимир, 2004. С. 124–126.

## ГЕОГРАФИЯ

### Климатические особенности бассейна реки Самур на Восточном Кавказе

Атаев Загир Вагитович, кандидат географических наук, профессор  
Дагестанский государственный педагогический университет (г. Махачкала)

Магомедова Азиза Загировна, преподаватель  
Дагестанский государственный университет (г. Махачкала)

Климат Самурской бассейновой системы заметно меняется в зависимости от ее высотного положения. Горная зона характеризуется умеренно холодным климатом, предгорная — умеренно теплым с равномерным распределением осадков в течение всего года, а равнинная — засушливым климатом, присущим полупустыням и сухим степям.

В течение всего года над территорией преобладает континентальный воздух умеренных широт. Вторжение воздушных масс с запада во внутригорные районы происходит по глубоким речным долинам, а поступающий с севера более холодный воздух только частично достигает бассейна Самура, переваливая через хребты. Незначительное смягчающее влияние на климат прибрежной части оказывает Каспийское море [2; 7; 9].

Климат высокогорной области является холодным и влажным, отличается суровой длительной зимой и коротким прохладным летом. Среднегодовая температура воздуха преимущественно от 1 до 5°C, а в зоне высот более 3500 м она имеет отрицательные значения. Температура воздуха самого теплого месяца — августа 13–17°C, максимальная достигает 25–30°C. Самый холодный месяц — февраль со среднемесячной температурой 18–11°C ниже нуля. В температурном режиме высокогорья основная роль принадлежит высоте местности. С поднятием в горы становится холоднее и влажнее, т.к. воздушные массы, поднимаясь вверх, охлаждаются. Наблюдается большая амплитуда колебаний суточных температур, т.к. происходит быстрое нагревание поверхности днем и охлаждение ночью. Большое влияние на температуру воздуха оказывает и экспозиция склонов. Северные и западные склоны более холодные и влажные, южные и восточные — более теплые и сухие.

По мере поднятия в горы температура воздуха понижается, в альпийском поясе холодно даже в летние месяцы,

с выпадением крупы, иногда и снега. В глубоких ложбинах снег остается пятнами на лето [3; 4].

Атмосферные осадки увеличиваются с высотой местности. В зимнее время количество осадков незначительно, их больше летом. На их распределение сильно влияет крутизна склонов, на крутых склонах влага стекает не задерживаясь. Испаряемость на южных склонах больше, чем на северных.

Снежный покров в высокогорной области сравнительно невысок и на высоте 2200 м не превышает 50–70 см на защищенном участке, а на открытом — 30–50 см, причем этих своих величин снежный покров достигает в конце февраля — начале марта. Распределение снежного покрова имеет пестрый характер. Вследствие большой крутизны склонов повсеместно отмечается чередование оголенных участков, полностью лишенных снега, с участками мощного снегозалегания.

Район характеризуется большим разнообразием действующих ветров. Решающее значение в этом играют орографические условия. Горные вершины отмечаются ветрами большей силы и скорости.

Внутригорная область, вследствие значительной неоднородности рельефа отмечается большим разнообразием климатических условий, в целом характеризующихся сухостью и континентальностью [1; 5; 6]. Наиболее возвышенная часть области характеризуется холодным и влажным климатом, остальная часть относительно теплым и сухим. Среднегодовая температура воздуха здесь 6–7°C, самый теплый месяц — август, с температурой 16–18°C, самый холодный — январь (5–7°C ниже нуля). Годовая сумма осадков в пределах большей части области не превышает 500 мм. Максимум осадков приходится на май-июнь. Снежный покров незначительный и не превышает 30–50 см на защищенных участках. На от-

крытых участках толщина снежного покрова значительно меньше.

Климатические условия района находятся под влиянием сухих жарких ветров, проникающих по долине Самура с побережья Каспийского моря. В температурном режиме основная роль принадлежит высоте местности, так как по мере поднятия в горы происходит закономерное уменьшение температуры и запаздывание максимумов температур.

Основным фактором формирования климата является солнечная радиация. Данный район имеет самое большое количество часов солнечного сияния, не только для бассейна Самура, но и для Дагестана. Так, самое большое количество часов солнечного сияния приходится на станцию Ахты (высота 1016 м) — 2472 часа, из них 73 % приходится на теплый период [8; 11]. Абсолютный максимум июля для станций Ахты и Лучек составляет 40°C, а абсолютный минимум — -25°C. Район имеет среднюю температуру за холодный период выше 0°C. Средняя годовая температура воздуха плюсовая, период со среднемесячной температурой выше +10°C составляет 6 месяцев. Летние температуры с незначительным понижением продолжают и осенние месяцы (сентябрь, октябрь). Зима здесь умеренно холодная, малоснежная с отрицательными среднемесячными температурами в январе и феврале для Ахтов, а для станции Лучек — и в декабре. Начало снежного периода — середина ноября, конец — начало апреля. Резких температурных колебаний и сильных морозов не наблюдается.

Длительный вегетационный период с благоприятной теплой осенью и со сравнительно достаточным количеством осадков в сентябре способствует вызреванию поздних сортов сельскохозяйственных культур. Атмосферные осадки обусловлены как привносом воздушных масс извне, так и местной циркуляцией воздуха. Общей особенностью распределения годовых сумм осадков является нарастание их в зависимости от повышения высоты местности и с востока на запад, а также преобладание летних осадков над зимними. Как видно из таблицы, максимум осадков бывает в мае-июне, затем — снижение количества осадков в августе. Второй максимум характерен для бассейна Самура в сентябре. Наименьшее количество осадков выпадает в январе и декабре.

Наибольшее прогревание подстилающей поверхности, резкие суточные колебания температуры воздуха, большие годовые амплитуды, частая смена заморозков и оттепелей, слабое снегонакопление, создают условия «дождевой тени», характерные крутым склонам южной экспозиции. Большая часть осадков почвой не поглощается, а в виде поверхностного стока уносится в реки. Это приводит к формированию здесь ксерофитных ландшафтов.

Ветровой режим находится в тесной зависимости от распределения атмосферного давления, изменяясь под влиянием рельефа, т.е. высоты горных хребтов и экспозиции их склонов, расположения хребтов и долин. В

районе Ахтов наибольшую повторяемость имеют восточные, северо-восточные, северо-западные и западные ветры. В районе Лучека доминируют северо-западные, восточные и северные направления ветров.

