

МОЛОДОЙ

ISSN 2072-0297

# УЧЁНЫЙ

международный научный журнал

“Technology has advanced more in the last thirty years than in the previous two thousand. The exponential increase in advancement will only continue. Anthropological Commentary The opposite of a trivial truth is false; the opposite of a great truth is also true.”

“An expert is a man who has made all the mistakes which can be made, in a narrow field.”

“The best weapon of a dictatorship is secrecy, but the best weapon of a democracy should be the weapon of openness.”



16+

anybody says he can think about quantum physics without getting angry, that only shows he has not understood the first thing about them.”

From Bohr model



Lyman Series (Ultraviolet)

Balmer Series (Visible)



656.3 nm red

410.2 nm violet

434.1 nm violet

486.1 nm bluegreen



Bohr Model of Hydrogen

Ground State Electron lowest level.

Absorption spectrum: Electron absorbs photon and jumps up to a higher energy level.

Emission Spectrum: Electron emits photon as it falls down to a lower energy level.

6  
2016  
Часть II

ISSN 2072-0297

# Молодой учёный

Международный научный журнал

Выходит два раза в месяц

№ 6 (110) / 2016

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

**Главный редактор:** Ахметов Ильдар Геннадьевич, кандидат технических наук

**Члены редакционной коллегии:**

Ахметова Мария Николаевна, доктор педагогических наук

Иванова Юлия Валентиновна, доктор философских наук

Каленский Александр Васильевич, доктор физико-математических наук

Куташов Вячеслав Анатольевич, доктор медицинских наук

Лактионов Константин Станиславович, доктор биологических наук

Сараева Надежда Михайловна, доктор психологических наук

Авдеюк Оксана Алексеевна, кандидат технических наук

Айдаров Оразхан Турсункожаевич, кандидат географических наук

Алиева Тарана Ибрагим кызы, кандидат химических наук

Ахметова Валерия Валерьевна, кандидат медицинских наук

Брезгин Вячеслав Сергеевич, кандидат экономических наук

Данилов Олег Евгеньевич, кандидат педагогических наук

Дёмин Александр Викторович, кандидат биологических наук

Дядюн Кристина Владимировна, кандидат юридических наук

Желнова Кристина Владимировна, кандидат экономических наук

Жуйкова Тамара Павловна, кандидат педагогических наук

Жураев Хусниддин Олтинбоевич, кандидат педагогических наук

Игнатова Мария Александровна, кандидат искусствоведения

Коварда Владимир Васильевич, кандидат физико-математических наук

Комогорцев Максим Геннадьевич, кандидат технических наук

Котляров Алексей Васильевич, кандидат геолого-минералогических наук

Кузьмина Виолетта Михайловна, кандидат исторических наук, кандидат психологических наук

Кучерявенко Светлана Алексеевна, кандидат экономических наук

Лескова Екатерина Викторовна, кандидат физико-математических наук

Макеева Ирина Александровна, кандидат педагогических наук

Матроскина Татьяна Викторовна, кандидат экономических наук

Матусевич Марина Степановна, кандидат педагогических наук

Мусаева Ума Алиевна, кандидат технических наук

Насимов Мурат Орленбаевич, кандидат политических наук

Прончев Геннадий Борисович, кандидат физико-математических наук

Семахин Андрей Михайлович, кандидат технических наук

Сенцов Аркадий Эдуардович, кандидат политических наук

Сенюшкин Николай Сергеевич, кандидат технических наук

Титова Елена Ивановна, кандидат педагогических наук

Ткаченко Ирина Георгиевна, кандидат филологических наук

Фозилов Садриддин Файзуллаевич, кандидат химических наук

Яхина Асия Сергеевна, кандидат технических наук

Ячинова Светлана Николаевна, кандидат педагогических наук

Почтовый адрес редакции: 420126, г. Казань, ул. Амирхана, 10а, а/я 231.

Фактический адрес редакции: 420029, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25.

E-mail: [info@moluch.ru](mailto:info@moluch.ru); <http://www.moluch.ru/>.

Учредитель и издатель: ООО «Издательство Молодой ученый».

Тираж 500 экз. Дата выхода в свет: 15.04.2015. Цена свободная.

Отпечатано в типографии издательства «Молодой ученый», 420029, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25.

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».

#### **Международный редакционный совет:**

Айрян Заруи Геворковна, кандидат филологических наук, доцент (Армения)

Арошидзе Паата Леонидович, доктор экономических наук, ассоциированный профессор (Грузия)

Атаев Загир Вагитович, кандидат географических наук, профессор (Россия)

Бидова Бэла Бертовна, доктор юридических наук, доцент (Россия)

Борисов Вячеслав Викторович, доктор педагогических наук, профессор (Украина)

Велковска Гена Цветкова, доктор экономических наук, доцент (Болгария)

Гайич Тамара, доктор экономических наук (Сербия)

Данатаров Агахан, кандидат технических наук (Туркменистан)

Данилов Александр Максимович, доктор технических наук, профессор (Россия)

Демидов Алексей Александрович, доктор медицинских наук, профессор (Россия)

Досманбетова Зейнегуль Рамазановна, доктор философии (PhD) по филологическим наукам (Казахстан)

Ешиев Абдыракман Молдоалиевич, доктор медицинских наук, доцент, зав. отделением (Кыргызстан)

Жолдошев Сапарбай Тезекбаевич, доктор медицинских наук, профессор (Кыргызстан)

Игисинов Нурбек Сагинбекович, доктор медицинских наук, профессор (Казахстан)

Кадыров Кутлуг-Бек Бекмурадович, кандидат педагогических наук, заместитель директора (Узбекистан)

Кайгородов Иван Борисович, кандидат физико-математических наук (Бразилия)

Каленский Александр Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор (Россия)

Козырева Ольга Анатольевна, кандидат педагогических наук, доцент (Россия)

Колпак Евгений Петрович, доктор физико-математических наук, профессор (Россия)

Куташов Вячеслав Анатольевич, доктор медицинских наук, профессор (Россия)

Лю Цзюань, доктор филологических наук, профессор (Китай)

Малес Людмила Владимировна, доктор социологических наук, доцент (Украина)

Нагервадзе Марина Алиевна, доктор биологических наук, профессор (Грузия)

Нурмамедли Фазиль Алигусейн оглы, кандидат геолого-минералогических наук (Азербайджан)

Прокопьев Николай Яковлевич, доктор медицинских наук, профессор (Россия)

Прокофьева Марина Анатольевна, кандидат педагогических наук, доцент (Казахстан)

Рахматуллин Рафаэль Юсупович, доктор философских наук, профессор (Россия)

Ребезов Максим Борисович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Россия)

Сорока Юлия Георгиевна, доктор социологических наук, доцент (Украина)

Узаков Гулом Норбоевич, кандидат технических наук, доцент (Узбекистан)

Хоналиев Назарали Хоналиевич, доктор экономических наук, старший научный сотрудник (Таджикистан)

Хоссейни Амир, доктор филологических наук (Иран)

Шарипов Аскар Калиевич, доктор экономических наук, доцент (Казахстан)

**Руководитель редакционного отдела:** Кайнова Галина Анатольевна

**Ответственные редакторы:** Осянина Екатерина Игоревна, Вейса Людмила Николаевна

**Художник:** Шишков Евгений Анатольевич

**Верстка:** Бурьянов Павел Яковлевич, Голубцов Максим Владимирович

На обложке изображен Нильс Хенрик Давид Бор (1885–1962) — датский физик-теоретик и общественный деятель, лауреат Нобелевской премии по физике.

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.

## СОДЕРЖАНИЕ

### ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Макаров М. Д., Аль-Тибби В. Х.**  
Модернизация системы управления штангоуловителями троллейбуса..... 127
- Матвеевцев В. Е., Кафтанов П. Е., Манин О. А., Сигаилов М. В.**  
Анализ причин возникновения аварийных ситуаций при эксплуатации газоиспользующих установок и стратегия совершенствования системы производственного контроля ..... 131
- Межаков О. Г.**  
Цифровой импульсный понижающий преобразователь напряжения под управлением «АКАР» (часть 1)..... 133
- Муминов Р. Р., Фузайлов Ф. А.**  
Метод физико-химического анализа при расчете числа теоретических ступеней контакта ректификации ..... 139
- Мусаев С. С.**  
Оптимизация состава подошвенных композиций на основе тройного этиленпропиленового каучука и полипропилена..... 142
- Набиев М. Б.**  
Математическое описание агрегата с клиноремным вариатором ..... 146
- Набиев М. Б.**  
Определение усилий на управляющий механизм клиноремного вариатора при управляемом ведомым шкивом ..... 148
- Нарзуллаева А. М., Сабирова Н. Н., Садилова М. М.**  
Исследование возможности переработки нестандартного кожевенно-мехового сырья и отходов производств ..... 151
- Осипова Н. П.**  
Особенности логистики медицинских грузов... 154
- Пахомова Ю. В., Скрипникова С. Г., Сироткин А. О., Загребнев Р. С.**  
Электронная справочно-обучающая система поддержки научных разработок..... 157
- Поляков В. С.**  
Матричный способ представления алгоритма .... 159
- Постников И. Н.**  
Оценка влияния резервирования контроллера SDN на надежность сети ..... 164
- Рябко А. А., Лашкова Н. А.**  
Синтез 1–D структур ZnO для фотовольтаики нового поколения ..... 168
- Саматова Ш. Ю., Пардаев З. Э.**  
Источники загрязнения воздушного бассейна Мубарекской ТЭЦ ..... 173
- Саматова Ш. Ю., Хамраев Т. Я., Абдуллаева К. Т.**  
Перспективы развития геотермальной энергетики в Узбекистане ..... 175
- Самедов А. В., Вагаблы Э. Т.**  
Перспективы и проблемы развития авиационных газотурбинных двигателей нового поколения ... 177
- Сахно К. Н., До Тат Мань, Во Чунг Куанг**  
Исследование возможностей создания обобщенного метода использования параллельных участков и прямых труб для компенсации отклонений судовых трубопроводных трасс ..... 181
- Семенова Т. В., Герасимова С. А., Корончевская Е. В.**  
Требования к расстояниям между дождеприемниками ливневой канализации городских дорог и улиц..... 184
- Соломатин А. С., Мирзоян А. Г., Бандурина М. О.**  
Альтернативные источники электроэнергии ... 191
- Соломатин А. С., Мирзоян А. Г.**  
Использование электроизоляционных материалов в промышленности ..... 194
- Спасенков В. В.**  
Management of thermal processes of the liquid heating. Types and their features..... 197
- Стригун К. Ю.**  
Методы экспресс-контроля качества строительства автомобильных дорог. Часть первая. Уплотнение грунтов земляного полотна ..... 200
- Таишев С. Р.**  
Зависимость структурного совершенства гетероэпитаксиальных слоев из сложных оксидов от условий осаждения ..... 204

<b>Тарбеева Д. А.</b> Признание объекта недвижимым с помощью экспертизы капитальности зданий.....	206	<b>Чусов В. В.</b> Применение теории накапливания повреждений в условиях пластичности асфальтобетона для расчета дорожных покрытий по сопротивлению сдвигу .....	221
<b>Товбоев Б. Х., Юзбоев Р. А., Зафаров О. З., Косимова Д. П.</b> Проектирование цементнобетонных дорожных покрытий в условиях сухого и жаркого климата ...	208	<b>Шарипова М. Ф.</b> Интенсификация процесса сушки сельхозпродуктов комбинированным методом подвода энергии .....	227
<b>Тодоров А. Н., Дятлов М. Н., Брагин Д. Ю., Дена Э. С., Ислямгалиев А. И.</b> Применение макросов при проектировании несущих конструкций в SolidWorks .....	210	<b>Шевяков В. В.</b> Передача тепла через стенки бытовой печи ...	229
<b>Тухтаева З. Ш., Абдуллаева Д. Х.</b> Конструктивный анализ механизма челнока современных швейных машин.....	213	<b>Широков А. П., Подкорытова Н. А.</b> Автоматизация работы станции Находка-Восточная с целью решения проблемы простоя поездов. Предпосылки установки системы АСКИН .....	247
<b>Файзиев М. М., Курбонов Н. А., Каримов И. Н.</b> Стабильность, надёжность и качество электроэнергии в электрических сетях.....	215	<b>Юлдашев Ш. С., Карабаева М. У.</b> Прогнозирование уровня вибрации в грунтах, распространяющейся от тоннелей метрополитена круглого сечения .....	249
<b>Файзиев М. М., Мавланов Б. Б., Курбонов Н. А., Йулдашев С. Р., Мансуров М. М.</b> Тепловой износ изоляции силового трансформатора .....	219		



## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

### Модернизация системы управления штангоуловителями троллейбуса

Макаров Михаил Дмитриевич, магистрант;  
Аль-Тибби Висам Хусамович, кандидат технических наук, доцент  
Донской государственный технический университет

*В статье выполнен аналитический обзор штангоуловителей различных типов и систем управления ими. Рассмотрены шаги, необходимые для модернизации существующих систем управления штангоуловителями.*

**Ключевые слова:** механический штангоуловитель, электрический штангоуловитель, пневматический штангоуловитель, исключение ложных срабатываний.

**Введение.** В сфере городского электротранспорта, использующего контактную сеть, остро стоит проблема недопущения неконтролируемого перемещения токоприемных штанг (в случае их схода с троллеи контактной сети). Вышедшие из зацепления токоприемники, не имеющие устройств улавливания, представляют особую опасность для окружающих людей и транспорта. В разные годы конструкторами предлагалось несколько вариантов решения этой проблемы, но все эти решения имели серьезные технологические и конструктивные недостатки. [1].

Изготовитель троллейбусов выдал техническое задание на проектирование уловителя токоприемника. Согласно заданию, автоматическая система должна отслеживать наличие питающего троллейбус напряжения и угол наклона токоприемника. При пропадании напряжения питания и одновременном резком увеличении угла наклона токоприемника, он должен быть опущен в горизонтальное положение и в нем зафиксирован.

Основная сложность, которую необходимо будет решать в процессе проектирования системы — съём сигнала с контактной сети высокого напряжения. Во время движения токоприемника возникает большое количество искровых помех, которые придется отфильтровывать, как физическими, так и программными методами. Изменять алгоритм обработки данных в зависимости от скорости движения транспортного средства. [2].

Далее рассмотрим более подробно существующие конструкции токоприемников и штангоуловителей, их достоинства и недостатки.

**Токоприемник** — тяговый электрический аппарат, предназначенный для создания электрического контакта электрооборудования подвижного состава с контактной сетью. Токоприемники троллейбуса, как правило, имеют длину 6 м и массу порядка 50 кг, что определяет серьезный

момент инерции устройства и вызывает необходимость формировать профиль движения приводов управления (регулировать скорость перемещения токоприемников на пути к заданному положению) для недопущения неконтролируемых раскачиваний токоприемников.

Токоприемник часто называют штангой. Штанга — тип токоприемника, представляющий собой подпружиненный вверх металлический стержень, соединяющий троллейбус с контактной сетью. На конце штанги крепится «башмак» со вставкой из композиционных материалов (графит + медь), которая подставляется под провод контактной сети. Башмак, как и сама штанга, закреплен шарнирно. В ранних конструкциях вместо башмака использовался ролик, однако позже от него отказались из-за быстрого износа и плохого качества токосъема. У троллейбуса имеется 2 штанги для 2-х проводов контактной сети (левая штанга — положительный полюс, правая — отрицательный).

**Типы штангоуловителей.** Для предотвращения повреждения контактной сети при сходе штанги троллейбусы и трамваи оборудуются штангоуловителями. Они могут быть механическими, электрическими, пневматическими.

**Механический штангоуловитель.** В 1970х годах прошлого века начали появляться троллейбусы с механическими штангоуловителями. Например, на заводе Тролза (в городе Энгельс) в 1971 году появился троллейбус ЗиУ-9, чуть позже ЗиУ-682Б, которые были оборудованы доработанным механическим штангоуловителем. Механический штангоуловитель (см. Рис. 1,2) прост по конструкции: он представляет собой катушку, на которую намотан канат, соединенный с концом штанги. В катушке есть две пружины и спусковой механизм. Первая пружина создает натяжение канатов, предотвращая их провисание.

Вторая вступает в действие при срабатывании спускового механизма: при резком толчке, сигнализирующем о сходе

штанги, механизм отпускает вторую пружину, и она наматывает канат на катушку, опуская штангу на крышу.



Рис. 1. Механический штангоуловитель

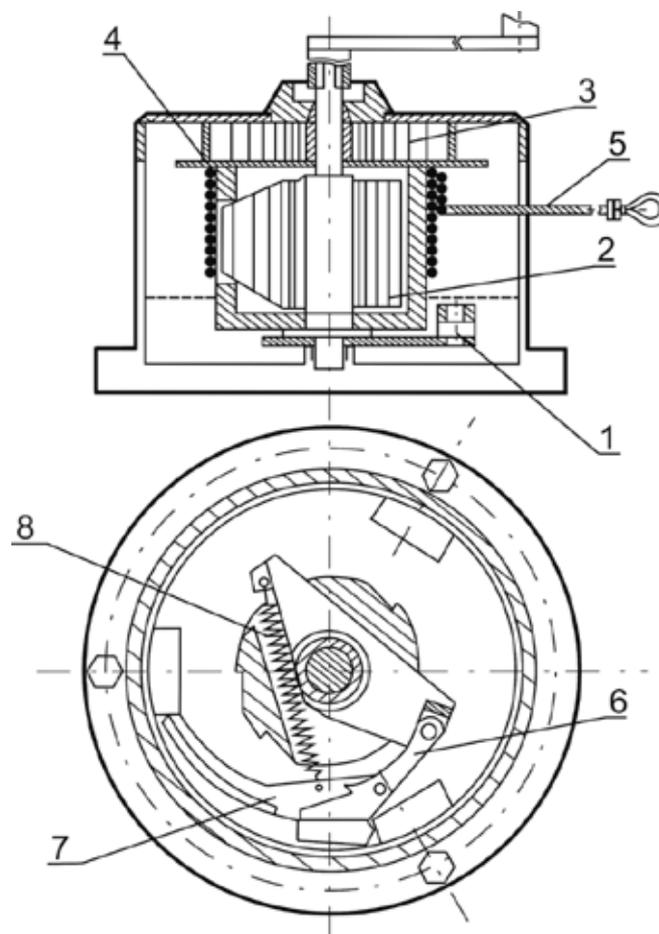


Рис. 2. Механический штангоуловитель: 1 — механизм защелки; 2 — пружина главная; 3 — пружина натяжная; 4 — намоточный барабан; 5 — канат; 6 — защелка главная; 7 — защелка вспомогательная; 8 — пружина

Принцип работы: при соскальзывании башмака токоприемника с контактного провода канат начнет резко вращать барабан с механизмом защелок. Под воздействием центробежной силы срабатывает вспомогательная отключающая защелка, свободный конец которой зафиксирован зубом храповика, а второй конец выдвинет главную защелку из зацепления с храповиком намоточного барабана. Таким образом, освобожденный от защелок намоточный барабан под воздействием пружины,

начнет вращаться, наматывая на себя канат и притягивая токоприемник к крыше троллейбуса. [3].

*Электрический штангоуловитель.* В электрическом штангоуловителе вместо второй пружины установлен электродвигатель. Это позволяет, во-первых, исключить ложные срабатывания на неровностях дороги, благодаря датчику напряжения, а во-вторых, опускать штанги дистанционно из кабины водителя. В связи с этим повышается безопасность троллейбуса: в случае обнару-

жения утечки тока на корпус можно дистанционно, не выходя из кабины (а значит, и, не подвергаясь риску попасть под напряжение) полностью обесточить троллейбус.

Устройство штангоуловителя с электромеханическим принципом работы штангоуловителя устанавливалось на троллейбусах ЗиУ (Тролза) различных модификаций, а также на машинах завода БЕЛКОММУНМАШ моделей 101, 201.

Главный минус электрического штангоуловителя в том, что необходимо получать большой момент двигателя на валу за короткий промежуток времени. Это потребует установки мощного двигателя с подводкой проводов большого сечения, либо требуется установка редуктора больших размеров. Электрический штангоуловитель. Номер патента 422214, МПК: В60L 5/30 опубликован 15.11.1984. [4,5].