Вследствие неодинакового прогревания и охлаждения склонов гор и долин хорошо выражена в районе локальная горно-долинная циркуляция воздуха в теплое полугодие. Днем воздух благодаря большому прогреву склонов устремляется вверх по долине, а ночью охлажденный воздух стекает вниз по долине. Наблюдаются также фёны — теплые и сухие веры, дующие со склонов хребтов в речные долины.

Климат внешнегорной области умеренно теплый с почти равномерным распределением осадков в течение года. Отмечается умеренным и повышенным увлажнением, мягкой зимой и умеренно жарким летом [10]. Среднегодовая температура воздуха 7–10°C, температура самого теплого месяца 18–23°C, самого холодного 2–6°C ниже нуля. Годовая сумма осадков 500–600 мм, в северной части достигает 700–800 мм. Около 70–75 % осадков выпадает за теплое полугодие. Толщина снежного покрова незначительна и не превышает 20 см. Продолжительность залегания его порядка 50–70 дней.

Представления о климате района дают многолетние данные метеостанции Касумкент. Температурный режим характеризуется следующими данными. Лето теплое, со средней температурой июля 22,6°C, а абсолютный максимум июля составляет 39°C. Абсолютный минимум температуры воздуха — в январе и составляет -25°C.

Для района характерно преобладание летних осадков над зимними. Большая часть летних осадков выпадает преимущественно в виде ливней. Сравнительно малое количество осадков в зимний период обуславливает и малую мощность снежного покрова, а часто повторяющиеся оттепели делают его неустойчивым. Склоны южных экспозиций большую часть холодного периода не покрыты снегом.

Местными ветрами предгорий являются фёны — сухие и теплые ветры, дующие с гор. В теплое время года по долине Самура преобладает горно-долинная циркуляция.

В предгорной части бассейна Самура северные и западные склоны возвышенностей имеют достаточно влажный и умеренно холодный климат, а южные и восточные — полувлажный, умеренный.

Климат низменной области рассматриваемого района характеризуется жарким летом и холодной зимой. Среднегодовая температура воздуха 11–12°C. Температура самого теплого месяца достигает 25°C и выше, самого холодного — 3°C ниже нуля. Годовая сумма осадков порядка 350–400 мм. В годовом ходе осадков просматриваются два максимума — весенний и осенний. Снежный покров неустойчив, продолжительность залегания его не превышает 10–30 дней. Средняя из наибольших высот снежного покрова за зиму достигает величины от 5 до 10 см. В отдельные, сравнительно теплые зимы, вследствие относи-

тельно высокой температуры воздуха снежный покров на территории низменной области не образуется.

Нижнесамурский район имеет переходный климат от климата полупустынь умеренного пояса с мягкой зимой к климату степей субтропического пояса. Густая гидрографическая сеть низменности увлажняет воздух, что, вместе с увлажняющим влиянием Среднего Каспия (более глубокой Дербентской впадины), приводит к более высокой летней относительной влажности воздуха, с чем связана и меньшая степень засушливости.

Летний баланс увлажнения изменяется от 320 мм на севере до 300 мм на юге и 290 мм — на побережье. Лето жаркое. Среднеиюльская температура воздуха составляет 28°C, а абсолютный максимум — 33,5°C. Осадков летом выпадает 15–18 % от годовой суммы, но относительная влажность воздуха довольно высокая — 70–71 %. Осень теплая, но среднемесячные температуры воздуха немного ниже, чем в Дербенте (для Дербента: сентябрь — 20°C, октябрь — 14,8°C, но-

ябрь — 8,6°C). Осень — сезон максимума осадков, когда выпадает около 40 % годовой суммы. Зима мягкая, но средние зимние температуры немного ниже, чем в Дербенте. Зима также с осадками, выпадает около 30 % годовой суммы. Весной температура воздуха поднимается и становится выше, чем в соседнем Южноприморском районе. Средний максимум апреля 13–13,5°C, а мая — 20–20,5°C. Осадков выпадает 70–75 мм. Эта сумма осадков невелика, но, при невысоких температурах воздуха, даже май не отличается значительной степенью засушливости.

Типичными местными ветрами являются бризы — ветры морского побережья. Бризы дуют почти круглогодично, но интенсивность их различна по сезонам года. Слабее они выражены зимой, когда меньше различия в нагревании моря и суши и когда сильные ветры поглощают бризовую циркуляцию. Летом бризы проявляются заметнее, что приводит к смягчению дневной жары и снижению температуры воздуха.

#### Литература:

1. Абдулаев К.А., Атаев З.В. Характеристика ландшафтов горной части бассейна реки Самур // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2008. № 1. С. 68–71.
2. Атаев З.В. Влияние динамики климата на рекреологическую оценку дагестанского побережья Каспийского моря // Естественные и технические науки. 2008. № 1. С. 212–222.
3. Атаев З.В. Природно-территориальные комплексы горной части бассейна реки Самур (восточный Кавказ) // Естественные и технические науки. 2009. № 4. С. 212–215.
4. Атаев З.В. Климатическая дифференциация низкогорно-предгорных ландшафтов Северо-Восточного Кавказа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2012. № 5. С. 287–291.
5. Атаев З.В. Современные климатические изменения горно-котловинных ландшафтов Северо-Восточного Кавказа // Молодой ученый. 2012. № 7. С. 66–68.
6. Атаев З.В., Байрамкулова Б.О., Бекмурзаева Л.Р. Особенности современных климатических условий горно-котловинных ландшафтов северного склона Большого Кавказа // Естественные и технические науки. 2009. № 4. С. 237–240.
7. Атаев З.В., Братков В.В. Влияние колебаний и динамики климата на полупустынные ландшафты Северо-Западного Прикаспия // Географический вестник. 2011. № 3. С. 4–13.
8. Братков В.В., Атаев З.В. Географические особенности влияния климатических условий на горно-котловинные ландшафты северного склона Большого Кавказа // Юг России: экология, развитие. 2009. № 4. С. 192–195.
9. Магомедова А.З., Эльдаров Э.М., Атаев З.В., Алиев Ш.М. Климатические условия развития курортно-туристского хозяйства на дагестанском побережье Каспийского моря // Проблемы региональной экологии. 2007. № 6. С. 127–131.
10. Ataev Z.V. The modern climatic features of the mountain-forest landscapes of the North-Eastern Caucasus // European researcher = Европейский исследователь. 2011. № 11. С. 1567–1572.
11. Ataev Z.V., Bratkov V.V. The climatic features and the temporal structure of the foothill landscapes in the Northeastern Caucasus // European researcher = Европейский исследователь. 2011. № 10. С. 1439–1444.