*Пневматический штангоуловитель.* Пневматические штангоуловители устанавливаются на крыше у основания штанги. Как и электрические, они позволяют исключить ложные срабатывания и обеспечивают дистанционное опускание штанги. Кроме того, они выполняют функцию демпфера, предотвращая раскачивание контактного провода, а значит, повышая надежность токосъема и уменьшая вероятность схода штанг.

Компания «Транспортные системы» в 2014 году представила общественности первые образцы отечественных

троллейбусов (см. Рис. 3–5). В троллейбусе предполагается монитор управления машиной. Часть кнопок с приборной панели устанавливается на отдельный монитор с сенсорным управлением. В темное время суток монитор будет давать отсвет на лобовое стекло и способствовать утомлению водителя, поэтому необходимо тщательно проработать все вопросы, связанные с безопасностью движения во время тестовой эксплуатации новинки. Разработчиком программного обеспечения и электрооборудования для троллейбуса стала компания «Канопус» из Златоуста, до этого известная в основном по продукции для трамвайных вагонов. Большинство комплектующих на троллейбусе — отечественного производства, но есть и системы, выпущенные иностранными фирмами. В частности, привод штангоуловителей от итальянской Camozzi, позволяющий поднимать и опускать штанги токоприемника непосредственно из кабины водителя.

Описанная система, тем не менее, имеет некоторые недостатки. Недостатки заключаются в некорректных срабатываниях штангоуловителя: когда троллейбус движется с высокой скоростью, появляются большие электрические помехи, имитирующие пропадание контактной сети; резкие колебания высоты расположения троллеи в совокупности приводят к ложным включениям штангоуловителя.



Рис. 3. Пневматический штангоуловитель итальянской фирмы «Camozzi»



Рис. 4. Сенсорная панель водителя вместо привычных кнопок  
Журнал ПРОТРОТРАНСПОРТ страница 43 № 3 июнь 2015. [1].

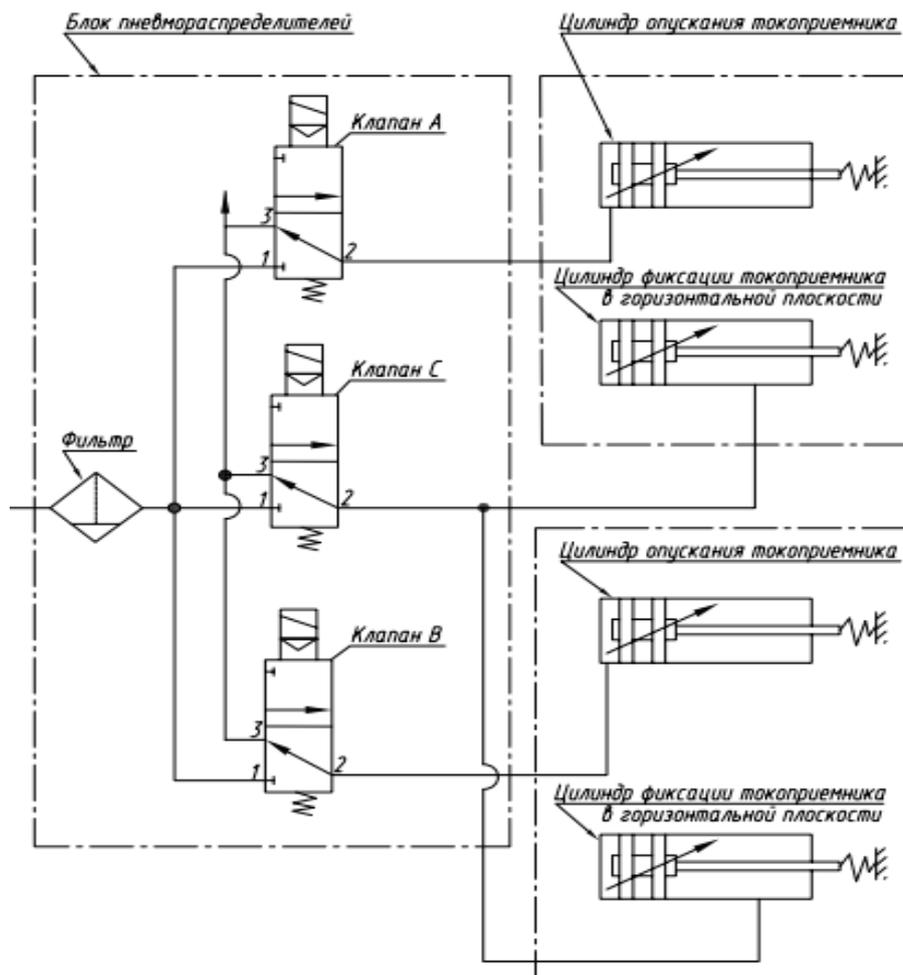


Рис. 5. Схема принципиальная пневматическая штангоуловителя

**Описание предполагаемого принципа работы устройства.** В момент схода штанги с контактной сети в систему управления поступают два сигнала: сигнал отсутствия напряжения 550В и сигнал с инерционного механизма, установленного на барабане механизма укладки шнура, или от концевого выключателя максимальной высоты штанги. В результате чего система управления подает напряжение на клапана 1 и 2 цилиндров вертикального перемещения, и вследствие этого штанги опускаются ниже контактной сети. Величина опускания устанавливается во времени, учитывая скорость перемещения штанг вверх и инерционность системы. После чего подается сигнал на клапан 3 цилиндра горизонтального перемещения. Штанги начинают двигаться в горизонтальной плоскости, одновременно продолжая вертикальное перемещение вниз, устанавливаются параллельно оси троллейбуса и фиксируются на определенной высоте. Для приведения системы штангоуловителя в исходное состояние необходимо обе штанги установить под лиру, при этом выключатели минимальной высоты штанг подают сигналы на блок контроллера, который отключает клапана 1, 2,

3. После возврата в исходное состояние штанги можно установить на контактный провод. Аналогично работает система при подаче сигнала принудительного съема штанг от переключателя, расположенного на пульте.

В разрабатываемой системе предполагается значительно снизить возможность ложного срабатывания системы штангоуловителя путем разработки программы сопоставляющей скорость движения троллейбуса и ускорения вертикального перемещения токоприемника. Разработка программных фильтров позволит избежать выдачи ложного сигнала о пропадании напряжения снимаемого с контактной сети.

**Выводы.** Разрабатываемая система позволяет:

1. Значительно снизить возможность ложного срабатывания системы штангоуловителя;
2. Избежать выдачи ложного сигнала о пропадании напряжения снимаемого с контактной сети;
3. Упростить процесс ввода в эксплуатацию;
4. Уменьшить величину подъема штанги токоприемника при ее сходе с контактной троллеи.

Литература:

1. По материалам сайта «ProТранспорт» [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://www.protransport.rf/>

2. По материалам сайта «Тролза» [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://www.trolza.ru/>
3. Н. В. Богдан, Ю. Е. Атаманов, Р. Р. Джагитян, В. П. Николаев, А. И. Сафонов, Троллейбусы, устройство и техническое обслуживание. Мн., 1997, 256 с.
4. По материалам сайта «База патентов СССР» [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://patents.su/>
5. По материалам сайта «Московский троллейбус» [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://trolley.ruz.net/>

## Анализ причин возникновения аварийных ситуаций при эксплуатации газоиспользующих установок и стратегия совершенствования системы производственного контроля

Матвеевцев Владимир Евгеньевич, ведущий инженер отдельного подразделения;  
 Кафтанов Павел Евгеньевич, ведущий инженер отдельного подразделения;  
 Манин Олег Александрович, инженер отдельного подразделения;  
 Сигаилов Михаил Владимирович, ведущий инженер отдельного подразделения  
 ООО «НОЦ ЭТ ТД» (г. Москва)

*В статье показан принцип применения ориентированного подхода при осуществлении производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности, основанный на анализе причин возникновения аварийных ситуаций при эксплуатации газоиспользующих установок. Определены ключевые направления снижения количества аварий данной категории.*

**Ключевые слова:** *газоиспользующая установка, причины аварий, ориентированный подход, производственный контроль.*

Производственный контроль является составной частью системы управления промышленной безопасностью и осуществляется эксплуатирующими организациями путем проведения комплекса мероприятий, направленных на обеспечение безопасного функционирования опасных производственных объектов (далее — объекты), а также на предупреждение аварий на этих объектах [1].

Как отмечалось ранее [2], ключевым фактором снижения уровня аварийности объектов газораспределения и газопотребления является совершенствование организации производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности с применением ориентированного подхода при его осуществлении. В данной статье показан принцип применения ориентированного подхода на основе анализа причин возникновения аварий при эксплуатации газоиспользующих установок.

Статистический анализ данных об аварийности [2–7] и опыт работ показывают, что одним из основных факторов, влияющих на возникновение аварийных ситуаций и несчастных случаев при эксплуатации газоиспользующих установок, является низкий уровень подготовки эксплуатирующего персонала и, как следствие, нарушение требований нормативно-технических документов, производственных инструкций, инструкций по ведению огневых и газоопасных работ. Приведенные в работе [8] результаты опроса персонала различных организаций, эксплуатирующих объекты газораспределения и газопотребления подтверждают указанное.

Так, согласно [8], большинство операторов котельных не могут четко сформулировать порядок подготовки котла к розжигу, следовательно, у них отсутствует понимание важности всех составных элементов данной процедуры. Кроме того, у эксплуатирующего персонала возникают проблемы с порядком проведения плановой остановки и ситуациями для немедленной остановки котла. Все это в целом указывает на серьезные пробелы в подготовке.

Таким образом, основная причина возникновения аварий на газоиспользующих установках — низкий уровень подготовки эксплуатирующего персонала. При этом очевидно, что только четкое знание и строгое выполнение Правил, инструкций и указаний по ведению режимов работы позволяет обеспечивать грамотную эксплуатацию оборудования, правильно ориентироваться и принимать решения в аварийных ситуациях. Сложность оборудования заставляет предъявлять высокие требования к персоналу. Невнимательность или ошибка при ведении топочного режима может привести к тяжелым последствиям. Обслуживающий персонал должен знать и учитывать опасные свойства горючих газов, их взрывоопасность.

Наиболее частыми причинами образования концентрации газозооной смеси могут быть:

- недостаточное вентилирование топки и газоходов;
- подача газа в горелку до внесения или образования запального факела;
- срыв пламени переносного запального устройства в топке при включении горелок;

- попытка розжига соседней горелки от работающей без применения запального факела;
- повторное включение горелок после срыва запального или основного факела без предварительной вентиляции топки и газоходов;
- неправильное или преждевременное открытие кранов перед горелками.

Причинами взрывов и загазованности при включении горелочных устройств являются:

- неисправность запальника или неправильная его установка;
- ошибки обслуживающего персонала в фиксации положения запорной газовой арматуры и ее неплотность;
- включение горелочных устройств при отключенной или неисправной автоматике контроля пламени;
- неправильная оценка показаний контрольно-измерительных приборов или их неисправность.

При эксплуатации котла причинами погасания факела, загазованности топки и взрыва от раскаленных поверхностей обмуровки может быть:

- кратковременное прекращение подачи газа;
- срыв пламени в результате резкого возрастания разрежения в топке;
- погасание факела в случаях неисправности регулятора давления газа или клапана «газ — воздух»;
- засорение газовыходных отверстий, остановка дымохода или вентилятора;
- действия персонала при регулировании тепловой мощности горелок.

В рамках осуществления производственного контроля, наиболее действительными мероприятиями, направлен-

ными на предупреждение аварий, возникающих вследствие указанных причин, являются [1]:

- организация подготовки и аттестации работников в области промышленной безопасности;
- внесение предложений об отстранении от работы на опасном производственном объекте лиц, не имеющих соответствующей квалификации, не прошедших своевременно подготовку и аттестацию по промышленной безопасности;
- участие в техническом расследовании причин аварий, инцидентов и несчастных случаев;
- проведение анализа причин возникновения аварий и инцидентов на опасных производственных объектах.

Необходим более глубокий подход при разработке производственных инструкций для обслуживающего персонала, применительно для данного типа используемого оборудования, с поэтапной проработкой каждого этапа в процессе профессионального обучения.

Допуск лиц, получивших теоретическую и практическую тренировку, к самостоятельной работе, должен осуществляться только после изучения оборудования, производственных и должностных инструкций, правил техники безопасности и пожарной безопасности, Правил Ростехнадзора, и под наблюдением и руководством более опытного работника. В течение срока дублирования (не менее 12 смен) обучаемый должен пройти одну-две противоаварийные тренировки.

Таким образом, в целях снижения количества аварийных ситуаций и несчастных случаев при эксплуатации газоиспользующих установок, стратегия совершенствования системы производственного контроля должна быть направлена на повышение эффективности указанных мероприятий.

#### Литература:

1. Правила организации и осуществления производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности на опасном производственном объекте: утв. постановлением Правительства Рос. Федерации от 10 марта 1999 г. № 263; в дейст. ред. от 30 июля 2014 г. — URL: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc; base=LAW; n=166740> (дата обращения: 01.12.2015 г.).
2. Шувакин, А. Е., Сигайлов М. В. Ориентированный подход при осуществлении производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности на объектах газораспределения и газопотребления // Молодой ученый. — 2015. — № 22. — с. 225–228.
3. Годовой отчет о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2010 году. — URL: [http://gosnadzor.ru/public/annual\\_reports/Otchet\\_2010.pdf](http://gosnadzor.ru/public/annual_reports/Otchet_2010.pdf) (дата обращения: 01.12.2015 г.).
4. Годовой отчет о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2011 году. — URL: <http://gosnadzor.ru/activity/control/folder/Годовой%20отчет%202011.pdf> (дата обращения: 01.12.2015 г.).
5. Годовой отчет о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2012 году. — URL: [http://gosnadzor.ru/public/annual\\_reports/Отчет%202012.pdf](http://gosnadzor.ru/public/annual_reports/Отчет%202012.pdf) (дата обращения: 01.12.2015 г.).
6. Годовой отчет о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2013 году. — URL: [http://gosnadzor.ru/public/annual\\_reports/Отчет%202013.pdf](http://gosnadzor.ru/public/annual_reports/Отчет%202013.pdf) (дата обращения: 01.12.2015 г.).
7. Годовой отчет о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2014 году. — URL: [http://gosnadzor.ru/public/annual\\_reports/ГД%202014.pdf](http://gosnadzor.ru/public/annual_reports/ГД%202014.pdf) (дата обращения: 01.12.2015 г.).
8. Николаенко, А. В. Вопросы профессиональной подготовки в контексте аварийности на опасных производственных объектах // Теория и практика общественного развития. — 2014. — № 21. — с. 265–268.

## Цифровой импульсный понижающий преобразователь напряжения под управлением «АКАР» (часть 1)

Межаков Олег Геннадьевич, магистрант  
Южный федеральный университет

*Рассмотрение вопросов разработки цифрового понижающего преобразователя под управлением нелинейного регулятора, синтезированного методом аналитического конструирования агрегированных регуляторов (АКАР).*

**Ключевые слова:** метод аналитического конструирования агрегированных регуляторов (АКАР), нелинейный регулятор, цифровой понижающий преобразователь.

Никто из нас не задумывается насколько нелинейный вокруг нас окружающий мир и процессы, которые происходят в нем. Известная фраза Гераклита: «На входящих в одну и ту же самую реку набегают все новые и новые воды...», прозвучавшая около двух с половиной тысячелетий назад, указывает на переменчивость окружающего мира. Современная теория динамических систем является наследницей традиций классического естествознания, в ее основе лежит опыт теоретических и экспериментальных исследований нескольких столетий, среди ее основателей — великие ученые прошлого — Ньютон, Лагранж, Лаплас, Гамильтон, Якоби, Эйлер, Пуанкаре и многие другие. Эпоха научно-технического прогресса поставила перед динамикой ряд новых задач, не вписывающихся в рамки классических подходов и существующей научной парадигмы. Назрело концептуальное перевооружение динамики, предполагающее введение новых понятий и разработку принципиально новых математических методов.

Такая «новая» динамика начала формироваться в прошлом столетии. Ее отличительной особенностью стало изучение так называемых «нелинейных эффектов», возникающих при использовании нелинейных уравнений движения. Именно по этой причине «новую» динамику принято называть нелинейной динамикой. И именно эту «новую» динамику многие специалисты не спешат внедрять в разрабатываемые системы управления. Применяя методы линеаризации нелинейных динамических систем с последующим управлением с помощью линейных регуляторов. На это есть ряд причин.

Публикации, научные книги практического применения нелинейных регуляторов для различных систем практически отсутствуют. В большинстве научно-исследовательских работах можно найти только математическое моделирование расчетов нелинейного регулятора. Естественно это отталкивает разработчиков и замедляет процесс вытеснения традиционных линейных регуляторов. Благодаря таким программным продуктам как «Matlab», сложность проектирования ПИД-регулятора для автоматических систем управления минимизируется. На стадии разработки системы управления объектом с помощью «Matlab» мы можем выявить ошибки. Встроенный в «Matlab» генератор кода для ПЛИС и ряда микроконтроллеров ведущих производителей таких как «Texas Instrument», «STMicroelectronics», позволяет избавить разработчика от рутинной работы переноса программного кода. Применение блоков нечеткого регулятора, автоматической настройки ПИД-регулятора, позволяет разработчикам охватить все области автоматического управления.

Применение линейного регулятора в нелинейных системах приводит к ограничению области устойчивости и не возможности подавить внешние неопределенные возмущающие воздействия. В целях расширения области устойчивости применяются ПИД-регуляторы с автоподстройкой коэффициентов. В различных режимах работы объекта может происходить переключением между ПИ, ПД и ПИД регулятором. Расширение области устойчивости зависит полностью от разработчика. Если отклонение параметров системы от расчетных будет увеличиваться, или система перейдет в непредусмотренный режим работы, линейный регулятор неизбежно дестабилизирует систему, так как разработчик это не предусмотрел. Прорывом в данных проблемах стало применение нечеткого регулятора. Но нечеткая логика программируется разработчиком и по-прежнему ей неизвестна структура управляемой системы. Отличительная характеристика нелинейного регулятора заключается в наличии всех параметров управляемой системы. Это позволяет ему несмотря на изменения состояния системы вывести управляемый объект к заданным параметрам.

В серии статей, ориентированных на инженеров-разработчиков, будет показан синтез нелинейного регулятора методом аналитического конструирования агрегированных регуляторов (АКАР) для импульсного понижающего DC-DC преобразователя напряжения с последующей его реализацией на микроконтроллере. Будет проведен сравнительный анализ достоинств и недостатков синтеза и переходных процессов в сравнении с ПИД-регулятором.

### Метод «АКАР»

Метод аналитического конструирования агрегированных регуляторов (АКАР) базируется на принципе «расширения — сжатия» фазового пространства. Целью данного регулятора заключается в переходе от непредсказуемого по-

ведения системы по алгоритму диссипативной структуры к направленному движению вдоль желаемых инвариантных многообразий — аттракторов, к которым подстраиваются все другие переменные динамической системы. При таком подходе цель — аттрактор — определяет сущность процесса, а его истинное понимание состоит в самоуправлении и направленной самоорганизации в соответствии с поставленной целью. На языке теории динамических систем это означает перевод соответствующей системы в определенное конечное состояние независимо от ее прежнего состояния.

Из выше сказанного следует, что полученное управляющее воздействие в результате синтеза регулятора, должно при любых изменениях режимов работы стабилизировать выходное напряжение понижающего преобразователя. У инженеров сразу же возникает справедливый вопрос, как быть с режимом прерывистых токов. Данный режим работы является проблемой, над решением которой работают ведущие производители ШИМ-контроллеров. Уменьшение тока потребления холостого хода особенно актуально в аккумуляторных системах. Не менее важен переходной процесс от минимальной токовой нагрузки к максимальной и обратно. Все эти проблемы будут подробно описаны.

Рассмотрим синтез регулятора понижающего преобразователя в режиме непрерывных токов и постоянной частоты работы силового ключа.