## Сихотэ-Алинский биосферный заповедник

Кучина Евгения Александровна, студент  
Дальневосточный федеральный университет (г. Владивосток)

*«Многообразие живой природы — залог нашего благополучия. Это основа нашей жизни и необходимое ее условие» (Программа ООН по окружающей среде).*

В последние годы человечество все больше осознает свое разрушающее действие на окружающую среду. И как факт пытается сохранить природу планеты. В результате такой работы по всему миру открываются природные заповедники, места, где запрещена любая агрессивная деятельность человека, дабы предотвратить исчезновения с лица земли уникальных природных комплексов, которые поддерживают шаткий экологический баланс планеты.

С другой стороны всеобщий интерес к сохранению природы выражается в обращении к экологической теме на разных уровнях общества. Так все более популярной эта тема становится в искусстве, культуре, мире моды, социальных и политических сферах. На данный момент ни один проект нельзя считать успешным, если он не предусматривает результатов своего влияния на природу. Все более популярными становятся так называемые экологические туры, в основе которых лежит желание уставшего от тяжелых условий городской среды человека обратиться к нетронутой природе, ощутить себя ее частью. Но привыкший к жизни в современном мире развитых коммуникаций и общественных связей человек зачастую эмоционально теряется в совершенно непривычной для него обстановке. Даже элементарное отсутствие указателей и пояснительных знаков, которое наблюдается в большинстве заповедников, может стать препятствием для комфортного пребывания там, пусть и на короткий срок отдыха. В мировой практике уже осознали эту проблему и к настоящему моменту мы имеем примеры создания успешных систем визуальной коммуникации для природных заповедников и зоопарков. На территории РФ такие примеры практически отсутствуют, несмотря на то, что в России насчитывается 103 заповедника по состоянию на апрель 2012 года, суммарная площадь которых составляет более 340 тыс. км<sup>2</sup>. В список этих заповедников входит и Сихотэ-Алинский биосферный заповедник, который находится на территории Приморского края. Это самый крупный природный резерват Евразии и Америки в поясе хвойно-широколиственных лесов. Несомненно, он известен по всему миру, и создание для системы визуальных коммуникаций позволит ему выйти на новый уровень не только в научной сфере, но и сфере экологического туризма и международных отношений.

Цель работы — изучить характер и особенности Сихотэ-Алинского заповедника, которые возможно использовать при разработке фирменного стиля.

Объектом исследования является Сихоте-Алинский биосферный заповедник.

Предметом — проблема визуальных коммуникаций заповедника, природные особенности и направления деятельности заповедника.

Исследование логично начать с рассмотрения краткой истории заповедника, в контексте мировой практики создания подобных объектов. Осознание факта разрушительного действия человека на природу привело к тому, что люди стали создавать заповедные территории. Еще в очень давние времена была забота о сохранении наиболее ценных природных участков или объектов. Например, считается, что первая заповедная зона на Шри-Ланке была создана уже в III веке до н.э. Первые упоминания об природоохранном статусе территории известной сейчас как Национальный парк Ишкель относятся к 13 веку, когда правящая тогда династия запретила в окрестностях озера охоту. В Средние века в Европе, зная заботилась о сохранении продуктивности своих охотничьих угодий. Для этого выделялись особые участки, где с целью воспроизводства дичи запрещалась любая охота, наказание за нарушение запрета было довольно суровым.

Первые же государственные заповедники появились еще в XVI веке. Но первый национальный парк был открыт только в конце 19-го века, в США. Этой действительно высокой чести удостоилось уникальное Йеллоустонское плато, где в 1872 году был открыт одноименный национальный парк. С тех пор на всех континентах было открыто много парков. Первый национальный парк в Европе был создан в 1914 году в кантоне Граубюнден, Швейцария.

Первым государственным заповедником в России принято считать Баргузинский государственный природный биосферный заповедник. Он был учрежден постановлением Иркутского генерал-губернатора в мае 1916 г., а в начале 1917 г. создание Баргузинского заповедника было оформлено соответствующим постановлением правительства. До него в России существовали только местные охотничьи заповедники и частные заповедники.

Организация крупной охраняемой территории в средней части Сихотэ-Алиния намечалась с начала 30-х годов, и в 1935 году был организован Сихотэ-Алинский заповедник. С 1939 года его площадь составляла 1,8 млн. га. Тогда это был крупнейший заповедник в стране и даже один из самых больших в мире. Сейчас его размеры составляют 401,4 тысячи га. Основной задачей заповедника

является охрана малонарушенных экосистем хребта Сихотэ-Алинь на стыке природных зон, а также редких видов фауны Приморья — в первую очередь, амурского тигра и горала.

В 2001 году территория заповедника включена в список Всемирного природного наследия ЮНЕСКО, что вывело весь Приморский край на новый уровень в мировом сообществе. Только здесь европейцы могут увидеть утерянные ими навсегда хвойно-широколиственные леса.

Цель природных заповедников: сберечь уникальные природные образования, поддержать биологическое и ландшафтное разнообразие, сохранить генофонд диких растений и животных. Вместе с тем природоохранный режим заповедников (за пределами бывшего СССР их называют резерватами) более строг. Здесь допускается только научная деятельность и лишь иногда туризм. В национальных парках туризму (экологическому туризму) уделяется особое внимание. Примером этого могут служить национальные парки Африки, такие как Серенгети, Найроби, Масаи Мара или национальный парк имени Крюгера. В парках также ведется активная работа по экологическому просвещению населения, а иногда допускается и хозяйственная деятельность (при условии ее экологической безопасности). Естественно, что там, где есть работа с большим количеством народа из разных стран не обойтись без надежных систем визуальной коммуникации. Ведь сообщение информации посредством языка не всегда будет успешно, в силу естественных причин непонимания иностранных языков.

На территории Сихотэ-Алинского заповедника ведется активная работа в сфере научного и экологического туризма, причем не только с русскими, но и зарубежными учеными и туристами.

Заповедник активно сотрудничает с учеными из США по тематике изучения экологии амурского тигра.

На данный момент при заповеднике имеется Музей Природы, а также вольеры, где содержатся в неволе несколько амурских тигров.

Сихотэ-Алинский государственный биосферный заповедник в настоящее время.

Самый крупный и хорошо охраняемый природный объект Приморья — Сихотэ-Алинский государственный биосферный заповедник, в настоящее время активно развивает такие направления своей деятельности как экопросвещение и экотуризм. Расположенный на территории трёх районов Приморского края: Тернейского, Красноармейского и Дальнегорского. Сихотэ-Алинский он способен быть полноценным резерватом для большинства видов животных и растений. Поэтому, в 1979 году на форуме ЮНЕСКО заповеднику был присвоен статус биосферного, а в 2001 году заповедник включён в Список территорий Всемирного природного наследия ЮНЕСКО. В июле 2006 года Решением Правительства РФ Сихотэ-Алинскому государственному природному биосферному заповеднику было присвоено имя его организатора и первого директора, основоположника заповедного дела на

Дальнем Востоке, зоолога Константина Георгиевича Абрамова. И с началом этих преобразований на базе заповедника стали проводиться не только экспедиции для узкоспециализированных ученых, но общедоступные экскурсии. В связи с этим возник ряд проблем связанных с отсутствием единого фирменного стиля. Сотрудники заповедника регулярно разрабатывают новые туристические маршруты и программы, однако информация об этом практически не достигает адресатов, а именно людей заинтересованных в такого рода отдыхе.

Многих туристов пугает отсутствие наглядных и понятных маршрутных карт, рекламной информации и других материалов, по которым легко и доступно можно было бы продумать и спланировать поездку в Сихотэ-Алинский заповедник. Здесь возникает вопрос о том, нужны ли такие материалы и вообще вся система фирменного стиля, ведь большой наплыв туристов может пагубно повлиять на любой природный объект. Однако здесь не идет речь об открытии всей территории для туристов. Достаточно грамотно организовать уже существующую систему. Кроме того фирменный стиль предположительно разработать не только на туристов, но и на ученых, которым значительно облегчит работу, даже такой простой атрибут как удобные фирменные бланки и документация. Но что бы детально проработать систему визуальных коммуникаций, необходимо рассмотреть положение дел, существующих в заповеднике на настоящий момент.

В настоящее время заповедник осуществляет три направления своей деятельности, а именно:

- научное,
- охрannое,
- экопросветительское (экотуризм).

Рассмотрим более подробно, какие пункты каждого из направлений могли бы быть включены в систему фирменного стиля.

Приоритетными направлениями в научно-исследовательской работе Сихотэ-Алинского заповедника были и остаются многолетние комплексные исследования экосистем и их компонентов на стационарных, обозначенных на местности площадках и маршрутах. Для выполнения этого направления заповедник тесно сотрудничает с НИИ и ВУЗами России и других стран. Разработаны 460 км маршрутов зимних учетов животных, снегосъёмочные маршруты, 6 топоэкологических профилей, заложено 45 постоянных пробных площадей (ППП), занимающих почти 15 га. С 1971 на постоянных маршрутах, охватывающих всю территорию заповедника, по стандартной методике проводятся зимние маршрутные учеты относительной численности животных. С 1992 г. по российско-американскому проекту «Амурский тигр» ведется наблюдения за амурскими тиграми меченными радиощейниками. Материалы по всем учетам хранятся в архиве заповедника. Имеется несколько ботанических и зоологических коллекций, которые представляют большой научный интерес. Среди них гербарий растений заповедника (более 4,5 тыс. листов), коллекция насекомых (около 1,5

тыс. экземпляров). С 1993 г. выполняется работа по переводу этих архивов в электронные базы данных. Продолжаются работы по формированию Географической Информационной Системы (ГИС). В настоящее время она содержит 14 каталогов. Сотрудниками заповедника опубликованы в 4-х выпусках научные труды, 10 тематических сборников, 6 монографий, более чем 1300 научных статей. Большой фактический материал создаёт предпосылки для международного сотрудничества. Кроме того регулярно проводятся студенческие практики, конференции и семинары.

В рамках природоохранной деятельности работает Отдел по охране заповедной территории, который является структурным подразделением ФГБУ «Сихотэ-Алинский государственный заповедник». Обязанностью инспекторов по охране территории заповедника является выполнение природоохранных мероприятий, заповедно-режимных и лесохозяйственных работ (предотвращение и пресечение браконьерства, профилактика и тушение лесных пожаров, прокладка троп, строительство изб, кордонов, оснащение территории заповедника аншлагами, информационными щитами и многое другое). Охрана территории Сихотэ-Алинского заповедника и его охранных зон осуществляется государственными инспекторами путем пешего патрулирования, на автотранспорте, а в зимнее время — на лыжах и снегоходах «Буран». Во время патрулирования проверяется состояние дорог, троп противопожарного назначения, мостов и переходов через водотоки, состояние изб и кордонов заповедника. Подъездные дороги оснащаются шлагбаумами, информационными знаками и аншлагами. Охраняемая территория разделена на четыре лесничества; наиболее крупные — Тернейское и Колумбейское, меньшую площадь занимают Куруминское и Прибрежное.

В рамках экопросветительской деятельности в заповеднике проложены экологические маршруты, создан Информационный центр охраны природы с Музеем природы. Сотрудники проводят интереснейшие экскурсии и лекции, организуют экологические лагеря. Есть возможность организовать практику, научное исследование или просто отпуск для любознательных.

Таковы характеристики основных направлений деятельности заповедника, все указанные пункты, так или иначе, могут быть задействованы в системе фирменного стиля. Однако такое описание не дает представления о характере заповедника, его особенностях, что тоже важно учитывать при разработке такой системы. Эти особенности можно проследить по описаниям исследователей заповедника. Так через территорию, ныне входящую в заповедник, неоднократно пролегли маршруты прославленного путешественника, ученого и писателя В.К. Арсеньева и его неизменного спутника Дерсу Узала. В известной книге об экспедициях 1902—1906 гг. «По Уссурийскому краю» этим местам посвящены три главы: «Встреча с хунхузами», «Пожар в лесу» и «Зимний поход». Описания почти восьмидесятилетней давности

дают интересный материал для сравнения. Арсеньев отметил: «Чем дальше, тем тайга становится глуше. Разрушающая рука промышленника еще не коснулась этого девственного леса. По мере того как исчезали следы человеческие, становилось более и более следов звериных». За последующие десятилетия рубки, пожары, отчасти бесконтрольный охотничий промысел нанесли природным комплексам этой территории немалый урон, однако в наибольшей степени он сказался на очень ограниченной площади. Обширные пространства лесов к моменту организации заповедника оставались почти не затронутыми этими воздействиями. Позднее в течение почти полувека их сохранение обеспечивал уже сам заповедник. В его пределах можно и сейчас наблюдать и изучать экосистемы, очень близкие к тем, что существовали здесь тысячелетия назад.

Кроме того заповедник пока не противопоставлен своему окружению, не стал резко обособленным экологическим островом. Хорошо сказал обо всем этом, познакомившись с заповедником, писатель О.В. Волков: «Прочно запомнились великолепные картинки богатой природы — здоровой и плодоносящей, щедрой и нетронутой. Нет, еще не подточены тут ее силы, и ничуть не сказались на них коварные внешние влияния».