Синтез регулятора методом АКАР нельзя провести без динамической системы уравнений. Это вводит определенные трудности, чем сложнее управляемый объект, тем больше дифференциальных уравнений необходимо составить. Математическую модель понижающего преобразователя в соответствии с законами Кирхгофа можно представить:

$$\begin{cases} \frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L}(U_L - i_L * (R_L + R_{on}) - U_{out}) \\ \frac{dU_C}{dt} = \frac{1}{C}(i_L - i_{out}) \\ U_{out} = U_C + R_C * (i_L - i_{out}) \\ U_L = (E_{in} - U_{out}) * F - U_{out} * \bar{F} * sign(i_L) \end{cases} \quad (1)$$

Система (1) учитывает эквивалентное последовательное сопротивление (ЭПС) выходного конденсатора « $R_c$ », сопротивление силового ключа « $R_{on}$ », если применяется полевой транзистор, частоту работу ШИМ-генератора. То есть система (1) составлена под конкретное схемное решение. В качестве силового ключа выступает полевой транзистор, задана частота работы и т.д. Представим ситуацию, где применение в электрической схеме биполярного транзистора является более оправданным, чем установка полевого транзистора. Необходимо составлять «новую» математическую модель системы. Синтезировать закон управления для всех схемных решений, весьма затруднительно. Решением должно стать единое управляющее воздействие, позволяющее менять силовые ключи, драйверы силовых ключей.

Произведем упрощение математической модели. Частота ШИМ-сигнала постоянна, то есть во время работы преобразователя она константа. Транзистор представим идеальным ключом, это позволит применять как полевой, так и биполярный транзистор. И в заключении упрощения не будем учитывать ЭПС конденсатора.

Упрощение математической модели усложняет задачу для «АКАР», регулятор не имеет всех данных о управляемой системе это противоречит основным принципам синтеза методом АКАР согласно [1]. После упрощения электрической схемы (рисунок 1) понижающего преобразователя можно записать усредненную математическая модель в форме Коши, полученную в работе [2]:

$$\begin{cases} \frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L}(E_{in} * u - i_L * r - U_{out}) \\ \frac{dU_{out}}{dt} = \frac{1}{C}(i_L - i_{out}) \end{cases} \quad (2)$$

Где:  $E_{in}$  — входное напряжение;  $u$  — рабочий цикл (управляющее воздействие);  $i_L$  — ток индуктивности;  $r$  — сопротивление обмотки индуктивности;  $U_{out}$  — выходное напряжение;  $C$  — выходной конденсатор;  $i_{out}$  — ток нагрузки.

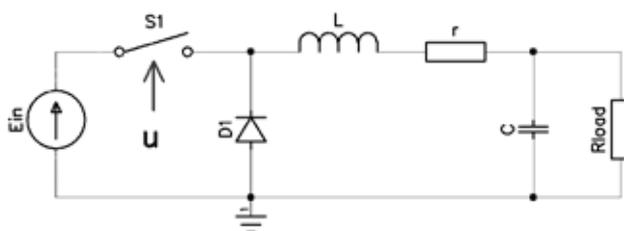


Рис. 1

Поясним цель упрощения системы дифференциальных уравнений. В результате в системе (2) остаются элементы, которые независимо от схемного решения, принятого разработчиком, всегда будут в понижающем преобразователе. Данные элементы можно назвать основными, ввиду их влияния на динамику и принцип работы преобразователя. С точки зрения синтеза методом АКАР это не правильное решение, так как чем полнее записана модель, тем точнее управляющее воздействие. С инженерной точки зрения нами будет получено управляющее воздействие, позволяющее менять электрическую схему под различные задачи не производя синтез регулятора заново.

Синтез методом АКАР осуществляется путем ввода желаемой переменной, к значению которой переводится наша система. Желаемая переменная это заданное разработчиком напряжение на выходе « $U_c$ ». Метод АКАР должен перевести нашу систему, импульсного понижающего преобразователя, из любого состояния к аттрактору « $U_c = U_{out}$ » по средствам расчета управляющего воздействия. Ввод желаемой переменной осуществляется различными способами и методами. Мы применим метод интегральной адаптации. Для этого расширим исходную динамическую систему (1) дифференциальным уравнением:

$$\begin{cases} \frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L}(E_{in} * u - i_L * r - U_{out}) \\ \frac{dU_{out}}{dt} = \frac{1}{C}(i_L - i_{out}) - z \\ \frac{dz}{dt} = \eta(U_c - U_{out}) \end{cases} \quad (3)$$

Принцип работы метода интегральной адаптации заключается в нахождение величины ошибки между заданным и выходным напряжением. Изменяя значения переменной « $\eta$ », меняется динамика расчета величины ошибки. Так как выходное напряжение определяется во втором уравнении системы (3), необходимо вычистить « $z$ » от всей правой части уравнения. Это увеличит рассогласование системы, пока ошибка « $U_c - U_{out}$ » не станет равной нулю. Можно заметить некоторую идентичность метода интегральной адаптации с принципом работы интегральной составляющей ПИД-регулятора.

Переходим к синтезу управляющего воздействия, так как нам необходимо стабилизировать « $\frac{dU_{out}}{dt}$ » находящееся во втором уравнение, вводим первую макропеременную:

$$\Psi_1 = i_L - \varphi(U_{out}, z) \quad (4)$$

Где  $\varphi(U_{out}, z)$  — внутреннее управление

Применяя основное функциональное уравнение (ОФУ):

$$T\dot{\Psi}_1 + \alpha_1 \Psi_1 = 0 \quad (5)$$

Подставляя (4) в (5) находим внутреннее управление:

$$\begin{aligned} u = & - \left( -CR_{load} U_{out} + CR_{load} r i_L - \left( \frac{d\varphi(U_{out}, z)}{dU_{out}} \right) L i_L R + \left( \frac{d\varphi(U_{out}, z)}{dU_{out}} \right) L U_{out} + \right. \\ & \left. \left( \frac{d\varphi(U_{out}, z)}{dz} \right) L z C R_{load} - \left( \frac{d\varphi(U_{out}, z)}{dU_{out}} \right) \eta L C R_{load} U_c + \left( \frac{d\varphi(U_{out}, z)}{dU_{out}} \right) \eta L C R_{load} U_{out} + \alpha_1 L C R_{load} - \right. \\ & \left. L C R_{load} \varphi(U_{out}, z) \right) / (E_{in} C R_{load}) \end{aligned} \quad (6)$$

В результате попадания системы в окрестность многообразия  $\Psi_1 = 0$  (4) в системе происходит динамическая декомпозиция и поведение системы будет описываться системой дифференциальных уравнений второго порядка:

$$\begin{cases} \frac{dU_{out}}{dt} = \frac{\varphi(U_{out}, z) - \frac{U_{out}}{R}}{C} - z \\ \frac{dz}{dt} = \eta(U_c - U_{out}) \end{cases} \quad (7)$$

Вводим вторую макропеременную для системы (7):

$$\Psi_2 = U_{out} + \gamma z \quad (8)$$

Применяем ОФУ для нахождения  $\varphi_{(U_{out}, z)}$ :

$$T\dot{\Psi}_2 + \alpha_2\Psi_2 = 0 \tag{9}$$

Полученный результат (9) подставляем в (6):

$$u = -\frac{CL\eta}{E_{in}}(\gamma(\alpha_1 + \alpha_2) - 1)(U_c - U_{out}) - \frac{L - R_{load}C(L(\alpha_1 + \gamma\eta + \alpha_2 - \alpha_1\alpha_2 R_{load}C) + R_{load})}{R_{load}^2 CE_{in}}U_{out} - \frac{R_{load}C(r + L(\alpha_1 + \alpha_2 - \gamma\eta))}{R_{load}CE_{in}}i_L - \eta L \frac{1 + R_{load}C(\gamma\eta + \alpha_1\alpha_2\gamma - \alpha_1 - \alpha_2)}{R_{load}E_{in}}z \tag{10}$$

Синтезированное управляющее воздействие обеспечить перевод динамической системы (1) из произвольного состояния вначале в окрестность многообразия  $z=0$ , а затем в состояние, определяемое требуемым значением выходного напряжения « $U_c=U_{out}$ ». Коэффициенты « $\alpha_1, \alpha_2, \gamma, \eta$ » настраиваются таким образом, чтобы получить желаемый переходной процесс. Изменяя значение коэффициентов регулируется время выхода на заданное напряжение, выброс напряжения при изменении нагрузки, величина перерегулирования.

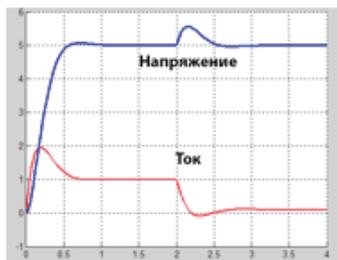
**Моделирование**

Проведем моделирование динамической системы (1) в «Matlab m-file» изменяя ступенчато ток нагрузки, рисунок 2. Значения элементов схемы рассчитаны в работе [3]:

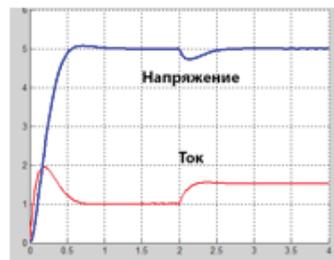
$$E_{in,max} = 36В; U_{out} = 5В; f_{sw} = 100кГц; \Delta U = 0.1В; U_{ripple} = 0.04В;$$

Для тока нагрузки до 1,5А:  $L = 710\mu\text{Гн}; C = 1000\mu\text{Ф}; r = 0.0247 \text{ Ом}$

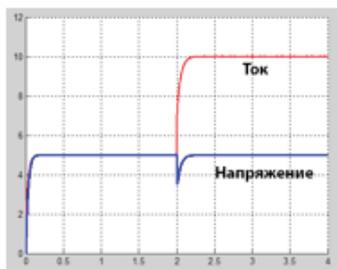
Для тока нагрузки до 10А:  $L = 71\mu\text{Гн}; C = 1000\mu\text{Ф}; r = 0.0247 \text{ Ом}$



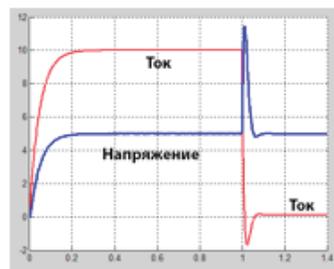
Ток нагрузки от 1А до 0.1А



Ток нагрузки от 1А до 1.5А



Ток нагрузки от 5А до 10А



Ток нагрузки от 10А до 0.1А



График выходного напряжения ПИД-регулятора при токе нагрузки от 1А до 0,1А

Рис. 2. Графики изменения выходного напряжения в зависимости от тока нагрузки

Анализируя графики рисунка 2 можно отметить преимущество метода «АКАР» в сравнении с ПИД-регулятором это отсутствие колебаний в переходном процессе. Недостатком «АКАР» является его реализации в «железе». Формулу (10) собрать на радиоэлементах весьма проблемно, еще сложнее провести настройку коэффициентов « $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\gamma$ ,  $\eta$ ». Решение одно, применение цифрового «ШИМ-контроллера» на основе микроконтроллера, процессора или ПЛИС. Таким образом метод «АКАР» в области преобразователей напряжения может применяться только в цифровом виде.

Проведем моделирование в «Matlab Simulink» электрической схемы понижающего преобразователя с управляющим воздействием полученного из усредненной математической модели (1). Примем следующие параметры радиоэлементов, которые не учитывались в системе дифференциальных уравнений (1), рисунок 3:

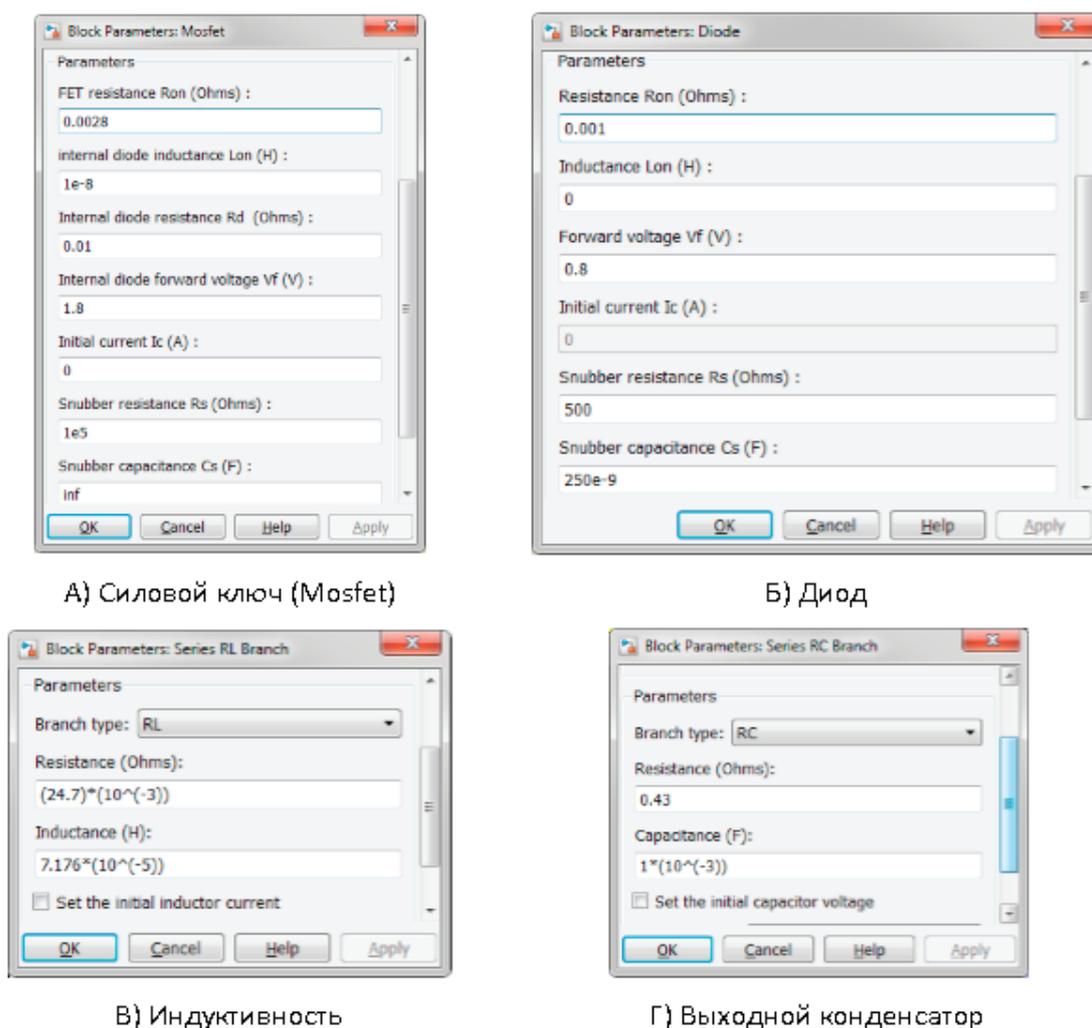


Рис. 3. Параметры радиоэлементов

Электрическая схема преобразователя в «Matlab Simulink» представлена на рисунке 4. Блок «PWM» формирует ШИМ-сигнал с частотой 100кГц. Расчет управляющего воздействия, интегральной адаптации «z» производится в блоке «АКАР control action» («MATLAB Function»). Нагрузка «Load» константа 0,5W. Входное напряжение «DC Voltage Source» константа +30V. Выходное напряжение « $U_c$ » константа +5V. Коэффициенты управляющего воздействия « $\alpha_1=500$ ,  $\alpha_2=1000$ ,  $\gamma=1000$ ,  $\eta=5$ »

Результаты моделирования представлены на рисунке 5. Осциллограммы выходного напряжения и тока нагрузки позволяют сделать вывод, что «АКАР» полностью справился с поставленной задачей, не имея данных о применяемом типе силового ключа, драйвера силового ключа и ЭПС конденсатора.

### Заключение

В первой части статьи «Цифровой импульсный понижающий преобразователь напряжения под управлением «АКАР» мы рассмотрели синтез регулятора понижающего DC-DC преобразователя методом аналитического констру-

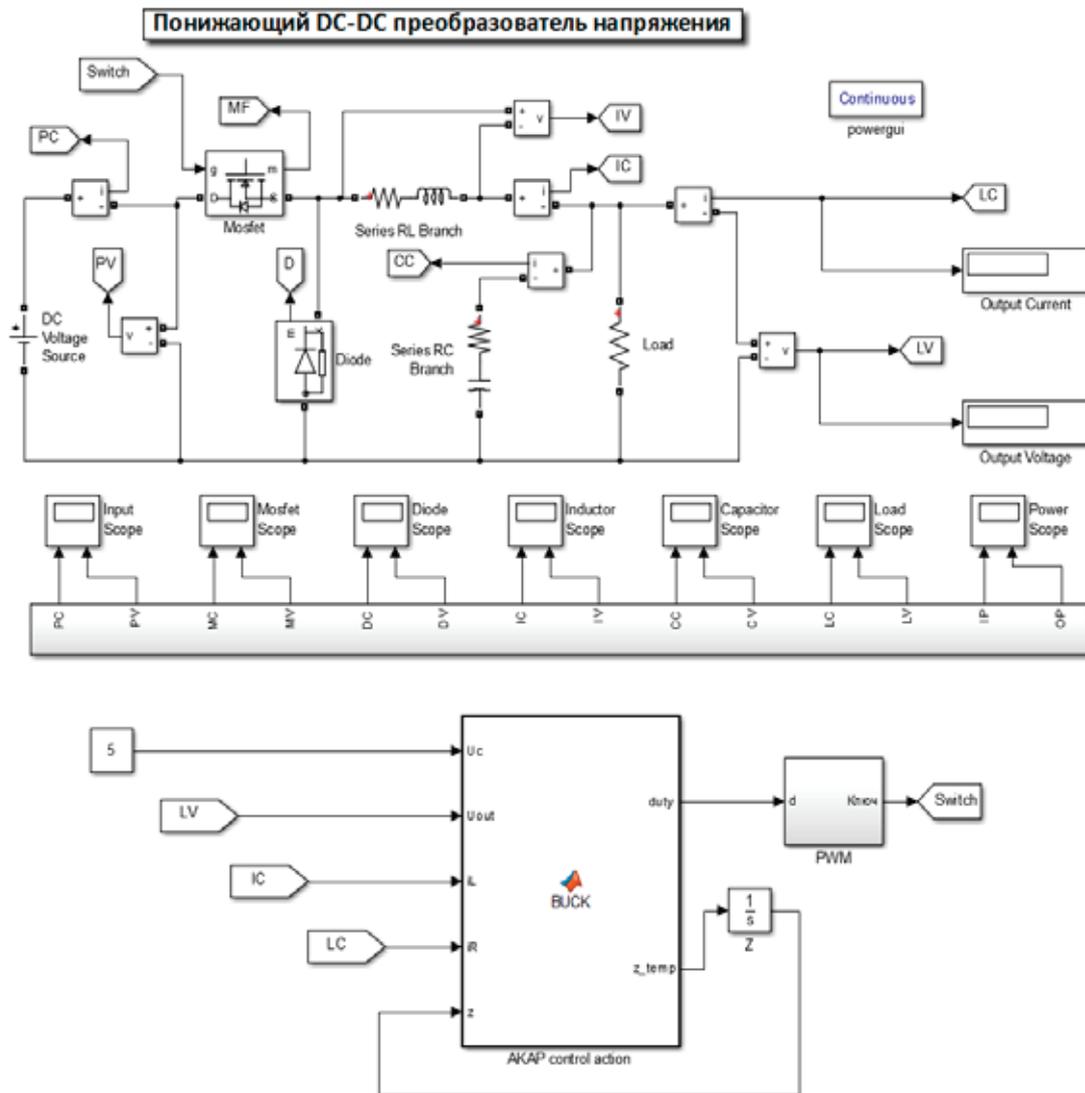


Рис. 4. Электрическая схема понижающего преобразователя под управлением «АКАР» в «Matlab Simulink»

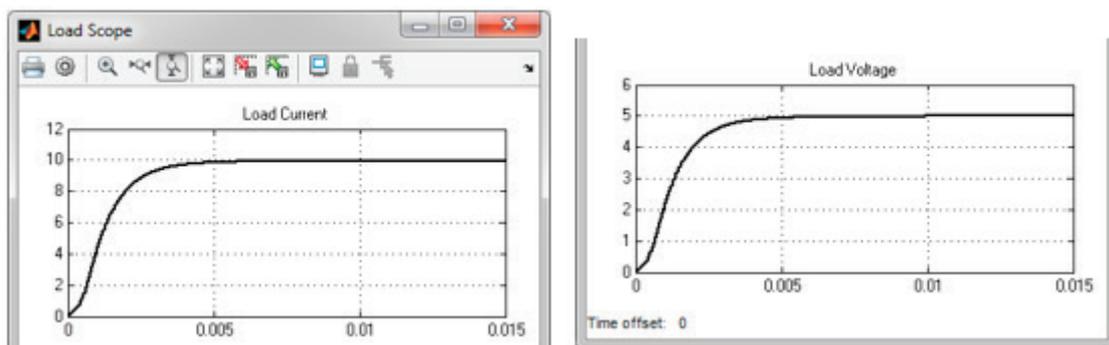


Рис. 5. Осциллограммы тока нагрузки и выходного напряжения

ирования агрегированных регуляторов. Доказана целесообразность применения упрощенной математической модели при синтезе регулятора. Это позволило получить управляющее воздействие относительно постоянных радиоэлементов, применяемых при разработке понижающего преобразователя. Таким образом допускаются замены в электрической схеме, без составления «новой» математической модели, следующих элементов:

- силовой ключ (биполярный, полевой N/P-канальный транзистор),
- драйвер силового ключа,
- диод,

– входной, выходной конденсаторы.