Среди других охраняемых территорий Приморья и Приамурья Сихотэ-Алинский заповедник выделяется и своими размерами. Сейчас он почти в 6 раз меньше, чем 30—40 лет назад, но его масштабы остаются впечатляющими: это раскинувшееся на многие десятки километров лесное море, наполненное всеми формами жизни, целая система сложно разветвленных горных хребтов, где есть довольно значительные участки, практически не посещаемые людьми на протяжении ряда лет и даже десятилетий, своего рода маленькие «затерянные миры».

Вполне закономерно, что среди заповедников региона именно Сихотэ-Алинскому в первую очередь был придан статус биосферного. Пока это единственный заповедник на Дальнем Востоке РФ, включенный в мировую систему охраняемых территорий. Его эталонная роль была особо подчеркнута в резолюциях крупного международного форума — XIV Тихоокеанского научного конгресса, состоявшегося в августе-сентябре 1979 г. в Хабаровске. У зарубежных участников конгресса посещение Сихотэ-Алинского заповедника оставило неизгладимые впечатления. О кедровниках заповедника один из представителей Японии, д-р Осима, отозвался так: «Огромные красивые леса, которых в Японии уже не увидишь». А вот слова известного американского ученого Д. Гопкинса, посетившего здесь один из лесных кордонов: «Всегда буду помнить то волнение, которое испытал, увидев на лесной тропе следы тигра» (Агеенко и др., 1982, с. 194—195).

В результате проведенного исследования был выявлен характер заповедника. Он представляется нетронутой территорией дикой таежной природы, расположенной на склонах горного хребта, и включающей часть акватории Японского моря. Несмотря на это резерват

не находится в резком контрасте с прилегающими районами, что говорит о бережном отношении к природе и Приморском крае в целом. Кроме того были рассмотрены три направления деятельности заповедника. Это дает возможность продолжить такое деление и в системе фирменного стиля, разрабатывая для каждого из них ха-

рактерные элементы. В ходе исследования так же подтвердилась информация о разработке и проведении различных туристических экскурсий, а так же наличии на территории заповедника музеев и экспозиций. Все это говорит о том, что разработка для него единого стиля действительно актуальная работа.

#### Литература:

1. Ветренников В.В. Геологическое строение Сихотэ-Алинского заповедника и Центрального Сихотэ-Алиня. // Тр.Сихотэ-Алинского заповедника,1976, вып.6. 167 с.
2. Волошина И.В. Сихотэ-Алинский заповедник.// Известия ДВО РАН, 1996,№1. С. 79–85.
3. Капланов Л.Г. Тигр, изюбрь, лось. М.:МОИП, 1948. 128 с.
4. Колесников Б.П. Растительность восточных склонов Среднего Сихотэ-Алиня.//Тр. Сих.-Алин.заповедника,1938, вып.1.С. 25–207.
5. Растительный и животный мир Сихотэ-Алинского заповедника. М.: «Наука», 1982. 304 с.
6. Смирнов Е.Н., Подушко М.В., Васильев Н.Г. Сихотэ-Алинский заповедник.// Природа, 1981, №3. с. 32–45.
7. Смирнов Е.Н. Уссурийская тайга без тигра – не тайга».Вестник Тернея», № 5882, 9 января 1997 г.
8. Суханов В.В., Петропавловский Б.С., Чавтур Н.А. Структура растительных сообществ в Сихотэ-Алинском биосферном заповеднике. Владивосток,1994. 220 с.

## Проектная деятельность в старшей школе

### (на примере комплекса «Потамонимы Нефтеюганска и Нефтеюганского района»)

Шведова Злата Владимировна, учитель информатики и ИКТ  
МБОУ «Средняя общеобразовательная школа № 9» (г. Нефтеюганск)

В нашей школе информатика – один из инновационных и востребованных предметов школьной подготовки, делающих ее современной и приближающей к жизни и запросам общества. На сегодняшний день она является одним из основных школьных курсов, способствующих формированию содержательно-логического мышления. Развивающая сторона этой дисциплины направлена на формирование актуальных приемов деятельности, в том числе интеллектуальной, в условиях информатизации.

Одной из форм использования компьютера во внеклассной работе является проектная деятельность. При этом учащиеся не только углубляют и расширяют знания по теме, но и активно мыслят, привлекают для решения проблемы ранее полученные знания, проводят синтез, анализ, обобщение и выводы, способствующие всестороннему самостоятельному рассмотрению поставленной задачи. Все это стимулирует мыслительную активность, развивает творческие способности учащихся, способствует эмоциональному удовлетворению и самоутверждению в глазах окружающих. В этом случае компьютер выступает как инструмент творчества, но одновременно идет процесс освоения, изучения богатых, часто скрытых возможностей компьютера. Для меня очень важно включить учащихся в проектную деятельность и по другим учебным предметам.

Хотелось бы остановиться на проекте «Потамонимы Нефтеюганска и Нефтеюганского района», выполненным обучающейся 10 класса Сорокиной Анастасией.

Почему именно эта тема? Анастасия родилась и выросла в Ханты-мансийском автономном округе – Югре. Своим названием округ обязан народам ханты и манси. Жизнь коренных народов и освоение Севера нашли отражение в географических названиях.

Цель данной проектной работы: исследование потамонимов Нефтеюганска и Нефтеюганского района; создание комплекса на основе исследования.

В процессе разработки автор применяла такие методы, как исследование (анализ ресурсов и результатов), поиск информации. Были использованы приёмы обобщения, классификации, сопоставления. Работа основана на применении информационных технологий.

До начала работы над этим проектом Анастасией была выполнена работа «Гидронимы ХМАО-Югры». В 2011 году она была представлена на региональном фестивале «Югра – этнокультурный диалог» в номинации «История культурного ландшафта «Память Земли»». Впоследствии она стала первой ступенью к настоящему проекту. В работе «Гидронимы ХМАО-Югры» Настя разграничила понятия «топонимика» и «топонимия», исследовала классы топонимов, проанализиро-



вала происхождение названий крупнейших водных объектов округа. Результаты оформила в виде презентации,

содержащей карту с гиперссылками на объекты-гидронимы.

## Гидронимы ХМАО-Югры

### I этап. Разграничение понятий

- Топонимика — наука, изучающая географические названия, их происхождение, смысловое значение, развитие, современное состояние, написание и произношение. Использует данные географии, истории и лингвистики.
- Топонимия — совокупность названий (топонимов) на какой-либо территории.