Разработчику необходимо настроить коэффициенты « $\alpha_1, \alpha_2, \gamma, \eta$ » в соответствие с током нагрузки, выходным напряжением и желаемым переходным процессом.

Моделирование математической модели показало отсутствие колебаний в переходном процессе, в отличии от ПИД-регулятора.

В следующей части подробно рассмотрим переходные процессы при изменении нагрузки и как ими управлять.

Литература:

1. А. А. Колесников «Современная прикладная теория управления» 1, 2, 3 том, 2000 г.
2. Межаков, О. Г. Математическая модель понижающего преобразователя напряжения // Молодой ученый. — Март 2015 — с. 171–176.
3. Межаков, О. Г., Скляр А. А. ПИД-регулятор понижающего преобразователя напряжения // Молодой ученый. — Май 2015 — с. 257–260.
4. Marian, K. Kazimierczuk «Pulse-width modulated dc–dc power converters», 2008 г.
5. R. W. Erickson «Fundamentals of Power Electronics», 1997 г.
6. В. С. Щербаков, А. А. Руппель, И. В. Лазута, С. А. Милюшенко «Автоматические системы управления в среде Matlab-Simulink», 2010 г.
7. И. В. Черных. «Simulink Инструмент моделирования динамических систем».

## Метод физико-химического анализа при расчете числа теоретических ступеней контакта ректификации

Муминов Рахим Рустамович, ассистент  
Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

Фузайлов Фарход Ашрапович  
Бухарский политехнический колледж (Узбекистан)

*Целью настоящего доклада является довести до молодых исследователей основы физико-химического анализа (ФХА) применительно к некоторым проблемам процессов нефтепереработки.*

*Для интересующих углубленного изучения индивидуально предлагается информация о применении метода ФХА к процессам нефтепереработке с приложением математического аппарата.*

Физико-химический анализ с большим успехом стали широко применять, начиная с конца XIX в. к различным многокомпонентным системам.

Метод физико-химического анализа заключается в следующем.

Измеряется какое-нибудь физическое свойство раствора (системы) или расплава (плотность, вязкость, температуру плавления, давлением пара, и т.д.), последовательно изменяя состав, получают таблицу числовых данных измеряемого свойства. Изучают геометрические особенности диаграмм состав-свойство для растворов различных компонентов и ищут зависимость между геометрическими особенностями такой диаграммы и природой раствора. Любая особенность геометрической формы кривой состав-свойство представляет собой отображение какой-то определенной черты во взаимодействии между компонентами раствора. Наоборот, каждая деталь взаимодействия между компонентами раствора находит отражение на диаграмме состав-свойство. Таким

образом, главным вопросом физико-химического анализа является выяснение связи между геометрической формой диаграмм состав-свойство и установление числа, химической природы и границы существования фаз, образующихся при взаимодействии компонентов раствора или расплавов. Большая заслуга в развитии физико-химического анализа [1] принадлежит Н. С. Курнакову и его школе, представителем которых является и настоящий докладчик.

Перегонка (или дистилляция) (однократная), ректификация (многократная) являющаяся более сложной разновидностью перегонки, базируются на использование законов термодинамического равновесия растворов. Ректификация является одним из массообменных процессов, разделения смесей, которое основано на разности температур кипения компонентов смеси. При этом процессе компонент, имеющий более низкую температуру кипения (НКК), переходит в пар и удаляется из жидкой смеси в первую очередь. Компонент с более высокой тем-

пературой кипения (ВКК) остается в жидком состоянии и лишь частично испаряется.

В массообменных процессах контактирующие фазы обмениваются веществом и энергией. При этом обе фазы (жидкое и газообразное) стремятся достичь состояния равновесия, при котором скорости перехода вещества из одной фазы (жидкого) в другую (газообразного) становятся одинаковыми. Составы находящихся в равновесии фаз будут существовать неизменными.

Фазовые равновесия определяются соотношением термодинамических параметров (концентрации, температуры, давление и др.) и описываются основным уравнением, предложенным Р. Клазиусом (а до него — Б. Клайпероном), и формулой, выведенной в 1876 г. Дж. Гиббсом и получившей название правила фаз. Эта формула связывает число так называемых термодинамических степеней свободы ( $L$ ) (принято более короткий термин «степень свободы»), число независимых компонентов ( $n$ ) и число фаз ( $N$ ) системы. Фазой называется однородная часть системы, обладающая одинаковыми интенсивными свойствами и отделенная от других частей системы поверхностью раздела. Фаза может быть твердая, жидкая и газообразная (парообразная). Твердых и жидких фаз в системе может быть несколько. Так, при разделении нефти перегонкой или ректификацией система состоит из двух фаз — паровой и жидкой. При этом каждая фаза может включать десятки (узкие бензиновые фракции, газообразные продукты) и сотни (исходная нефть, мазут и др.) компонентов.

Для равновесных систем математическое выражение правила фаз записывается следующим образом:

$$L = n + 2 - N \quad (1)$$

Где:  $L$  — число степеней свободы системы;  $n$  — число компонентов;  $N$  — число фаз.

Число степеней свободы системы — это число независимых переменных (температура, давление, концентрации компонентов и др.), которые можно произвольно (в определенных пределах) изменять, не изменяя равновесия системы (числа и свойств фаз). Из формулы (1) следует, что в равновесной системе ( $L = 0$ ) число сосуществующих фаз не может быть более  $n + 2$ . Для однокомпонентной двухфазной системы (например, углеводород и его пар,)  $L = 1 + 2 - 2 = 1$ . Поэтому достаточно задать температуру или давление, чтобы смесь пришла в состояние равновесия (насыщенный пар). Если в такой системе будут присутствовать также кристаллы ( $N = 3$ ), то  $L = 0$ , и такая система может существовать только при определенном давлении (температуре). Для двухкомпонентной двухфазной системы  $L = 2 + 2 - 2 = 2$ . В этом случае необходимо задать два характеризующих систему параметра из трех (давление, температуру, концентрацию компонента), чтобы система стала равновесной. В соответствии с правилом фаз для двухфазных систем ( $L = n + 2 - 2 = 2$ )  $L = n$ , т.е. число степеней свободы системы равно числу компонентов. Поэтому для многокомпонентных систем число степеней свободы может быть весьма велико.

Если система состоит из двух взаимно нерастворимых жидкостей (например, воды и толуола), то  $L = 2 + 2 - 3 = 1$ . Здесь  $N = 3$ , так как имеются две жидкие фазы и одна паровая. В этом случае заданное давление определяет температуру и концентрацию в паровой фазе.

Таким образом, правило фаз позволяет выявить, находится ли система в равновесии ( $L = 0$ ) или нет ( $L > 1$ ).

При фазовых переходах происходит выравнивание химических потенциалов, например, если химических потенциал компонента в растворе выше, чем его химических потенциал в паре, то будет происходить испарение этого компонента из жидкого раствора, пока химических потенциалы не сравняются. В результате пар станет насыщенным, и в системе установится равновесие.

В системе, состоящей из трех индивидуальных веществ  $\text{CaO}$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CO}_2$  число независимых компонентов равно не трем, а только двум (безразлично, каким именно). В самом деле, выбираем в качестве независимых компонентов  $\text{CaO}$  и  $\text{CO}_2$  тогда первая фаза образована из  $\text{CaO}$ , вторая — из  $\text{CaO}$  и  $\text{CO}_2$ , которые в результате реакции дают  $\text{CaCO}_3$ , третья фаза —  $\text{CO}_2$  в этом примере:  $n = 3 - 1 = 2$ ;

Для получения продуктов желаемой степени чистоты с высокими выходами служит процесс ректификации. Как следует из теории массообменных процессов, при взаимодействии неравновесных паровой и жидкой фаз в результате процессов масса и теплообмена система придет в состояние равновесия. При этом присутствующие в фазах компоненты будут перераспределяться между ними. В результате вновь образованные паровая и жидкая фазы будут отличаться по составу от вступивших в контакт паров и жидкости. Пары обогатятся НКК, а жидкость ВКК. При данном давлении для осуществления этого процесса температура вступающих в контакт паров должна быть выше, чем жидкости. После контакта температуры обеих фаз выравниваются.

Осуществляя многократно контактирование соответствующих неравновесных потоков паровой и жидкой фаз, можно изменить их составы в желаемой степени. В этом и состоит сущность процесса ректификации. Процесс ректификации проводят в специальных аппаратах — ректификационных колоннах, заполненных контактными устройствами (тарелками, насадками и т.п.) [2].

При расчетах процесса ректификации обычно пользуются понятием теоретической тарелки.

Чтобы обеспечить заданное разделение смеси в колонне при определенном флегмовом и паровом числах, необходимо иметь соответствующее число тарелок, которое можно определить графическим методом с использованием диаграммы  $x - y$ . Для этого необходимо иметь кривую равновесия фаз и рабочие линии для обеих частей колонны (рис. 1 и 2).

Пусть требуется получить ректификат с содержанием НКК  $y_D$ . Рабочая линия ВD верхней части колонны проходит через точку D с координатами  $x=y=y_D$ . Пары ректификата состава  $y_D$  были получены после прохождения

паров, поднимающихся с верхней тарелки колонны, через парциальный конденсатор, где часть паров сконденсировалась, образовав поток флегмы  $g$ . Состав этой жидкости  $x^*D$  находится в равновесии с парами ректификата и поэтому может быть найден при пересечении ординаты  $yD$  с кривой равновесия (точка 1). Абсцисса точки 1 равна  $x^*D$ . Поступившая на верхнюю тарелку концентраци-

онной части колонны, имеющую номер НК, жидкость состава  $x^*D$  будет контактировать с паром, поднимающимся с нижележащей тарелки. В результате образуются потоки паров состава  $y_{НК}$  и жидкости состава  $x_{НК}$ . Составы  $x^*D$  и  $y_{НК}$  относятся к встречным потокам и поэтому будут связаны уравнением рабочей линии. На рис. 1 им отвечает точка 2. Ордината точки 2 определяет состав паров  $y_{НК}$

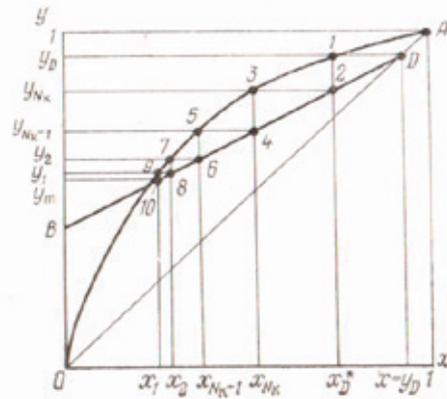


Рис. 1. Графический расчет числа тарелок в концентрационной части колонны

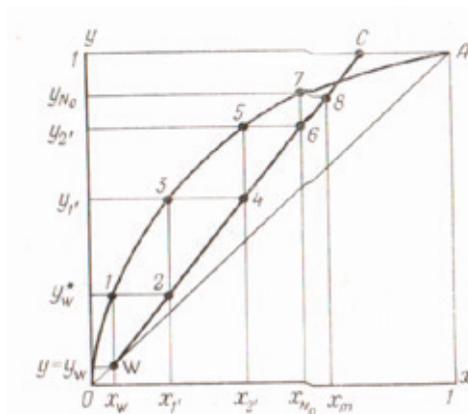


Рис. 2. Графический расчет числа тарелок в отгонной части колонны

Составы  $x_{НК}$  и  $y_{НК}$  потоков, покидающих данную тарелку, находятся в равновесии и, следовательно, на диаграмме  $x$ - $y$  представлены точкой 3, абсцисса которой равна  $x_{НК}$ .

Далее жидкость состава  $x_{НК}$  встречается между тарелками НК и НК — 1 с парами состава  $y_{НК-1}$ . Поэтому их составы будут взаимосвязаны уравнением рабочей линии (точка 4). Ордината точки 4 дает состав  $y_{НК-1}$ .

Продолжая аналогичные рассуждения, видим, что концентрации потоков паров и флегмы определяются при построении ступенчатой линии между кривой равновесия и рабочей линией: D, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10. Построение ее завершается, когда состав жидкости  $x_1$ , стекающей с нижней тарелки концентрационной части колонны, и состав паров  $y_m$ , поступающих из питательной секции, будут отвечать заданным. Составы этих потоков соответствуют уравнению рабочей линии (точка 10).

Нетрудно убедиться, что число ступеней между равновесной и рабочей линиями соответствует числу тарелок. В данном случае НК = 5.

Следует заметить, что первая ступень изменения концентраций D, 1, 2 связана с наличием парциального конденсатора. В случае других способов отвода тепла из верхней колонны эта ступень соответствует верхней тарелке колонны.

Из приведенного графического построения можно заключить, что число тарелок зависит от флегмового числа  $R = g/D$ , т.е. от положения рабочей линии. Увеличение флегмового числа приближает рабочую линию к диагонали  $OA$ , что связано с уменьшением числа тарелок. Наоборот, когда флегмовое число уменьшается, рабочая линия перемещается ближе к кривой равновесия, и число тарелок увеличивается.

Когда рабочая линия сливается с диагональю ( $R \rightarrow \infty$ ), число тарелок будет минимальным, обеспечивающим заданный состав ректификата  $y_D$ . При некотором минимальном количестве орошения  $R_{\min}$  число тарелок будет бесконечно большим.

Число тарелок в отгонной части колонны определяют аналогичными построениями (рис. 2). Рабочая линия  $WC$  определяется положением точки  $W$ , имеющей координаты  $x = y = x_w$ . При подводе тепла  $Q_B$  в низ колонны образовавшиеся пары состава  $y^*W$  будут находиться в равновесии с уходящим из колонны остатком состава  $xW$ . Поэтому указанные составы будут определяться кривой равновесия (точка 1). Ордината точки 1 равна  $y^*W$ .

Пары состава  $y^*W$  встречаются с жидкостью состава  $x1'$ , стекающей с нижней тарелки, т.е. они отвечают уравнению рабочей линии (точка 2). Абсцисса точки 2 дает состав флегмы  $x1'$ . Жидкость состава  $x1'$  и пары  $y1'$ , уходящие от нижней тарелки, находятся в равновесии. Поэтому состав этих паров  $y1'$  определяется ординатой точки 3 на линии равновесия.

Проводя соответствующие построения, получим ступенчатую линию  $W, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$ . Координаты точки 8 лежащей на рабочей линии, определяют составы „паров

ууп0, поднимающихся с верхней тарелки отгонной части колонны, и жидкости  $x_m$ , стекающей из питательной секции. В данном случае число тарелок  $N_0=4$ . Необходимо отметить, что первая ступень изменения концентраций  $W, 1, 2$  отвечает подводу тепла к жидкости, стекающей с нижней тарелки отгонной части колонны. При других способах подвода тепла эта ступень отвечает первой тарелке.

Приведенное построение показывает, что число тарелок в отгонной части колонны зависит от положения рабочей линии, т.е. от величины парового числа  $P=G/W$ . При увеличении парового числа рабочая линия перемещается к диагонали, и число тарелок уменьшается. При  $P \rightarrow \infty$  рабочая линия сливается с диагональю, а число тарелок будет минимальным. При уменьшении парового числа рабочая линия приближается к кривой равновесия, что приводит к росту числа тарелок. При некотором значении  $P_{\min}$   $N_0 \rightarrow \infty$ .

Реальные контактные устройства обычно отличаются по своему разделительному действию от теоретической тарелки, поэтому действительное число тарелок  $N_d$  определяют, используя к.п. д. контактной ступени  $\eta_T$

$$N_d = N_T / \eta_T$$

К.п.д. контактной ступени определяют экспериментально.

Литература:

1. Берг, Л.Г. Введение в термографию М.: “Наука”, 1960. 395 с.
2. Молоканов, Ю.К. Процессы и аппараты нефтегазопереработки М., Химия, 1980. — 408 с.

## Оптимизация состава подошвенных композиций на основе тройного этиленпропиленового каучука и полипропилена

Мусаев Сайфулло Сафоевич, кандидат технических наук, доцент  
Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

*В данной статье описана оптимизация состава подошвенных композиций на основе тройного этиленпропиленового каучука и полипропилена.*

**Ключевые слова:** полимерной композиции, ТПК, пластифицирующая добавка, пластификатор, ТЭПК, каолин, белая сажа, диоктилсебасинат.

Решение многих проблем легкой промышленности стало возможным только благодаря созданию новых полимерных композиционных материалов с широким набором эксплуатационных свойств.

Во всем мире наблюдается стремительный рост производства и расширение ассортимента полимерных композиций. За последние годы достигнуты большие успехи в области полимерного рецептуростроения.

Однако, до настоящего времени еще не решен большой круг теоретических вопросов, скромны успехи в установлении количественных закономерностей, необходимых для научных прогнозов явления модификации.

В последнее время интенсивно проводятся эмпирические исследования по изучению совместного влияния наполнителей и пластификаторов на изменение показателей эксплуатационных и технологических свойств полимерной композиции. Данные зависимости сложны, поэтому для их описания целесообразно использовать математические модели, позволяющие успешно интерпретировать полученные результаты, оптимизировать рецептуру и регулировать величины показателей единичных свойств в зависимости от требований потребителей.

Поэтому целью данного этапа работы выявление границ изменения показателей эксплуатационных и потребительских свойств полимерной композиции на основе ТПК и оптимизация рецептуры композиции с учетом всего комплекса требований, предъявляемых потребителями обуви для региона с сухим жарким климатов.

Предварительно были определены промышленные марки основных компонентов и их соотношения, типы и допустимы области содержания пластификаторов и наполнителей.

Для выполнения поставленной в разделе цели предложено использовать математический метод планирования эксперимента «Латинский куб второго порядка» (1) в сочетании с методом «Обобщенный показатель качества по функции желательности».

Метод математического моделирования — «Латинский куб второго порядка» позволяет оценить влияние всех исследуемых факторов на полимерную матрицу в 27 точках факторного пространства.

Рассмотрим трехкомпонентную систему: (ТПК) — (наполнитель) — (пластифицирующая добавка).

Исследовано влияние трех типов пластификаторов и девяти составов наполнителей, которые варьировали на трех уровнях, на изменение значений показателей свойств полимерной композиции.

Исходя из специфических требований, предъявляемых к полимерному низу обуви, эксплуатируемой в условиях сухого жаркого климата, были выбраны значения единичных показателей, соответствующие двум базовым отметкам на шкале желательности (см. табл. 1).