Итак, моим объектом изучения является **топонимия ХМАО.**

### II этап. Исследовательско-аналитический

Происхождение географических названий ХМАО:

- самодийское
  - Ненецкий язык
  - Селькупский язык
- финно-угорское
  - Хантыйский язык
  - Мансийский язык
- тюркское → Татарский язык
- русское → Русский язык

Переход к информации о гидрониме осуществляется посредством гиперссылок

Гидрографическая сеть ХМАО относится к бассейну Карского моря. Она представлена большим — 19,6 тысяч [25] — количеством водотоков, озёр и болот, что является следствием избыточного увлажнения территории, равнинности рельефа и близкого залегания водоупорных горизонтов. Округ обладает густой речной сетью. На междуречьях её образуют многочисленные водотоки и озера, соединённые между собой небольшими протоками. Свообразная речная сеть сформировалась внутри огромных болотных массивов со множеством озёр. Общая протяжённость гидросети около 100 тыс. км, из них большую часть составляют малые реки [4, с. 61].



В ходе анализа топографических карт было выяснено, что только в одном Нефтеюганском районе около полутысячи названий рек и озёр. Поэтому в дальнейших исследованиях необходимо:

1. Сузить площадь исследуемой территории.

2. Уточнить разновидность гидронимов: пелагонимы (моря), потамонимы (реки), лимнонимы (озёра), гелонимы (болота).

Наиболее оптимальным решением будет:

1. Выбрать исследуемой территорией Нефтеюганск (и его окрестности) и Нефтеюганский район, т.к. Настя, местный житель, имеет возможность не только сделать запрос в краеведческий музей, но и лично общаться с сотрудниками; а также по необходимости совершить выезд на объекты.

2. Взять в качестве исследуемой разновидности гидронимов названия рек — потамонимы. В Нефтеюганском районе достаточно большое количество рек.

При создании проекта была проделана следующая работа:

1. Посещение МУ «Историко-художественный комплекс» (филиала «Музей реки Обь»).

Эта часть работы очень важна для проведения дальнейшего исследования. В ходе бесед с сотрудниками была оценена важность и сложность работы и получена часть справочной информации.

2. Посещение МУК «Городская библиотека» г. Нефтеюганска и Тюменской областной научной библиотеки им. Д.И. Менделеева.

В ходе бесед с сотрудниками библиотек была получена часть справочной информации.

3. Организация информационной базы (словари, справочники, статьи) для дальнейшего анализа. Анализ.

Это было возможным благодаря использованию определенных источников информации (см. библиографиче-

ский список). Анастасия уточнила территориальное расположение народов ханты и манси (на уровне групп), узнала о различиях диалектов хантыйского языка.

#### 4. Анализ топографических карт

На данном этапе Настя подробно изучила топографические карты и внесла результаты наблюдений в таблицу. Затем составила список объектов (рек, озёр, населённых пунктов) для статистической обработки и выявления

связей между ними.

#### 5. Составление таблицы для подробного анализа.

Для удобства работы обучающейся была составлена таблица, содержащая сведения, необходимые исследователю. Однако она не предназначена для широкого круга, так как информация оформлена в виде, неудобном для восприятия. Ниже приведен фрагмент таблицы (участок «Нефтеюганск»).

Реки, протоки	Озера	Острова	Урочища	Населенные пункты Разъезды
Аношкина Бол. Варьеган Вакурпас Вынга Кавык Каркатеевская Комарья Минчимкина <b>Обь</b> Окуневка <b>Пим</b> Протока Андриюшкина Протока Бол. Гнилая <i>Протока Бол. Кучиминская</i> <i>Протока Бол. Сонтарова</i> <b>Протока Бол. Юганская (Горная)</b> Протока Валинская Курья	Аброшина Яма Ай-Вайтор Варисовские Ямы Картошка Материковое Минеевское Перешеечные Саймино <i>Солкина Курья</i> Соровое <u>Тундринская Курья</u> Щучье	Бол. Камаева Варисовский Камаева Кисарский Пилюгинский Песок Сангапайский Шитова	Городской остров Митрохинский Яр Нижний Майоровский Яр Пепелик Сайгатинский Яр Солка Солкин остров Сосновый остров Тундринский материк Шестаков остров	Высокий Мыс <b>Нефтеюганск</b> Пилюгина Рыбачий <b>Сайгатина</b> <i>Сангапай (в.п.)</i> <u>Тундрино</u> <b>Усть-Балык</b> <b>Чеускино</b>

Именно поэтому возникла необходимость представления информации в удобной форме. Эта форма — комплекс (группа файлов в электронном виде и брошюра). Анастасия решила, что для оформления данных о происхождении рек будет использована форма презентации для виртуального путешествия. Также в комплекс будут включены текстовые документы: словарь, справочник путешественника, путеводитель по картам.

Поездка по району с целью ознакомления с потамонимами.

Важный этап. Во время поездки по Нефтеюганскому району Анастасия провела фотографическую съемку, ознакомились с интересными названиями рек.

На основе изученных материалов создан комплекс, состоящий из 5 объектов. Все компоненты входят в комплекс в электронном виде; третий, четвертый и пятый компоненты оформлены в виде брошюрованной книги.



1) Презентация «Реки Нефтеюганска и Нефтеюганского района»

Данная презентация включает в себя карту Нефтеюганского района с гиперссылками на слайды, содержащие пояснения к каждому потамониму. Переход осуществляется при помощи управляемых кнопок. Содержит 69 слайдов.



Карта с границами района уникальна. Она составлена Анастасией на основе материалов сайта <http://maps.yandex.ru/>, была собрана из фрагментов (так как копирование необходимого участка карты невозможно по техническим причинам, а масштаб страницы не позволяет сделать снимок (с помощью клавиши PrtScr) всего района).

Уникальными являются фотографии дорожных указателей рек. Они сделаны Настей во время поездки по району. Необходимость в них появилась во время поиска иллюстраций: в поисковых системах не нашлось фотографий многих рек.

2) Презентация «Гидронимы ХМАО-Югры»

Данная презентация включает в себя карту ХМАО с гиперссылками на слайды, содержащие пояснения к каждому гидрониму. Переход осуществляется при помощи управляемых кнопок. Содержит 46 слайдов.