Таблица 1. Преобразование значений свойств композиций в частную функцию желательности

Свойства композиций	Y <sub>1</sub> , МПа	Y <sub>2</sub> , %	Y <sub>3</sub> , %	Y <sub>4</sub> , °С	Y <sub>5</sub> , кН/м
Значение свойств в натуральных величинах	5,00,5	350 20	25 60	130 60	2,70,8
Числовые отметки по шкале желательности, d	0,80,2	0,80,2	0,80,2	0,80,2	0,80,2

У6, Вт/м·к	У7, усл. ед	У8, г/см3	У9, усл. ед	У10, Дж/мм3	У11, тыс. ц.	У12, Па*с
0,20,5	0,70,2	0,9 1,3	70 40	12 5	100 150	2,05,0
0,80,2	0,80,2	0,80,2	0,80,2	0,80,2	0,80,2	0,80,2

Показатели, приведенные в табл. 1, использованы при построении графика функции желательности и шкалы оценок показателей качества (рис. 1).

Для решения оптимизационной задачи по научно-обоснованному выбору состава подошвенной композиции для изготовления низа обуви составлена программа расчета на ЭВМ показателей обобщенного критерия качества.

Полученная математическая модель обобщенного показателя качества (D), для исследуемой области наполнения, имеет вид:

$$D = \left[ \exp \left( -\frac{1}{12} \left( \begin{aligned} &0.131 \exp(1.90 - 0.27Y_1) + 0.121 \exp(5.50 - 0.016Y_2) + 0.111 \exp(-4.06 + 0.21Y_3) + \\ &+ 0.100 \exp(21.45 - 0.16Y_4) + 0.086 \exp(3.70 - 1.0Y_5) + 0.081 \exp(-6.11 + 48.66Y_6) + \\ &+ 0.072 \exp(5.68 - 6.70Y_7) + 0.067 \exp(-2.76 + 4.40Y_8) + 0.063 \exp(11.17 - 0.14Y_9) + \\ &+ 0.06 \exp(3.80 - 0.21Y_{10}) + 0.055 \exp(6.65 + 0.062Y_{11}) + 0.053 \exp(-1.31 + 1.34Y_{12}) \end{aligned} \right) \right]$$

где Y<sub>1</sub> · · · Y<sub>12</sub> — натуральные значения показателя качества.

Результаты проведенных экспериментов (в натуральных значениях) и обобщенный показатель функции желательности представлены в табл. 2.

Полученные результаты исследований позволили определить границу изменения показателей качества.

Как видно из результатов расчета, потребительские и технологические свойства подошвенной композиции изменяются в широком диапазоне в зависимости от наполнения. Интересно отметить, что модифицированные композиции в исследуемой области наполнения во всех случаях удовлетворяют требованиям потребителей, то есть значения обобщенной функции желательности находятся в пределах: 0,55 < D < 1,0, что соответствует хорошему качеству полученной продукции [2].

Для выделения факторов, существенно влияющих на показатели качества подошвенных композиций, проведен дисперсионный анализ полученных результатов в предположении линейной математической модели:

$$Y_{ijq1} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_q + \delta_l + \xi_{ijq1}$$

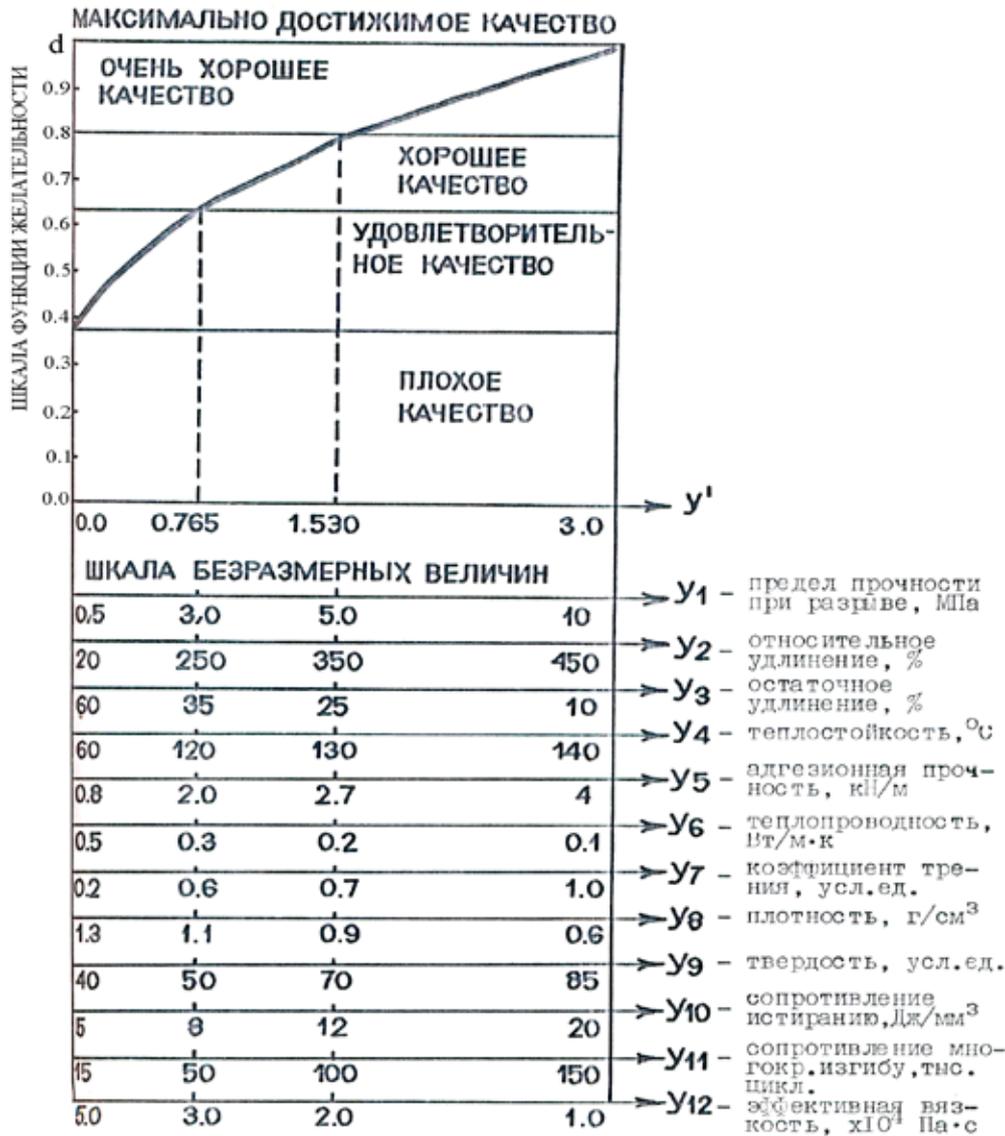


Рис. 1. Функция желательности и шкала оценок показателей качества полимерной композиции для низа обуви

Таблица 2. Значение единичных показателей и обобщенного показателя качества по модели латинского куба второго порядка

X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11	Y12	D
1	1	1	1	4,62	480	20	137	2,00	0,120	0,80	0,92	82	16,8	135	21300	0,810
1	2	1	5	5,92	500	22	133	2,47	0,117	0,90	0,90	82	17,0	150	19000	0,850
1	3	1	9	3,15	260	20	128	1,02	0,109	0,60	0,84	70	10,8	80	14900	0,670
2	1	1	2	5,51	448	11	136	1,53	0,111	0,80	0,85	72	18,6	142	20400	0,820
2	2	1	6	4,90	456	15	132	1,44	0,113	0,80	0,87	74	13,7	130	18700	0,800
2	3	1	7	3,76	327	16	127	1,27	0,114	0,60	0,87	68	16,7	85	15600	0,700
3	1	1	3	4,63	396	14	135	1,35	0,118	0,80	0,91	76	16,5	110	17400	0,780
3	2	1	4	6,38	487	11	130	1,89	0,111	1,10	0,86	78	18,8	145	16100	0,870
3	3	1	8	4,74	445	19	125	1,45	0,109	0,90	0,84	74	18,0	125	12600	0,820
1	1	2	4	6,38	464	23	138	1,58	0,117	1,00	0,91	84	19,3	146	17900	0,830
1	2	2	8	3,91	336	25	134	1,62	0,097	0,50	0,75	70	9,4	100	13700	0,700
1	3	2	3	2,35	168	28	129	1,16	0,101	0,50	0,78	64	8,3	60	10600	0,550
2	1	2	5	5,90	480	16	135	2,63	0,112	1,00	0,82	78	19,5	132	15200	0,910
2	2	2	9	4,27	372	13	134	2,47	0,107	0,80	0,84	80	14,8	120	14900	0,830

2	3	2	1	5,69	467	19	129	1,17	0,125	0,90	0,95	82	17,6	135	15200	0,820
3	1	2	6	5,86	489	15	135	2,46	0,104	0,90	0,80	70	18,3	148	13700	0,900
3	2	2	7	6,14	521	21	132	1,91	0,108	1,00	0,84	80	17,5	140	14700	0,860
3	3	2	2	4,65	414	15	126	1,26	0,107	0,80	0,83	72	13,3	130	13100	0,790
1	1	3	7	4,24	332	24	138	2,25	0,119	0,70	0,91	82	15,9	125	16300	0,780
1	2	3	2	3,22	225	20	137	1,97	0,121	0,60	0,91	84	9,4	70	13200	0,680
1	3	3	6	4,60	380	28	135	2,58	0,117	0,80	0,90	86	14,0	85	13900	0,810
2	1	3	6	3,46	292	18	138	3,12	0,092	0,60	0,73	64	7,8	55	13300	0,710
2	2	3	3	3,28	269	21	136	2,20	0,096	0,40	0,77	76	7,4	50	14600	0,660
2	3	3	4	3,39	320	22	134	1,56	0,099	0,70	0,79	62	8,0	58	13500	0,720
3	1	3	9	5,53	460	19	140	2,55	0,110	0,90	0,82	74	18,0	137	15700	0,890
3	2	3	1	6,50	525	28	135	1,05	0,130	1,10	0,98	78	19,7	151	16200	0,810
3	3	3	5	5,65	468	18	131	1,24	0,121	1,00	0,92	76	19,2	143	14800	0,830

где  $\mu$  — общее среднее;

$\alpha_i$  — эффект фактора  $X_1$  на  $i$  — м уровне,  $i=1,2,3,\dots$

$\beta_j$  — эффект фактора  $X_2$  на  $j$  — м уровне,  $j=1,2,3,\dots$

$\gamma_q$  — эффект фактора  $X_3$  на  $q$  — м уровне,  $q=1,2,3,\dots$

$n$  — 1;

$\delta_e$  — эффект фактора  $X_4$  на  $l$  — м уровне;

$\xi_{ijql}$  — случайная ошибка эксперимента.

В соответствии с методикой проведения дисперсионного анализа для всех показателей качества  $Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_{12}$  учитывали влияние исследуемого фактора на всех уровнях.

Значимость влияния факторов  $X_1, X_2, X_3, X_4$  проверяли по критерию Фишера. Табличные значения критерия Фишера для уровня значимости  $P=0,05$  и чисел степеней свободы сравниваемых дисперсий при  $f_1=2$  и  $f_2=12$  соответствует  $F_{табл}=3,9$ . Результаты дисперсионного анализа для всех двенадцати показателей качества.

Для выбора оптимальных рецептур композиции эффекты факторов на разных уровнях были сопоставлены при помощи множественного рангового критерия Дункана (3).

Оптимальные составы композиций выбраны на основании факторного анализа обобщенной функции желательности  $D$ . Для доказательства достоверности полученных результатов определена нормированная ошибка среднего значения  $D$ .

На основании дисперсионного и факторного анализов определен характер влияния факторов на качественные показатели, разрабатываемых полимерных материалов для низа обуви.

Определено, что фактор  $X_1, X_3$  и  $X_4$  имеют различное влияние на показатели качества, а фактор  $X_2$  (количества пластификатора) незначим для всех показателей качества.

По степени влияния фактора  $x_1$  (тип пластификатора) на показатели свойств можно расположить в следующем порядке: ДОС > АПП > НМПЭ.

Для фактора  $X_3$  (количество наполнителя) по степени влияния на качество полимерной композиции расположены в таком порядке: 15 масс. ч. > 10 масс. ч. > 20 масс. ч.

Показатели качества подошвенных композиций в широком диапазоне меняются благодаря типу наполнителей, вводимых в состав композиций. По степени влияния фактора  $X_4$  (тип наполнителя) можно расположить в следующий ряд: (мел/каолин=1/0,5) > (мел/каолин=0,5/1,0) > (древесная мука/белая сажа=0,5/1,0) > (мел/каолин/древесная мука=1/1) > (мел/каолин) > (древесная мука/белая сажа=1/1) > (древесная мука) > (древесная мука/белая сажа=1/0,5) > (белая сажа).

Таким образом, влияние факторов в указанной области исследования можно расположить в таком порядке:  $X_1 > X_3 > X_4 > X_2$ .

На основании дисперсионного и факторного анализа нами были выбраны следующие композиции, имеющие наибольшим значением  $D$ : № 13  $D=0,91$ ; № 16  $D=0,90$ ; № 25  $D=0,89$ , что по комплексу двенадцати исследованных показателей качества соответствует критерию «отличное качество».

Рецептура оптимальных композиций представлена в табл. 3.

Таким образом, экспериментально выявлена область регулирования эксплуатационных и технологических свойств полимерной матрицы на основе производных полиолефинов методом наполнения, установлена количественная закономерность изменения единичных показателей качества и определены оптимальные составы наполненной композиции [4].

Полученные математические модели зависимости свойств наполненных композиций от состав наполнитель/пластификатор и процедур оптимизации рецептуры композиции можно использовать для автоматизированной системы управления качеством полимерных композиционных материалов.

Таблица 3. Рекомендуемые рецептуры полимерных композиций для низа обуви

Наименование ингредиентов	Рецептура, масс. ч.		
	№ 1 Д=0,91	№ 2 Д=0,90	№ 3 Д=0,89
1. ТЭПК (СКЭПТ-40)	70	70	70
2. ПП-21060	30	30	30
3. Малеиновый ангидрид	2	2	2
4. Мел	5	2,5	-
5. Каолин	5	2,5	-
6. Древесная мука	5	10	7
7. Белая сажа	-	-	13
8. Атактический полипропилен	5	-	-
9. Диоктилсебасинат	-	5	5
10. Оксид цинка	3,5	3,5	3,5
11. Стеарин технический	0,70	0,70	0,70
12. Каптакс	0,35	0,35	0,35
13. Тиурам	0,70	0,70	0,70
14. Стабилизатор (НГ-2246)	0,35	0,35	0,35
15. Сера	1,40	1,40	1,40

Литература:

1. Перспективные искусственные материалы для низа обуви. — ОИ «Промышленность искусственных кож и пленочных материалов». — М.: ЦНИИТЭ легпрома, 2001, вып.2. — 84 с.
2. Мэнсон Дж., Сперлинг Л. Полимерные смеси композиты. Пер. с англ. /Под ред. Ю.К. Годовского. — М.: Химия, 1999. — 440 с.
3. Кулезнев, В.Н. Смеси полимеров, — М.: Химия, 2000. — 304 с.
4. Kautchuk and Gummi Kunststoffe. — 2003. v/ 36, N3. — P. 181.

## Математическое описание агрегата с клиноременным вариатором

Набиев Мухаммаджон Буриевич, кандидат технических наук, старший преподаватель  
Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

Произведем математическое описание динамической модели машинного агрегата с клиноременным вариатором (рис.1). Вариатор представляет собой неголономную систему [2] и для ее описания воспользуемся уравнениями Аппеля [1].

Определим конкретный вид функции положения  $X_2 = \Pi(X_1)$ . Будем отсчитывать осевое перемещение подвижного диска ведущего шкива  $X_1$ , от положения, когда ремень (точнее нейтральная линия ремня) находится на минимальном диаметре  $D_{1\min}$  шкива, а осевое перемещение  $X_2$  подвижного диска ведомого шкива, когда ремень находится на максимальном диаметре  $D_{2\max}$  ведомого шкива [3]. Составим уравнения движения агрегата с вариатором, когда управляющий механизм воздействует на подвижный диск ведомого звена, а подвижный диск ведущего подпружинен.

В качестве обобщенных координат выберем  $\varphi_2$  и  $X_2$ . Тогда,

$$U = U(X_2); \quad \ddot{\varphi}_1 = \ddot{\varphi}_2 U + \dot{\varphi}_2 \dot{X}_2 U^1;$$

$$\ddot{X}_1 = \ddot{X}_2 \tilde{\Pi}' + \dot{X}_2^2 \tilde{\Pi}''; \quad \ddot{\varphi} = U_p (\ddot{X}_2 \Pi_2' + \dot{X}_2^2 \Pi_2'');$$

и энергия ускорений представится в виде [4]

$$S = 0,5 [J_1 (\ddot{\varphi}_2 U + \dot{\varphi}_2 \dot{X}_2 U^1)^2 + J_2 \ddot{\varphi}_2^2 + J U_p^2 (\ddot{X}_2 \Pi_2' + \dot{X}_2^2 \Pi_2'')^2] +$$

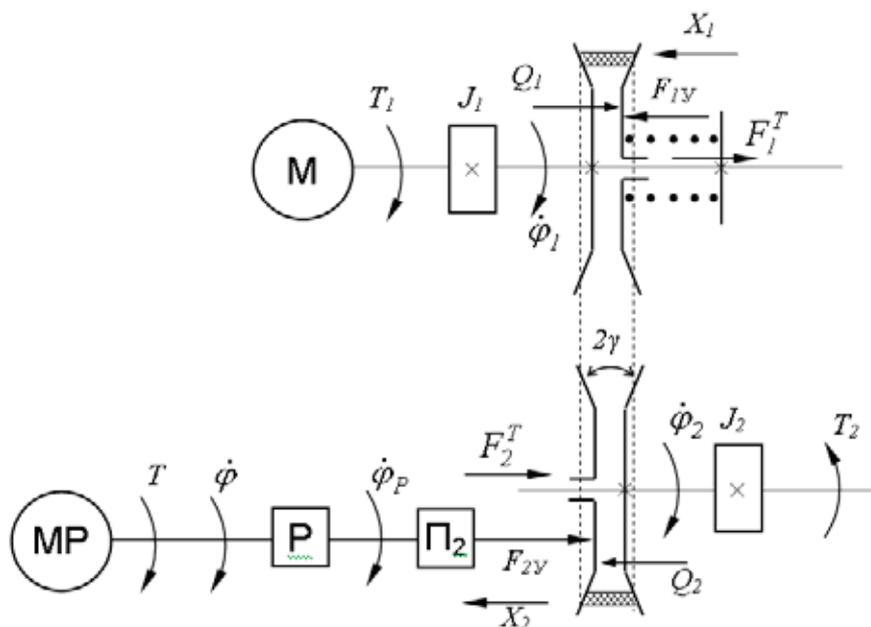


Рис. 1. Схема машинного агрегата с подпружиненным диском ведущего шкива

$$+ m_1(\ddot{X}_2 \tilde{\Pi}' + \dot{X}_2^2 \tilde{\Pi}'')^2 + m_2 \ddot{X}_2^2], \tag{1}$$

$$\text{где } U' = \frac{\partial U}{\partial X_2}; \tilde{\Pi}' = \frac{\partial \tilde{\Pi}}{\partial X_2}; \tilde{\Pi}'' = \frac{\partial^2 \tilde{\Pi}}{\partial X_2^2}; \Pi_2' = \frac{\partial \Pi_2}{\partial X_2}; \Pi_2'' = \frac{\partial^2 \Pi_2}{\partial X_2^2}.$$

Пружина на ведущем шкиве создает упругую силу

$$F_{1y} = K_1(\delta_1 - x_1)$$

где,  $K_1$ ,  $\delta_1$  - жесткость и предварительная деформация пружины. Определяя обобщенные силы, соответствующие выбранным обобщенным координатам  $\phi_2$ ,  $X_2$ , из уравнений Аппеля получаем дифференциальные уравнения движения агрегата с клиноременным вариатором

$$\begin{aligned} & (J_2 + J_1 U^2) \ddot{\phi}_2 + J_1 \dot{\phi}_2 \dot{X}_2 U U' = T_1 U - T_2; \\ & \left( J U_p^2 (\Pi_2')^2 + m_1 (\tilde{\Pi}')^2 + m_2 \right) \ddot{X}_2 + \left( J U_p^2 \Pi_2' \Pi_2'' + m_1 \tilde{\Pi}' \tilde{\Pi}'' \right) \dot{X}_2^2 + \\ & + K_1 (\delta_1 - \tilde{\Pi}) \tilde{\Pi}' = \pm (T - T_c) U_p \Pi_2' - (Q_2 \pm F_2^T) + (Q_1 \mp F_1^T) \tilde{\Pi}'. \end{aligned} \tag{2}$$

Здесь верхние знаки соответствуют сближению дисков ведомого шкива, когда передаточное отношение  $U$  вариатора увеличивается, а нижние расхождению, что вызывает уменьшение передаточного отношения. В данном случае нетрудно показать, что

$$F_{2y} = \pm (T - T_c) U_p \Pi_2'$$

Первое уравнение в системе (2) описывает поведение агрегата во вращательном движении, а второе — перемещение системы подвижных дисков вариатора.

Как и ранее, членами, пропорциональными  $\dot{X}_2^2$  можно пренебречь и тогда второе уравнение системы (2) будет иметь вид

$$\tilde{m}_0 \ddot{X}_2 + K_1 (\delta_1 - \tilde{\Pi}) \tilde{\Pi}' = \pm (T - T_c) U_p \Pi_2' - (Q_2 \pm F_2^T) + (Q_1 \mp F_1^T) \tilde{\Pi}' \tag{3}$$

$$\text{где } \tilde{m}_0 = J U_p^2 (\Pi_2')^2 + m_1 (\tilde{\Pi}')^2 + m_2$$

Как и в предыдущем случае, можно установить, что  $\tilde{\Pi}' > 0$ .

Перемещения подвижных дисков вариатора, запишем в более общем виде

$$m_0 \ddot{X}_1 = \pm F_{1y} - (Q_1 \pm F_1^T) - (F_{2y} - Q_2 \pm F_2^T) \Pi'; \tag{4}$$

$$\tilde{m}_0 \ddot{X}_2 = \pm F_{2y} - (Q_2 \pm F_2^T) - (F_{1y} - Q_1 \pm F_1^T) \tilde{\Pi}'; \quad (5)$$

Уравнения (4) и (5) имеют одинаковую структуру. При описании движения агрегата с вариатором, когда управление осуществляется через подвижный диск ведомого шкива, можно воспользоваться и уравнением (4). Тогда вместо  $F_{2y}$  следует подставлять

$$F_{2y} = \pm(T - T_c)U_P \Pi_2^1,$$

а силу  $\pm F_{1y}$  заменяем упругой силой пружины

$$\pm F_{1y} = K_1(\delta_1 - x_1)$$

Если воспользоваться уравнением (5) при управлении через подвижный диск ведущего шкива, то в уравнении (5) следует принять

$$\pm F_{2y} = K_2(\delta_2 + X_2); F_{1y} = \pm(T - T_c)U_P \Pi_1^1.$$

Для получения решения систем нелинейных дифференциальных уравнений (2), описывающих поведение агрегата и подвижных дисков вариатора при управлении следует воспользоваться численными методами.

Уравнения (4), либо (5) могут быть использованы для определения мощности или вращающего момента управляющего двигателя.

Необходимо отметить, что поступательное перемещение подвижных дисков вариатора и вращательное движение агрегата взаимосвязаны, и эта связь осуществляется через распорные усилия. Так как  $Q_1 = Q_1(F_t); Q_2 = Q_2(F_t)$ , где

полезное окружное усилие равно

$$F_t = 2(T_2 + J_2 \ddot{\phi}_2) / D_2,$$

то перемещения подвижных дисков зависят как от момента  $T_2$  сил сопротивления, так и вращательного движения  $\ddot{\phi}_2$  ведомой части агрегата.

Литература:

1. Аппель, П. Теоретическая механика. В 2-х т. — М.: ГИФМЛ, 1960. Т. 2. — 487 с.
2. Кухтенко, А. И. Об одном классе механизмов с неголономными связями // Труды ин-та Машиноведения. Семинар по ТММ. изд. АН СССР, 1955. — Вып. 58с. — С.46–70.
3. Мальцев, В. Ф., Набиев М. Б. Исследование динамики движения механизмов управления клиноременных вариаторов // IV Международная научно-техническая конференция по инерционно-импульсным механизмам, приводам и устройствам: Тез. докл. — Владимир, 1992. — с. 71–72.
4. Набиев, М. Б. Динамика управления клиноременного вариаторов. Наука мир. Международный научный журнал. Волгоград, 2014. № 4 (18), Том 1, с. 98–101.

## Определение усилий на управляющий механизм клиноременного вариатора при управляемом ведомым шкивом

Набиев Мухаммаджон Буриевич, кандидат технических наук, старший преподаватель  
Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

Клиноременные вариаторы широко используются в приводах многих машин различных отраслей промышленности [1]. В работе [2] впервые рассмотрена динамика агрегата с вариатором как системы с неголономной связью не учитывая особенности клиноременного вариатора и его механизма управления. В работах [3,4] рассмотрена динамика агрегата с вариатором с целью определения динамических нагрузок в системе агрегата при управлении и также не учитывается особенность клиноременного вариатора и его системы управления. Поэтому представляется целесообразным изучить динамику агрегата с клиноременным вариатором с учетом его особенностей и механизма управления, выявить влияние параметров вариатора, агрегата и системы управления на динамическое поведение агрегата.

Рассмотрим схема вариатора — рис.1, когда управляющий двигатель воздействует на подвижный диск ведомого шкива, а подвижный диск ведущего подпружинен. Для случая сближения дисков, когда происходит увеличение передаточного отношения вариатора, получаем вращающий момент на ведомом валу [7]

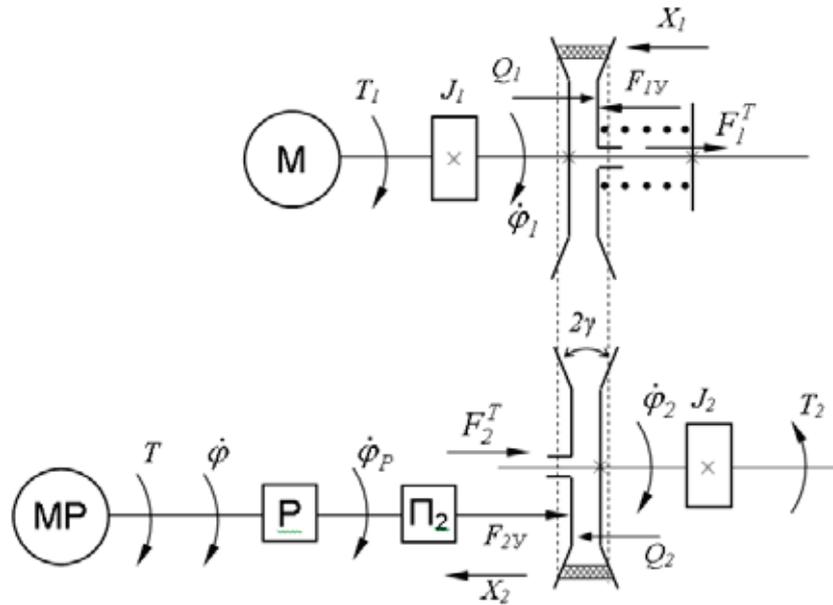


Рис.1

$$T = T_{23} = T_c + \frac{\tilde{m}_0 \ddot{X}_2 + (Q_2 + F_2^T) + (F_{1y} - Q_1 + F_1^T) \tilde{Z}}{U_p \Pi_2'} \quad (1)$$

Если производится управление вариатором, когда диски ведомого шкива расходятся, что вызывает уменьшением передаточного отношения и разгон ведомой части агрегата, имеем

$$T = T_{2p} = T_c - \frac{\tilde{m}_0 \ddot{X}_2 + (Q_2 - F_2^T) + (F_{1y} - Q_1 - F_1^T) \tilde{Z}}{U_p \Pi_2'} \quad (2)$$

Пружина ведущего шкива выбирается [6] так, что

$$F_{1y} \geq Q_1 \quad (3)$$

Нетрудно заметить, что

$$T_{23} > T_{2p} \quad (4)$$

Считая как и прежде, что ускорение  $\ddot{X}_2$  равно предельном  $\ddot{X}_{2\Pi}$  и учитывая, что  $\tilde{Z} > 1$  при  $U = U_{\max}$  и незначительность изменения функции  $\Pi_2^1$  можно заключить, что

$$T_{23}(U_{\max}) = T_{23\max} \quad (5)$$

При положении дисков, соответствующих  $U = U_{\max}$  дальнейшее регулирование на увеличение передаточного отношения  $U$  невозможно. Положим, что вариатор работает с постоянным передаточным отношением

$$U_m = U_{\max} - \Delta U_0 = U_{\max} (1 - \psi), \text{ где } \psi = \frac{\Delta U_0}{U_{\max}} \ll 1, \text{ и нужно произвести переход на режим } U = U_{\max} \text{ В этом случае}$$

будет справедлива формула (1), определяющая вращающий момент на валу двигателя. Обозначим  $T_{23}(U_m) = T_{23m}$

. Управляющий двигатель должен развивать пусковой момент  $T_{\Pi}$ , который

$$T_{\Pi} \geq T_{23m} \quad (6)$$

Так как величина  $\Delta U_0$  мала, то значения  $T_{23\max}$  и  $T_{23m}$  будут отличаться так же на малую величину и для практических расчетов можно принять

$$T_{II} \geq T_{2zmax}. \quad (7)$$

Рассмотрим вопрос об определении мощности управляющего двигателя для данного типа вариатора. Используя выражение (1) запишем

$$N_{zy} = N_y = N_c + \omega_y \frac{\tilde{m}_0 \dot{X}_2 + (Q_2 + F_2^T) + (F_{1y} - Q_1 + F_1^T) \tilde{Z}}{U_p \Pi_2'}. \quad (8)$$

Так как момент  $T_{23}$  а вместе с ним и мощность  $N_{23}$  увеличивается, при увеличении передаточного отношения, то наибольшего значения мощность достигает в том случае, если регулирование начнется при некотором значении передаточного отношения  $U = U_{II}$  и при обработке интервала передаточного отношения  $\Delta U_{II} = U_{max} - U_{II}$  управляющий двигатель за время разгона  $t_p$  достигает скорости  $\omega_{max} = \omega_y$  и далее в момент  $t_T$  окончания торможения будет  $U(t_T) = U_{max}$ . Этот режим является частным случаем управления дисками — рис. 2, когда время установившегося движения  $t_y = 0$ . Однако, значение  $U_{II}$  неизвестно и для определения  $U_{II}$ , а вместе с ним и мощность управляющего двигателя  $N_d$  следует воспользоваться методом последовательных приближений. Задаются начальным значением передаточного отношения  $U_{II} = U_H$  и, имея  $T$  на основе выбранного по  $T_{II}$  и  $\omega_y$  двигателя, находят величины  $\Delta X_{2p} = X_2(t_p)$ ,  $\Delta X_{2T} = X_2(t_T)$ . Затем вычисляют  $U_k = U_k(\Delta X_{2T})$ .

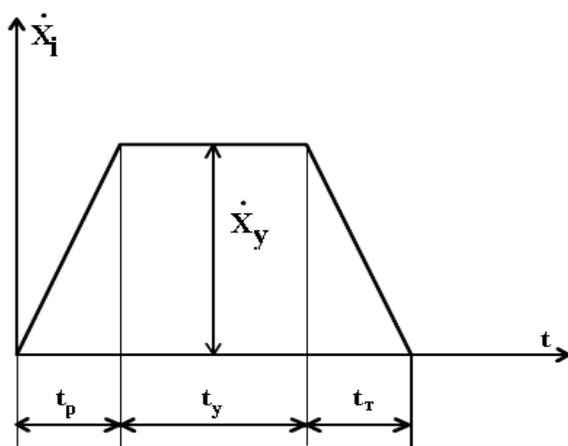


Рис. 2

На основе вышеизложенного должно быть

$$U_k = U_{max}. \quad (9)$$

Если условие (9) не выполняется, изменяют значение  $U_{II} = U_H$  в сторону  $U_{min}$ , либо  $U_{max}$  в зависимости от полученной величины  $U_k$  и повторяют решения. Когда будут получены решения, удовлетворяющие с заданной точностью условию (9), вычисляются с помощью  $N_y$  по формуле (8) по значениям  $T_{II}$  и  $N_y$ , задавшись величиной  $\omega_y$ , выбирают двигатель. Производят вновь расчеты. Когда условие (8) будет удовлетворяться с заданной степенью точности, находят величину  $\Delta X_{2p}$ , а затем и значения

$$Q_{1p} = Q_1(\Delta X_{2p}); Q_{2p} = Q_2(\Delta X_{2p});$$

Литература:

1. Пронин, Б.А., Ревков Г.А. Бесступенчатые клиноременные и фрикционные передачи. М. Машиностроение, 1980. — 320 с.
2. Кухтенко, А.И. Об одном классе механизмов с неголономными связями. — Труды института машиноведения. 1955. Т. Вып 58. — С.
3. Иванченко, Ф.К., Ахмаджанов Х.М., Красношапка В.А. Вопросы динамики привода с вариатором при учете упругости звеньев. Вестник Киевского политехн. Института. Сер. Машиностроение, 1975. № 12. — с. 23–29.
4. Ахмаджанов, Х.М. Вопросы динамики вариаторов в пусковом режиме. Вестник Киевского политехн. Института. Сер. Машиностроение, 1975. № 12. — с. 29–35.
5. Левитский, Н.И. Теория механизмов и машин. — М.: Наука, 1979. — 574 с.
6. Мальцев, В.Ф. Механические импульсные передачи. — М.: Машиностроение, 1978 г.
7. Набиев, М.Б. Определение мощности управляющего двигателя механизма управления клиноременных вариаторов. Наука мир. Международный научный журнал. Волгоград, 2015. № 5 (21), Том 1, С.85–87

## Исследование возможности переработки нестандартного кожевенно-мехового сырья и отходов производств

Нарзуллаева Азиза Мурадиллаевна, ассистент;  
Сабирова Наргиза Нусратовна, ассистент;  
Садикова Мухаё Муратовна, ассистент  
Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

*В данной статье приведён метод двухфазной обработки кожевенно-мехового сырья, образующиеся отходы при котором (в частности, коллаген), имеют более высокие физико-механические показатели и могут использоваться впоследствии в различных отраслях экономики.*

**Ключевые слова:** гольё, коллаген, фаза, известь, сернистый натрий, золение, сырьё.

## The study of the possibility of the treatment non-standard tanning-fur input material and departure production

Narzullaeva Aziza Muradillaevna, Sabirova Nargiza Nusratovna, Sadikova Muxayo Muratovna, assistants

*Keywords: offals, collagen, phase, lime, sulfury sodium, liming, input materials.*

В настоящее время на кожевенных предприятиях Республики Узбекистан заготавливается и перерабатывается более 1 млн. штук шкур крупного рогатого скота и до 1,5 млн. штук шкур мелкого сырья в год. При этом образующиеся отходы составляют около 4000.0 тонн гольевой обрести и мездры, 600.0 тонн жиросодержащих отходов.

Отходы и побочные продукты кожевенного производства — это сырьё для целой группы производств: желатина, кожкартона, хозяйственного мыла, белковой оболочки, белковых гидролизаторов, кормовых добавок и др. Одновременно переработка этих отходов является важнейшей экологической задачей. Отходы кожевенного производства можно использовать в различных отраслях экономики таких как мебельная, бумажная, спичечная, ковровая, валяльно-войлочная, текстильная, пищевая, лакокрасочная, абразивная, парфюмерная, бытовая химия, щетино-щеточная, а также в машиностроении, в промышленности искусственных кож и мехов в сельском хозяйстве.

В настоящее время значительную часть кожевенно-мехового сырья, поступающего на перерабатывающие предприятия Республики Узбекистан, составляет нестандартное сырьё.

Образование отходов кожевенного производства при их технологической переработке кож и меха можно представить по следующей схеме (рис.1.). Разработка и создание ресурсосберегающих технологий в кожевенной и меховой промышленности решит аспекты экономических проблем вторичных материальных ресурсов.

Анализ по исследованию и получению коллагена показывает, что этот процесс изучен недостаточно. Вместе

с тем всестороннее и целенаправленное изучение по исследованию и получению коллагена в существенной степени содействует решению другой задачи возможности получения коллагена с заданными комплексными свойствами. В связи с этим, естественно были проведены специальные комплексные исследования. По получению коллагена из нестандартного кожевенного и меховой сырья и недубленых отходов кож и меха.

Существующая до настоящего времени переработка коллагеносодержащего сырья, предусматривала известь и сернистый натрий в одной фазе. В этом случае выход конечного продукта был низким.

Нами проведены исследования по получению коллагена из нестандартного сырья и других недубленых отходов. В отличие известных процесс обработки проводили в две фазы с дополнительным введением хлористого натрия. Концентрацию хлористого натрия регулировали от 40 до 60 г/л  $\text{ЖК}=3,5-4,0$ . Введение  $\text{NaCl}$  даёт возможность уменьшить деструкцию белка. Коллаген частично переходит в щелочную среду, а  $\text{NaCl}$  предотвращает распад коллагена в водно-щелочной среде. Увеличивается выход растворенного коллагена и повышает качество конечного продукта.

Обработку кожевенных и меховых отходов осуществляется в щелочно-солевой среде в присутствии  $\text{NaCl}$  в две фазы:

Первая фаза: щелочно-солевой раствор содержит  $\text{Na}_2\text{S}$  — 5,0г/л,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  — 25,0 г/л и  $\text{NaCl}$  — 40,0г/л при температуре 30°C в течение 24 часов с жидкостью коэффициентом 3,5, pH-11,5.

Затем рабочий раствор сливали и немедленно заливали вторую фазу зольного раствора.

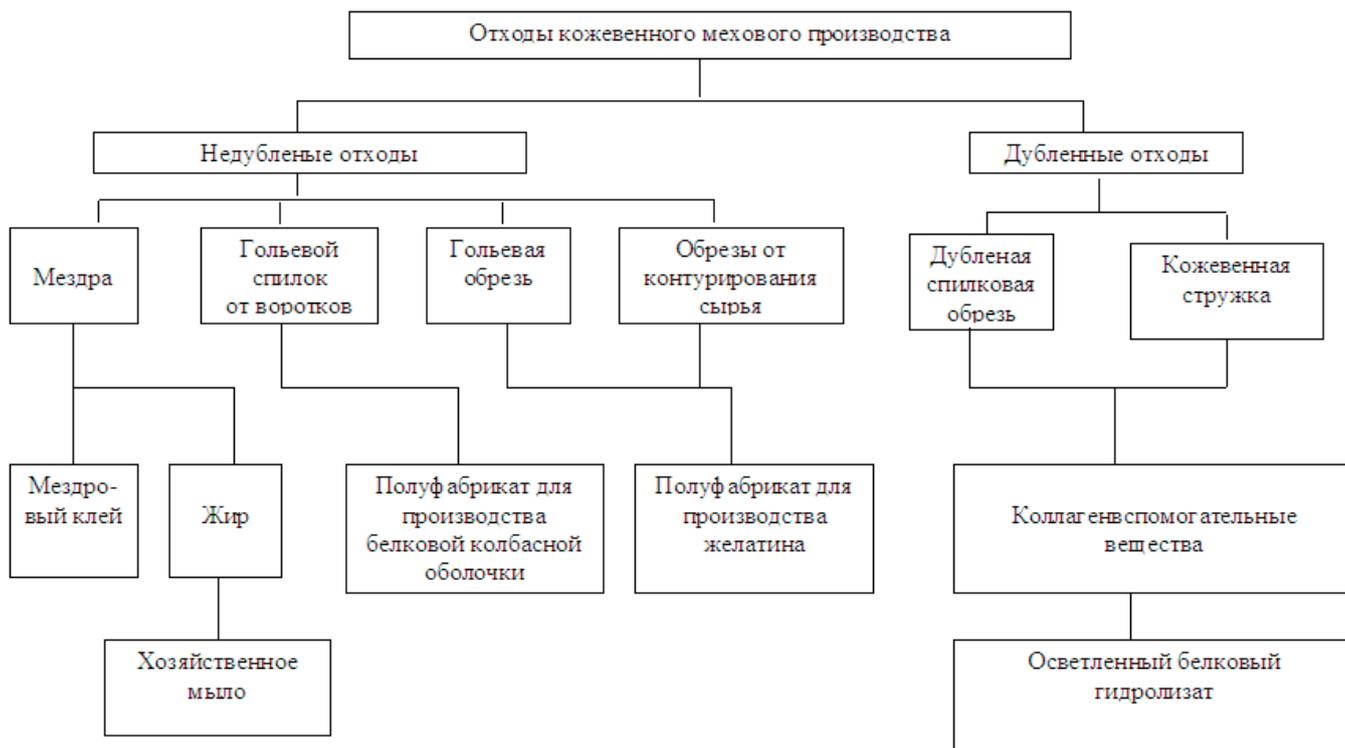


Рис. 1. Принципиальная схема образования кожевного производства при технологической обработке кожи и меха

Вторая фаза: содержание  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  — 28,0 г/л и  $\text{NaCl}$  — 45,0г/л при жидкостном коэффициенте 4,0 в течение 24 часов с ЖК+3,5 и pH= 11,5.