**Большой Балык, Малый Балык, протока Сухой Балык**

Потамонимы тюркского происхождения  
«Балык» - рыба

Дорожный указатель  
р. Сухой Балык

р. Мал. Балык

**Вандрас**

Потамоним хантыйского происхождения  
«Вандр» - выдра  
«Ас» – большая река  
**Выдра-поток**

р. Вандрас

**Варьёган (Варьеган, Варь-Еган)**

Потамоним хантыйского происхождения:  
«Вар» – рыбный запор  
«Еган» - большая река  
**Запорная река**

Дорожный указатель  
р. Большой Варьёган

Дорожный указатель  
р. Малый Варьёган

**Пойк**

Потамоним хантыйского происхождения:  
«Пойк» - мыс, река, озеро  
Дал название посёлку Пойковский.

р. Пойк

Дорожный указатель  
р. Пойк

### Протока Юганская Обь

Сложный потамоним.  
Связан с названием города Нефтеюганска.

а) «Юганская» - хантыйского происхождения:  
**«Ехантас» - река, образованная слиянием речек.**



Протока Юганская Обь

### Протока Юганская Обь

б) «Обь» - о происхождении ведутся споры.

1. **Иранское «аб» («об») - вода, река**
2. Коми-зырянское «обва» - тетка, бабушка; «обва» - снежная вода
3. Русское «обе» («объять»)

Наиболее убедительной считается версия об иранском происхождении

Крайне маловероятно, что пользователь сможет и захочет ознакомиться с несколькими сотнями потамонимов или с несколькими тысячами гидронимов, поэтому в презентации включены наиболее известные и значительные, а также те, значения которых точно известны. Если пользователь всерьёз заинтересуется данной темой, он имеет возможность воспользоваться остальными компонентами комплекса или обратиться к автору.

3) Справочник путешественника  
Текстовый документ «Справочник путешественника» включает в себя таблицы, соответствующие 15 частям топографической карты. Они содержат названия рек, озёр, урочищ, островов, населённых пунктов. Документ будет полезен при подробном изучении карты, а также при исследовании взаимосвязи названий рек с названиями озёр, населённых пунктов.



Оглавление	
Дальний Массет.....	4
Небы Кавкова.....	6
Корытцево.....	8
Демство.....	10
Малый Юганский.....	12
Митково.....	14
Нефтеюганск.....	17
Рысьовы.....	20
Самкутино.....	22
Самье.....	23
Селинрово.....	26
Сытомиево.....	29
Тышомовьельга.....	32
Юган.....	34
Южовый Балык.....	36

4) Алфавитный справочник топонимов  
Текстовый документ «Алфавитный справочник топонимов» включает в себя статистические данные, а именно названия рек, озёр, урочищ, островов, населённых пунктов с подсчётом их количества. Составлен на основе топографических карт.

Автор исследовала 651 топоним, из них:

- рек, проток — 360;
- озёр — 158;
- островов — 11;
- урочищ — 22;
- населённых пунктов — 100.



5) Тематический словарь

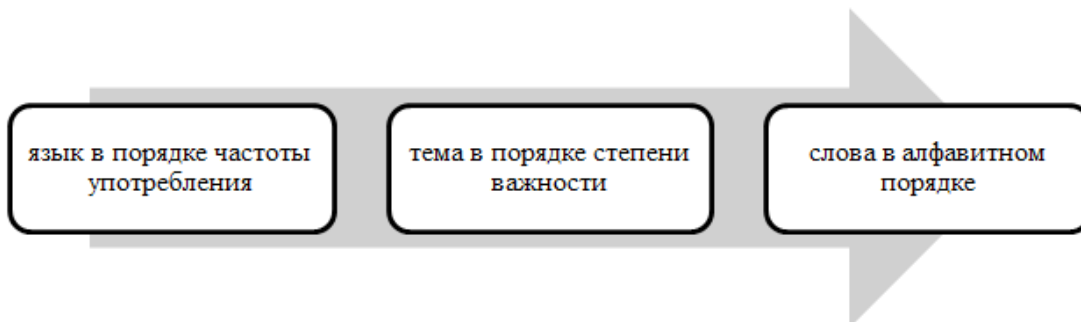
Включает в себя слова из языков местных народов, употреблённые в названиях географических объектов Нефтеюганского, Сургутского, Ханты-Мансийского районов. Основа словаря – хантыйский язык, так как большая часть топонимов Нефтеюганского района и смежных территорий имеет хантыйское происхождение.

Словарь содержит:

- 157 слов хантыйского языка;
- 11 слов мансийского языка;
- 3 слова ненецкого языка.

Кроме того, каждое слово дополнено примерами топонимов.

Принцип организации словаря:



Текстовый документ «Тематический словарь» включает в себя слова из языков местных народов (преимущественно ханты), употреблённые в названиях географических объектов.

Составлен на основе интернет-ресурсов. Содержание документа будет интересно широкому кругу.

Ф Ханты (преимущественно Сургутский диалект)			
<b>РЕКА, ПРОТОКА, РУЧЕЙ</b>			
Ас «большая река»	р. Вацдрас «вадра-поток» р. Лимпас	р. Картьвартьлсьманг	р. Навксельманг «лиственничная река» р. Лемьанг
Егаш'еган «большая река»	р. Емьеган «священная река» р. Тромь'еган «река бога»	Мухты - протока	р. Мухтыегарт «излучина протоки»
Ега'ега/га/ага «речка»	р. Кольмь'ега «рыбная река» р. Варьмь'ега «река с рыболовными заграждениями» р. Вацага «узкая река» оз. Егаш'айтор «озеро в верховье речки»	Нсваринг «родник»	пр. Нсваринг
Илама «живуно» (незамёрзавшее место на реке)	р. Илама «река с живуно» р. Или'еган «река с живуно» оз. Или'егантор «озеро реки с живуно»	Пас'пост «протока»	пр. Варампас «протока с рыболовными заграждениями» пр. Чах'пост «гусятинная протока»
Лев «заводь»	р. Лев «река с заводью»	Сев'сав «маленький ручей между озером и рекой или между двумя озерами, вытекающий из реки»	Пос. Сивыс-Ях
Лемьанг «речка, протока»	б. Емьанг'тайваль «болото у истока священной речки»	Сомь «ручей»	р. Тонгсом «прямой ручей» оз. Сомьтор «озеро у ручья»
		Тай'тай «исток»	б. Хульоганг'тайваль «болото у истока рыбной реки»
		Хора «излучина реки»	р. Хора
		Цон «гидрообъект в его сужающейся части»	оз. Ворюн «перешеек озера»