Прозолненное таким способом сырье имеет матово-стекловидный вид на срез и на ощупь скользкий и упругий. Полученное голье промывают в чистой проточной воде до нейтральной среды. Затем голье обеззоливали в присутствии 3,5- %  $\text{NaCl}$ -2% от массы голья с жидкостным ко-

эффициентом 4,0 в течение 7 часов до нейтральной среды на срез голья (проба на фенолфталеин) После этого голье растворяли в смеси 6% уксусной кислоты с этиловым спиртом с соотношении 9:1. Растворение проводили в течение 24 часов при комнатной температуре. После чего из раствора осаждали коллаген с помощью ацетона. В таблице 1 приведены условия обработки нестандартного сырья и недубленых сырьевых отходов.

Таблица 1. Условия обработки сырьевых отходов при температуре 30°C в течение 24 часов, pH 11,5

Варианты	Количество в I фазе, г/л			Количество во II фазе, г/л		ЖК	Выход продукта, %
	NaCl	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	$\text{Na}_2\text{S}$	NaCl	$\text{Ca}(\text{OH})_2$		
1	40	25	5	45	28	3,5	97,8
2	50	25	5	50	28	3,5	98,5
3	60	25	5	60	28	4,0	99,0
Контрольный	-	25	5	-	-	3,5	81,2

Проведение исследования показывают, что с увеличением концентрации хлористого натрия выход продукта увеличением, при более 60г/л выход резко уменьшается, где доказательство этому в таблице 1.

Из полученного продукта, если его подвергнуть термообработке в определенных условиях, получается мездровый клей, который используется в различных отраслях экономики. Его свойства приведены в таблице 2.

Полученный методом двухфазного зольения в присутствии хлористого натрия коллагеновый продукт, кроме

производства клея, может успешно применяться при получении желатина, коллагеновой пленки и т.д.

В производстве кожи и меха по типовой методике голье получают до 3 суток. Нами проводились исследования по получению голья из сырьевых отходов и из нестандартного сырья путем длительного зольения от 3 до 30 суток с целью получения готовой продукции с улучшенными физико-механическими свойствами. Полученное голье обеззоливали (нейтрализовали) в течение 10 часов сульфатом аммония с расходом 3,0% от массы голья. Затем

Таблица 2. Свойства мездрового клея различных вариантов обработок

Варианты	Клеящая способность, н/м	Массовая доля жира в пересчете на абсолютно сухое вещество, %
1	1590	0,20
2	1610	0,21
3	1640	0,22
Контрольный	1578	0,28
ГОСТ-325280 «клей мездровый»	Не менее 1570	Не более 0,3

голье подвергали гидролизу. Основные показатели голя в коллагена в зависимости от продолжительности зольения приведены в таблице 3.

Выделенный нами после щелочного гидролиза и последующего осаждения ацетоном коллагена представляет собой более порошкообразное вещество практически полностью (99,5%) растворимое в воде, а также

в водно-уксуснокислых растворах с образованием чистых, гомогенных растворов, со способностью к пленкообразованию. Растворы, использованные для формирования, имели вязкость 3,8–4,1 Па.с при концентрации коллагена 3,5–3,8% и pH 3,0. Растворение сухих препаратов коллагена проводили при температуре 18–20<sup>0</sup>С, и затем после четырехкратной фильтрации растворы обезвоздушивали.

Таблица 3. Зависимость физико-механических свойств коллагена от продолжительности зольения гидроксидом кальция при концентрации 13–15 г/л

Продолжительность зольения, сутки	Обводнение голя, %	Содержание, %			Вязкость, Па.с	Время пребывания в осадительной ванне и его формирование, см <sup>2</sup> /мин%	Предел	Удлинение, %
		Азота	СаО	зола				
3	67,86	18,6	0,04	2,5	3,8	60,0	0,18	13,8
6	74,62	18,5	0,07	2,5	3,9	62,0	0,21	13,9
9	78,47	17,9	0,11	2,9	3,9	65,0	0,21	14,1
15	80,07	16,2	0,12	3,3	4,0	68,0	0,23	14,2
20	82,54	16,9	0,14	3,4	4,0	70,0	0,24	14,3
30	83,14	15,1	0,16	3,5	4,1	75,0	0,26	14,7
30	83,21	15,3	0,17	3,5	4,1	75,0	0,27	14,7

На основании полученных данных можно предположить, что структура голя в результате такой обработки становится более рыхлой вследствие извлечения неколлагеновых белков, жиров и углеводов, что способствует более равномерному прониканию реагентов щелочной ванны по всему объему и тем самым способствует лучшему образованию и формированию коллагеновых препаратов.

Таким образом, получен коллаген из нестандартного сырья и отходов кожевенных производств двухфазным методом с введением соли хлористого натрия. Увеличение концентрации хлористого натрия приводит к повышению выхода коллагена. Кроме того, увеличение продолжительности зольения от 3 до 30 суток улучшает физико-химические свойства коллагена.

Литература:

1. Нарзуллаева, А. М. «Использование продуктов растворения коллагена в меховом производстве», Диссертация на получение магистерской степени, Бухара, 2007 г.
2. Есина, Г. Ф., Терентьева И. В., Кузин С. К., Кухарчик М. М. Практическое использование возможностей продуктов растворения коллагена (ПРК) при обработке меховых шкур. Развитие меховой промышленности России. М. 2001.
3. Кухарчик, М. М., Есина Г. Ф., Терентьева И. В., Моисеева Л. В. Проблемы применения продуктов Растворения коллагена в меховом производстве. Новое в меховом производстве. Сборник научных трудов. М.1999.
4. Новое применение природного коллагена. Expanded applications of natural collagen fabric// Techno Jap., — 14, N 3. — С/ 109. Реферативный журнал Химия. 19 ф. Технология полимерных материалов. 1992, № 3 — С.23.
5. Модифицированный порошок кожи и композиционный материал на его основе: Заявка 1–197600 Япония, МКИ<sup>2</sup> С 14 В 7/04, С08 L 89/06/Кавамура Ясухару; Идэмицу сэкию кагаку к.к. — № 63–19562; Заявил. 01.02.88; Опубл. 09.08.89// Кокай токе кохо. Сер. 3 (3). — 1989. — 81. — С.719–725.

6. Производство натурального тонкого кожевенного порошка. Композиции на основе его и синтетической кожи: Заявка 1200740 Япония, МКИ<sup>4</sup> С 14 В 02 С 18/19/ Накамото Масахиро; Хосакава микурон к.к. — № 63—31674; Заявил. 13.02.88; Опубл. 09.08.89// Кокай токкё кохо. Сер. 3 (3).— 1989.—86.— С.857—861.
7. Реферативный журнал Химия. 19 Ф. Технология полимерных материалов. 1990, № 15.— с. 42.

## Особенности логистики медицинских грузов

Осипова Наталья Петровна, студент  
Государственный университет управления

Во все времена невозможно обойтись без медицины. Существует большое количество медицинских грузов. Медицинские грузы бывают нескольких типов: медицинские лекарственные средства, медицинское оборудование, биологические материалы. Необходимо поставлять медицинские грузы во все города нашей страны. В связи с этим необходимо соблюдать четкие правила транспортировки медицинских грузов. Перевозка медицинских грузов является сложным процессом, к которому нужно подходить очень ответственно. Перевозка данных грузов должна осуществляться перевозчиками, обладающими большим опытом и высокой степенью ответственности.

Существуют федеральные стандарты, в которых обозначены правила перевозки и хранения медицинских препаратов разного воздействия, на основе которых происходит транспортировка фармацевтических препаратов и биологического материала по территории России.

Медицинские грузы различаются по характеру перевозки: не требующие особых условий и требующих особых условий перевозки и хранения. Далее подробно рассмотрим особенности перевозки описанных выше типов медицинских грузов.

К медицинским грузам, не требующих особых условий при перевозке можно отнести мягкий медицинский инвентарь (шприцы, бинты, вата и т.д) и некоторые лекарственные препараты (таблетки). Данные медицинские грузы можно перевозить любым видом транспорта без специальной упаковки.

Чаще всего транспортировку медицинских грузов по территории России осуществляют автомобильным и железнодорожным видом транспорта. В отдаленные уголки нашей страны медицинские грузы перевозят авиационным видом транспорта. Транспортировка лекарственных средств регламентируется широким перечнем российских и международных стандартов, которые обязательно нужно понимать и соблюдать.

К медицинским грузам, требующих особых условий при транспортировке относятся фармацевтические препараты (препараты в стеклянных бутылках, свечи, крема и т.д), различное медицинское оборудование, биологический материал.

### Фармацевтические препараты

Лекарственные препараты, как правило, перевозятся в специальных рефрижераторах или изотермических фургонах (см. рисунок 1). Рефрижераторные фургоны оснащены специальным холодильным аппаратом, в котором можно настроить специальную температуру. Для установления правильной температуры холодильного аппарата необходимо руководствоваться рекомендациями к доставке и хранению, указанной на внешней упаковке препаратов, а также в сопроводительной документации. Помимо соблюдения температурного режима нужно соблюдать полную герметичность упаковки и чистоту рефрижераторного фургона — для сохранения физико-химических свойств и порчи препаратов под воздействием посторонних запахов.

Фармацевтические лекарственные средства могут отличаться не только по внешним признаками, но и по составу. Следовательно, при транспортировке фармацевтических препаратов требуется учитывать некоторые особенности. Например, психотропные и сильнодействующие препараты ни в коем случае нельзя перевозить вместе с препаратами, не обладающими сильными свойствами в одном и том же фургоне, так как это написано в правилах перевозки и хранения медицинских препаратов. Перед тем, как приступить к транспортировке разных видов лекарственных препаратов, нужно изучить особенности каждого препарата.

Перед транспортировкой фармацевтических препаратов необходимо провести санитарную обработку кузова автомобиля. Нужно учитывать все нюансы. Например, лекарственное сухое сырье, растительного происхождения, может впитывать в себя запахи и быстро поддаваться негативному воздействию микроорганизмов. Для предотвращения таких негативных явлений, прежде чем приступить к транспортировке фармацевтических препаратов, специалист обязан произвести обработку кузова и дезинфекцию, после чего проветрить его.

Многие медицинские грузы необходимо правильно упаковывать, а также наносить специальную маркировку (беречь от влаги, не катить, хрупкое и т.д) (см. рисунок 2). Маркировка медицинских грузов позволит ускорить про-



Рис. 1. Рефрижераторный кузов

цесс погрузки и разгрузки, а также облегчит акт приема товара.

Для медицинских грузов, в частности хрупких лекарственных средств (например, во флаконах, ампулах и др.) используется особая тара, благодаря которой можно избежать внешних повреждений и доставить лекарства целыми. В большинстве случаев, в этих целях используется гофрированный картон или воздушно-пузырьковая пленка, так как именно эта тара является наилучшим вариантом для транспортировки хрупких лекарственных средств.

В случае, если на потребительской упаковке фармацевтических средств замечены повреждения, то для перевозки таких медикаментов необходим рефрижератор, в котором имеется специальная карантинная зона, которая выделяется в кузове машины специальным отсеком, изолированным от других перевозимых лекарств, и маркируется специальными знаками. Опасные грузы маркируются знаком «опасный груз» (к примеру, лекарства, обладающие иммунобиологическими, психотропными и сильнодействующими свойствами и т.д.) и перевозятся в опломбированном рефрижераторе под надзором ответственного лица.

### Перевозка медицинского оборудования

Для перевозки медицинского оборудования тоже необходимы специальные требования.

Необходимо знать все точные параметры и характеристики груза. Исходя из особенностей каждого груза подбирается наиболее подходящий вид транспортировки. Другим существенным фактором является — расстояние, на которое объект будет перемещен. В международных

перевозках, которые к тому же нужно осуществить быстро, отдают предпочтения авиационным транспортировкам. Так же доставить груз возможно с помощью железнодорожного, автомобильного и морского способа транспорта. Самым доступным по цене считается железнодорожный транспорт, особенно перевозке жд способом отдается предпочтение при больших партиях груза. Данный вид пользуется популярностью при интернациональных перевозках.

Водные суда также могут перевозить немаленькие объемы груза. Это следующий по стоимости способ транспортировки. Но главная особенность и сложность этого метода — местность и повышенная влажность, которая зачастую является недопустимой для груза. Однако если груз не требует особых условий, то зачастую его можно перевозить морем, причем грузоперевозки водным транспортом довольно выгодны.

Но самым распространённым и удобным видом транспорта для перевозки медицинской техники является автомобильный.

При доставке техники на автомобиле есть возможность подобрать идеальное транспортное средство. Учитывается грузоподъемность и вместимость транспорта. У профессиональных транспортных компаний, имеется широкий автопарк соответствующий требованиям для провозки таких грузов. Перевозка оборудования автомобилем чаще всего используется, когда расстояние составляет не более 500 км. У автомобильной транспортировки имеется еще одна особенность — сопровождение. Медицинским грузам иногда требуется сопровождение ГАИ или медиков, ввиду дорого стоимости груза или срочности его доставки.



Рис. 2. Маркировка грузов

Медицинского оборудование, это совершенно особый вид груза. Сложные конструкции высокотехнологичного оборудования имеют точную настройку и требуют сверхбережного обращения в процессе перевозки. Необходимо подобрать подходящий вид упаковочного материала, благодаря которому техника будет находиться в безопасности. Аппараты искусственного дыхания, томографы, лазерные аппараты очень чувствительны к тряскам, перепадам температуры, осадкам и прочим условиям грузоперевозки.

Из-за этого нужно быть особенно внимательным к способу транспортировки и выбирать метод в зависимости от характеристик каждого груза. В экстремальных случаях требуется скоростная доставка медицинского

оборудования. От того, насколько быстро она будет выполнена, зависят жизни и здоровье людей. Для срочных доставок небольших по габаритам медицинских приборов используется авиатранспорт.

Исходя из вышеописанного, можно сделать вывод о том, что особенность логистики медицинских грузов заключается в четком соблюдении правил перевозки и хранения, а также высокой ответственностью перевозчика. Это один из сложнейших для перевозки видов грузов. Из-за ряда особенностей и специфики каждого вида медицинских грузов, существуют логистические компании, занимающиеся исключительно перевозкой медицинских грузов, что в лишний раз доказывает насколько это сложный и трудоемкий процесс.

#### Литература:

1. Авдокин, Б. Рынок медицинской техники [Электронный ресурс] / Б. Авдокин, В. Мурков, Т. Куренкова. — <http://www.electronics.ru>
2. Неруш, Ю. М. Логистика: учебник для студентов вузов / Ю. М. Неруш. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000. — 389 с.
3. Сханова, С. Э., О. В. Попова О. В., Горев А. Э. Транспортно-экспедиционное обслуживание: Учеб. пособие. М.: Издательский центр «Академия», 2005. — 432с.
4. Чернышков, В. А. Грузоведение: учебное пособие. 2000. — 120 с.
5. Егорова, Н. В. Управление качеством перевозки медицинского оборудования автомобильным транспортом дис. на соиск. учен. степ. канд. эконом. наук (08.00.5) / науч. рук. Степанов А. А.; ГУУ. — Москва, 2013. — 183 с.
6. Транспорт, управление, логистика. 2013. <http://transporton.ru>
7. Грузоведение, сохранность и крепление грузов. / Под ред. А. А. Смехова. М.: Транспорт. 1989. 247 с.

## Электронная справочно-обучающая система поддержки научных разработок

Пахомова Юлия Владимировна, кандидат технических наук, доцент;  
Скрипникова Светлана Геннадьевна, студент  
Сироткин Алексей Олегович, студент  
Загребнев Роман Сергеевич, студент  
Тамбовский государственный технический университет

*В статье представлены подходы, разрабатываемые авторами на кафедре «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность» по внедрению результатов научных исследований в практику обучения бакалавров и магистров.*

**Ключевые слова:** курс, исследование, дисперсная система, кинетика, сушка, система.

Практический курс большинства дисциплин, входящих в систему подготовки бакалавров и магистров, как правило, включает в себя выполнение лабораторных работ, расчет и обоснование полученных при выполнении лабораторных работ результатов, практикум решения типовых задач и курсовое проектирование.

Наибольшую важность для освоения и применения современных знаний имеет возможность переноса полученных в результате проведения научных исследований данных в учебную практику. Особенно это касается лекционного материала и исследовательских курсовых проектов.

При выполнении курсового проекта студент не только углубляет свои знания в теоретической и практической стороне рассматриваемого процесса, но и приобретает навыки самостоятельного научного исследования, поиска правильного пути решения конкретных практических задач, понимания взаимосвязи научной гипотезы или закона с экспериментом, а также закрепляет полученные ранее теоретические знания и практические навыки.

Приведем пример подобного перехода знаний из области научных исследований в область учебных курсов. На кафедре «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность» проводились исследования по сушке капель жидких дисперсных продуктов.

В процессе высушивания капель исследуемых жидкостей (воды, эталона, послеспиртовой барды) изменялась форма поверхности капли, ее размер и цвет поверхности. Для решения задач тепло-массопереноса знание истинной формы капли в заданный момент времени является весьма важным.

Проводились эксперименты по изучению кинетики сушки капель воды и жидкой послеспиртовой барды на твердой горизонтальной диффузионно-непроницаемой подложке [1, с. 633].

В качестве подложки был выбран фторопластовый диск. Адгезия воды к поверхности подложки минимальная. Это подтверждается визуальными наблюдениями за процессом нанесения капли на поверхность и процессом одностороннего бокового обдува подложки с каплей. Так например, при скорости обдува около 5 м/с капля начи-

нает деформироваться и уноситься с подложки. Дальнейшее увеличение скорости воздуха (более 7 м/с) приводит к полному сдуву капли воды с подложки.

Жидкая барда может содержать до 93% воды. Однако ее смачивающие способности гораздо выше, чем у воды. Нами проводились эксперименты по определению угла смачивания барды и фторопласта, однако они показали, что имеется сильная зависимость угла смачивания от свежести барды, режима работы бражной колонны и чистоты поверхности фторопласта [4, с. 621].

Можно утверждать, что барда имеет хорошую адгезию к фторопласту и угол смачивания может лежать в диапазоне от 45 до 90 град. Капля барды, нанесенная на дисковую фторопластовую подложку сохраняет форму при боковом обдуве при скоростях воздуха до 8–9 м/с.

Для анализа характера изменения формы и размеров высыхающих капель использовалась макро-фото-видеосъемка. Как показал анализ видеозаписей характер высыхания капли воды и капли жидкой барды разный. Для воды характерно изменение положения линии контакта жидкость-твердое тело во времени (т.н. режим депиннинга) [5, с. 278].

Для жидкой барды наоборот, характерно постоянство положения линии контакта жидкость-твердое тело во времени (т.н. режим пиннинга). В процессе испарения капли жидкой барды с поверхности подложки толщина капли постоянно изменяется, а диаметр капли остается постоянным

Полученные результаты исследований обладают научной новизной, их применение при обучении студентов по курсам «Процессы и аппараты химических производств» и «Математическое моделирование технологических процессов» является весьма актуальной задачей.

На кафедре «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность» существуют, составленные на основе многолетнего опыта, разнообразные задания, методические указания по выполнению типовых лабораторных и курсовых работ, связанных с тематикой сушки жидких дисперсных продуктов [2, с.339].