Чум «ручей»	рч. Чум р. Чумьяк «озеро у ручья»	Лар «заливной луг»	р. Яглар «речной сор»
Юган «река»	р. Большой Юган р. Варьягоган «река с зарослями» оз. Васьюгантор «озеро узкой реки»	Лор «озеро, затопляемое во время разлива рек»	оз. Евралор «волчье озеро»
Юхан «речка»	р. Юхан	Мал «бессточное озеро»	оз. Малина
Ягуи «река»	р. Кильсьнягуи р. Кирилл-Вась-Ягуи	Сор «сезонный водоем, образуемый весенним разливом рек»	оз. Луков Сор «глухаринный сор»
Яул «небольшая река»	р. Лувьяунтор «озеро толстой реки» р. Тоньякортъяун «река берестяной деревни»	Тор «озеро»	оз. Айтор «маленькое озеро»
Ях «речка, приток больших притоков Оби»	р. Пырьях «избранная речка» или «собачья речка»	Туй «озеро»	оз. Имтуй «озеро женщины»
<b>ОЗЕРО</b>		<b>БОЛОТО</b>	
Вор «старина, озеро на месте бывшего русла реки»	оз. Ворунай «остров старин»	Каль «безлесное болото»	б. Емыплемынгытйикаль «болото у истока священной речки» р. Сыкальсьонм «ручей турпаньего болота»
Ендра «большое озеро»	оз. Ендра	Нерым/йтрам «болото»	оз. Нерымглар «болотное озеро» б. Ютыпомутнерым «болото, на котором заготавливали траву»
		Ягур «предболотье»	р. Ягурьях «река предболотья»
<b>ЛЕСНЫЕ УГОДЬЯ</b>		водой»	
Вор «рошка»	пр. Лабывор «семь рош»	<b>ДОРОГИ</b>	
Ягом «бор»	оз. Вепитъягом «бор, в котором охотились»	Маш «тушка»	р. Машьягомъсьонм «река тушкового бора»
<b>РЕЛЬЕФ</b>		Охт «волоок»	р. Охтьеган «волоковая река»
Ишк «холм»	ур. Ногорсьоньеш «холм кедрового ручья»	Пандей «дорога»	оз. Пандей
Лот «яма»	б. Яялотское	Пуш «полоса, протока»	т. Пушшай «сотка с просекой»
Нел «ямс»	р. Нелла	Сап «тропа»	р. Айсип «маленькая тропа»
Пай «бутор, пригорок, холмик, островок»	оз. Ворунай «остров старин»	Согом «конец пути»	р. Согомка
Погур «остров»	ур. Вайногур «зисы-остров»	Юш «дорога, тропа, путь»	р. Юшсьонм «ручей с дорогой» р. Юшьегя «речка у дороги»
Реп «гора, яр»	р. Репъеган «горная река» р. Репорнягуи	<b>ПРОМЫСЛЫ</b>	
Чип «холм»	р. Чипъегя «река с холмистыми берегами»	Вар «запор» (заграждение для ловли рыбы)	р. Варьяган р. Чахловаровка «гусиная река с заграждением для ловли рыбы»
Чутас «высокий холм, поросший хвойным лесом»	х. Самаровский Чутас	<b>ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ОТНОШЕНИЯ</b>	
Шашна «бутор, разделенный	р. Шашниская	Вол «место, где что-то было»	р. Вольсьях «река, на которой что-то было или кто-то жил»

Созданный комплекс был апробирован на уроках краеведения, истории, географии и русского языка. Применялся на уроках информатики в качестве демонстрационного материала по теме «Создание презентаций». Получил положительные отзывы педагогов и учащихся.

Данная работа не имеет аналогов среди изученных ре-

сурсов, так как в них представлены либо сугубо научные исследования, либо сведения о знаменитых объектах, не отличающиеся разнообразием. Работа имеет значение как с научной, так и с практической точки зрения (ориентирована на демонстрацию широкому кругу людей).

Литература:

1. <http://maps.yandex.ru/>
2. <http://maps.google.com/>
3. Топографическая карта Нефтеюганского района и смежных территорий. Издания 1979 г. (12 частей), 1980 г. (1 часть), 1981 г. (1 часть), 1990 г. (1 часть)
4. Атлас Ханты-Мансийского автономного округа-Югры. Том II (природа, экология). ООО НПФ «ТАЛКА-ТДК». Стр.16. Карта Нефтеюганского района. Редакторы: Дикунец В.А., Лисицкий Д.В., Макеев В.Н., Тикунов В.С. Стр.64–65. Гидрографическая карта. Авторы: Губанов М.Н., Масленникова В.В. Научные редакторы: Айбулатов Д.В. Редакторы: Масленникова В.В.
5. [www.tumenlib.ru](http://www.tumenlib.ru)
6. <http://www.dissercat.com/>
7. Исламова Ю.В. «Субстратная топонимия Нижне-Среднего Приобья», Сургут.

8. <http://www.znamenskol.ru/>
9. <http://soobscha.tomsk.ru/>
10. [www.admhmao.ru](http://www.admhmao.ru)
11. <http://www.admoil.ru/>
12. <http://www.ugrainform.ru/>
13. <http://www.gublibrary.ru/>
14. <http://in-yaz-book.ru>
15. [www.twirpx.com](http://www.twirpx.com)
16. <http://uz-translations.su/>
17. <http://libraries-yanao.ru/>
18. <http://www.nvobrazovanie.ru/>
19. <http://fotki.yandex.ru/>
20. <http://images.yandex.ru/>
21. <http://club.foto.ru/>
22. [www.ugra-media.com](http://www.ugra-media.com)
23. <http://www.tobolsk-eparhia.ru/>
24. <http://salym.ya.ru/>
25. Лезин, 1999.

# Молодой ученый

Ежемесячный научный журнал

№ 3 (50) / 2013

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

**Главный редактор:**

Ахметова Г. Д.

**Члены редакционной коллегии:**

Ахметова М.Н.

Иванова Ю.В.

Лактионов К.С.

Комогорцев М.Г.

Ахметова В.В.

Брезгин В.С.

Котляров А.В.

Яхина А.С.

**Ответственный редактор:**

Кайнова Г.А.

**Художник:**

Шишков Е. А.

**Верстка:**

Бурьянов П.Я.

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.  
За достоверность сведений, изложенных в статьях,  
ответственность несут авторы.

Мнение редакции может не совпадать  
с мнением авторов материалов.

При перепечатке ссылка на журнал обязательна.

Материалы публикуются в авторской редакции.

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

672000, г. Чита, ул. Бутина, 37, а/я 417.

E-mail: [info@moluch.ru](mailto:info@moluch.ru)

<http://www.moluch.ru/>

**Учредитель и издатель:**

ООО «Издательство Молодой ученый»

ISSN 2072-0297

Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии «Ваш полиграфический партнер»  
127238, Москва, Ильменский пр-д, д. 1, стр. 6