Теоретический материал по расчетам типовых процессов и аппаратов химической технологии широко представлен в специальной литературе, выдается на тео-

ретических занятиях, лекциях и частично в процессе практических занятий по решению типовых задач.

Наибольшую трудность при конкретных расчетах у студентов вызывает доступ к надежным справочным данным, таким как стандартные размеры и виды конструкций аппаратов и их составных частей, типовые размеры деталей, физико-химические свойства различных материалов. Эти данные разрознены по справочной литературе и зачастую физически недоступны для студента.

Поэтому, для систематизации теоретических и практических данных по существующим на кафедре «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность» курсам создана электронная обучающая справочная система, имеющая возможность постоянного систематизированного обновления, за счет добавления в нее результатов научных исследований [3, с 293].

В процессе создания системы были пройдены следующие этапы разработки и развития проекта:

1. Разработана структура электронной системы;
2. Определен состав необходимых баз данных и проведено их предварительное заполнение;
3. Разработана система запросов к базам данных;
4. Произведено Альфа тестирование полученной системы.

В результате предварительного тестирования системы был произведен учет недостатков системы и пожеланий тестировавших. Была выработана схема общей подсистемы запросов к базам данных и система дополнения новыми знаниями.

В результате в системе имеется теоретическая часть, часть с примерами решения типовых задач, система контекстного поиска и помощи к теоретической части и части примеров.

На данный момент производится дальнейшее тестирование электронной системы в области объединения баз данных, подсистемы запросов, теоретической части, части примеров, контекстной помощи и поиска в единый программный комплекс.

#### Литература:

1. Пахомов, А.Н. Возможности самоорганизации дисперсных систем при сушке на подложке / А.Н. Пахомов, Ю.В. Пахомова, Е.А. Ильин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. — 2012. — Т. 18, № 3, — С.633–637
2. Пахомов, А.Н. Расчет кинетики сушки капли жидкости на подложке / А.Н. Пахомов, Б.Ш. Д. Аль Саиди, Е.А. Ильин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. — 2013. — Т. 19, № 2, — с. 339–345.
3. Пахомов, А.Н. Алгоритм расчета кинетики испарения капли с диффузионно-непроницаемой подложки / А.Н. Пахомов, Е.А. Ильин // «Вопросы современной науки и практики». — Университет им. В.И. Вернадского, № 2 (45), 2013 г. — с. 292–296
4. Пахомов, А.Н. Типы кинетических кривых, получаемых при сушке капель жидких дисперсных продуктов / А.Н. Пахомов, Ю.В. Пахомова // Химическая технология. 2014. № 10. — с. 620–623.
5. Пахомова, Ю.В. Выбор характерных высушиваемых пастообразных материалов / Ю.В. Пахомова, Д.А. Кривошолова, В.В. Кочетов, М.А. Мамедова // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). — с. 277–279.

Разработанная система объединяет обширные теоретические знания в рассматриваемых в курсах «Процессы и аппараты химических производств» и «Математическое моделирование технологических процессов» областях тепло-массообмена со всеми необходимыми для расчетов и проектирования справочными данными. Представление справочных данных в электронном виде позволяет эффективно использовать их в расчетных программах на ЭВМ.

Учебный материал представлен в системе в текстовом виде снабженном рисунками, гиперссылками, контекстной справкой и поиском. Представление теоретических данных в текстовом виде, снабженном рисунками, позволяет студенту на экране компьютера ознакомиться с расчетом данного процесса, просмотреть принцип и методы решения задачи, посмотреть общий вид аппаратов и связанные с ними графики и диаграммы.

Использование гиперссылок (текстовых, графических и звуковых) позволяет сделать обычный текстовый документ нагляднее, а главное создает возможность навигации по документу и переход к отмеченным разработчиком местам документа.

Контекстная справка внутри документа позволяет выдать на экран определенные справочные данные, которые не приводятся в тексте.

Пример расчета процесса сушки содержит

- алгоритм расчета кинетики сушки
- блок-схема алгоритма расчета на ЭВМ
- результаты расчет с использованием описанных выше возможностей системы.

Расчет аппарата с использованием возможностей системы включает в себя справочную информацию об использовании системы как программного продукта, а также указания по практическому применению тех или иных данных полученных с помощью компьютера. Справочная информация об использовании системы как программного продукта, представляет собой описание возможностей системы, принципа ее работы. Она дает ответы на вопросы об установке системы на компьютер, конфигурировании системы и работы с ней.

## Матричный способ представления алгоритма

Поляков Владимир Сергеевич, кандидат технических наук, доцент  
Волгоградский государственный технический университет

*В работе рассмотрен вопрос представления алгоритма в матрично-предикатном виде в модульной и в матрично-предикатной форме. Показано, что при большой разреженности получаемы матриц их можно заметить на таблицы, то есть задавать алгоритм в таблично-предикатной форме.*

**Ключевые слова:** алгоритм, предикат, матрица, таблица, граф.

Классическое представление алгоритма — словесное или в виде блок-схем — несмотря на то, что отличается легкостью восприятия и наглядностью, имеет существенный для определенного класса задач недостаток — низкую формализацию. Особенно важно это в случаях составления алгоритмов для параллельных процессов, работы сложных многокомпонентных и многокритериальных систем. В этих случаях необходимо снизить уровень эвристики и повысить уровень формализма. Следовательно, желательно представить алгоритм в виде упорядоченной структуры. Таковой и являемся матричная форма, в структуру которой входят элементы теории предикатов, способ задания которой и рассматривается ниже.

В графическом виде алгоритм изображается последовательностью связанных между собой функциональных блоков, каждый из которых соответствует выполнению одного или нескольких действий. Такое представление называется схемой алгоритма, или блок-схемой, или граф-схемой алгоритма (ГСА).

В настоящее время алгоритмы рассматриваются как последовательностные структуры, то есть выполнение операций осуществляется последовательно.

Рассмотрим произвольную ГСА (рис. 1).

Здесь:

$A = \{ A_0, A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_k \}$  — вершины, определяющие выполнение отдельных операций, будем называть функциональными блоками или блоками действия;

$\alpha = \{ \alpha^2, \alpha^3, \alpha^4, \alpha^5, \alpha^{40} \}$  — вершины, определяющие логику (порядок) выполнения алгоритма, будем называть предикативными или логическими блоками.

Задание алгоритма в виде ГСА имеет ряд недостатков:

- переход от выполнения одной операции к выполнению другой в некоторых случаях ничем не обозначен, например, вершины  $A_0 \rightarrow A_1 \rightarrow A_2$ , здесь подразумевается, что после выполнения операции  $A_1$  следует переход к выполнению операции  $A_2$ , хотя такой переход ничем не фиксируется;

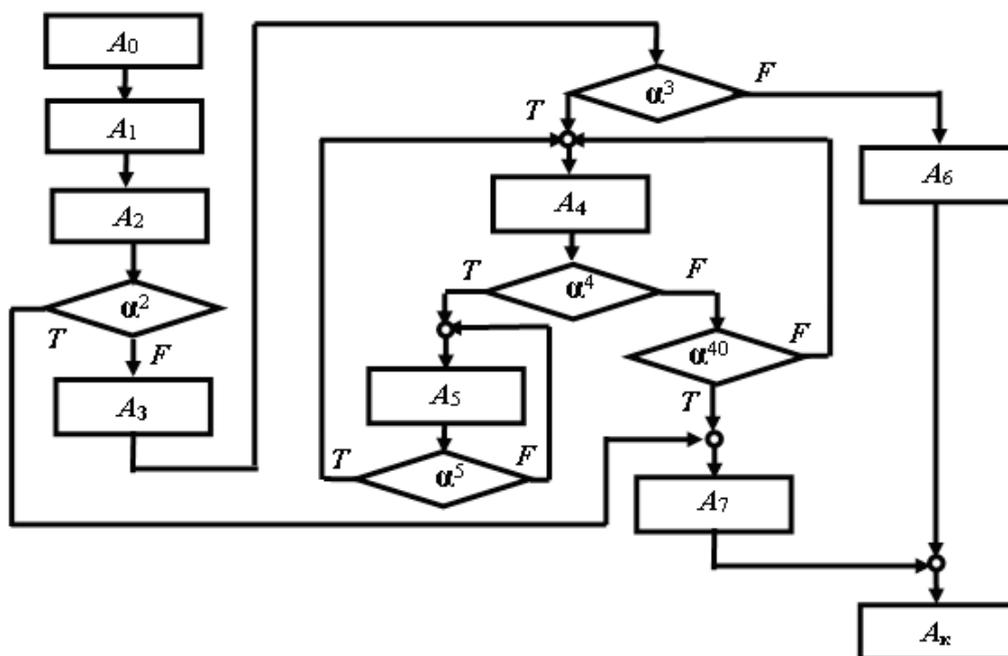


Рис. 1. Граф-схема алгоритма

– условия, определяющие порядок выполнения алгоритма, часто задаются несколькими логическими функциями, например  $\alpha^4 - \alpha^{40}$ , что усложняет рассмотрение алгоритма.

Первый из этих недостатков устраняется путём объединения двух или нескольких операторов действия в один, например, вершины  $A_0 - A_1 - A_2$ , заменяют на оператор  $A_{012}$ , или окончание каждого из функциональных операторов действия фиксируется окончанием зоны их действия.

Второй из этих недостатков устраняется путём объединения нескольких логических функций одной известными приёмами алгебры логики.

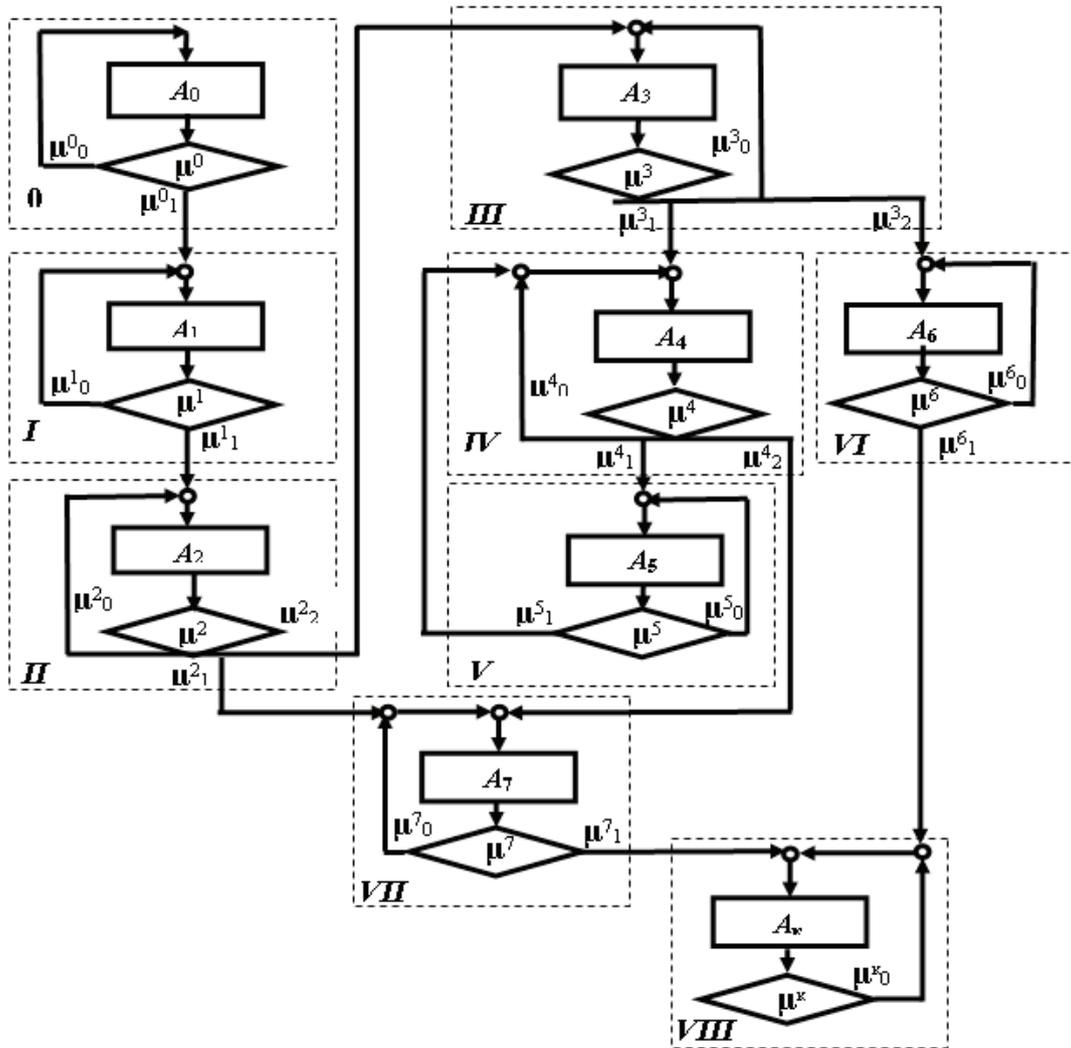


Рис. 2. «Доопределённая» граф-схема алгоритма

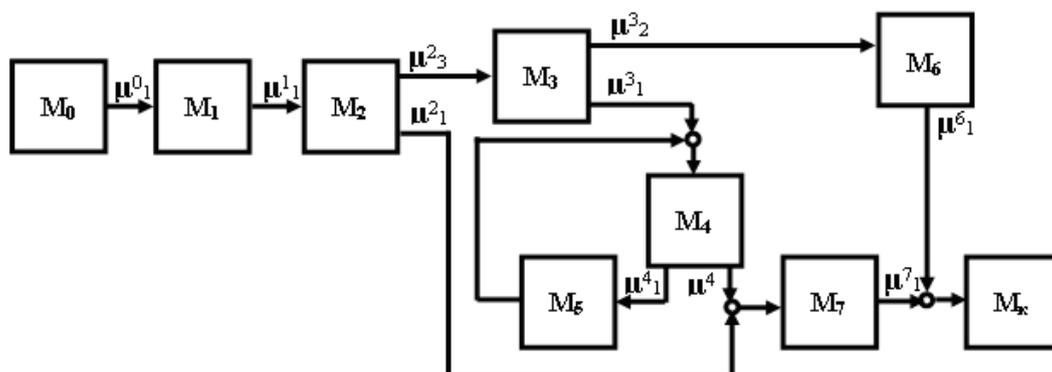


Рис. 3. Изображение алгоритма в модульном исполнении



$$M^{A*} = \begin{pmatrix} A_0\mu^0\mu^0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & A_0\mu^0\mu^0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & A_1\mu^1\mu^1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & A_1\mu^1\mu^1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & A_2\mu^2\mu^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & A_2\mu^2\mu^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & A_3\mu^3\mu^3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & A_3\mu^3\mu^3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & A_4\mu^4\mu^4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & A_4\mu^4\mu^4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & A_5\mu^5\mu^5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & A_5\mu^5\mu^5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & A_6\mu^6\mu^6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & A_6\mu^6\mu^6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & A_7\mu^7\mu^7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & A_7\mu^7\mu^7 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & A_8\mu^8\mu^8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & A_8\mu^8\mu^8 \\ \mu^0\mu^0\mu^0 & \mu^1\mu^1\mu^1 & \mu^2\mu^2\mu^2 & \mu^3\mu^3\mu^3 & \mu^4\mu^4\mu^4 & \mu^5\mu^5\mu^5 & \mu^6\mu^6\mu^6 & \mu^7\mu^7\mu^7 & \mu^8\mu^8\mu^8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu^1\mu^1\mu^1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu^2\mu^2\mu^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu^3\mu^3\mu^3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu^4\mu^4\mu^4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu^5\mu^5\mu^5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu^6\mu^6\mu^6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu^7\mu^7\mu^7 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu^8\mu^8\mu^8 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Рис. 6. Функционально-предикативное представление алгоритма в матрично-предикатном виде

очень громоздким. Это происходит из-за большой разреженности исходных матриц. Например, квадратная матрица (рис. 5) содержит 324 элемента, а значащих (ненулевых) всего 47.

Такое соотношение значащих и нулевых элементов матрицы наводит на мысль использовать для представления алгоритма таблицу составляемую следующим образом.

Предположим, что рассматриваемый алгоритм (как оператор действия, так и оператор логики) представляют собой истинные значения двенадцатиместного предиката, описывающего рассматриваемый процесс.

Второе, третье и четвёртое места определяют процесс функционирования компонента. Места с 4-го по 12-е определяют свойства, положение, время функционирования и другие характеристики объекта в данной точке процесса.

Первая и последняя строки определяют связи истинных значений предиката между собой. Такую форму задания алгоритма будем называть таблично-предикатной.

Таблично-предикатная форма задания рассматриваемого алгоритма представлена ниже.

№ строк	1-е место	2-е место	3-е место	4-е место	5-е место	6-е место	7-е место	8-е место	9-е место	10-е место	11-е место	12-е место	К строке
1													
2													
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
<i>n</i>													

Три места предиката,  
определяющие процесс  
функционирования  
компонента

Девять мест предиката,  
определяющие параметры  
функционирующего  
компонента

Рис. 7. Фрагмент задания алгоритма в таблично-предикатной форме

Рассмотрим матрично-предикатное представление алгоритма в модульном виде (рис. 5) и переход к таблично-предикатной форме. На рисунке (рис. 8) представлена таблично-предикатная форма задания рассмотренного алгоритма.

На рисунке (рис. 8) пунктиром выделены модули, 1–4 строчки — это первый модуль — I, 6–9 — это второй — II. После выполнения модуля I происходит выполнение перехода  $\mu^0 - \mu^0_1 - A_1$  (строка 5) и переход к выполнению модуля II.

№ строки	1-е место	2-е место	3-е место	4-е место	5-е место	...	11-е место	12-е место	К строке
1	$A_0$	$\mu^0_0$	$A_0$			...			1
2	$A_0$	$\mu^0_0$	$\mu^0$			...			3
3	$\mu^0$	$\mu^0_0$	$\mu^0$			...			3
4	$\mu^0$	$\mu^0_0$	$A_0$			...			1
5	$\mu^0$	$\mu^0_1$	$A_1$			...			6
6	$A_1$	$\mu^1_0$	$A_1$			...			6
7	$A_1$	$\mu^1_0$	$\mu^1$			...			8
8	$\mu^1$	$\mu^1_0$	$\mu^1$			...			8
9	$\mu^1$	$\mu^1_0$	$A_1$			...			6
10	$\mu^1$	$\mu^1_1$	$A_2$			...			11
11	$A_2$	$\mu^2_0$	$A_2$			...			11
12	$A_2$	$\mu^2_0$	$\mu^2$			...			13
13	$\mu^2$	$\mu^2_0$	$\mu^2$			...			13
14	$\mu^2$	$\mu^2_0$	$A_2$			...			11
15	$\mu^2$	$\mu^2_2$	$A_3$			...			17
16	$\mu^2$	$\mu^2_1$	$A_7$			...			39
17	$A_3$	$\mu^3_0$	$A_3$			...			17
18	$A_3$	$\mu^3_0$	$\mu^3$			...			19
19	$\mu^3$	$\mu^3_0$	$\mu^3$			...			19
20	$\mu^3$	$\mu^3_0$	$A_3$			...			17
21	$\mu^3$	$\mu^3_1$	$A_4$			...			23
22	$\mu^3$	$\mu^3_2$	$A_6$			...			34
23	$A_4$	$\mu^4_0$	$A_4$			...			23
24	$A_4$	$\mu^4_0$	$\mu^4$			...			25

25		$\mu^4$	$\mu^4_0$	$\mu^4$				...			25
26		$\mu^4$	$\mu^4_0$	$A_4$				...			23
27		$\mu^4$	$\mu^4_1$	$A_5$				...			29
28		$\mu^4$	$\mu^4_2$	$A_7$				...			39
29		$A_5$	$\mu^5_0$	$A_5$				...			29
30		$A_5$	$\mu^5_0$	$\mu^5$				...			31
31		$\mu^5$	$\mu^5_0$	$\mu^5$				...			31
32		$\mu^5$	$\mu^5_0$	$A_5$				...			29
33		$\mu^5$	$\mu^5_0$	$A_4$				...			23
34		$A_6$	$\mu^6_0$	$A_6$				...			34
35		$A_6$	$\mu^6_0$	$\mu^6$				...			36
36		$\mu^6$	$\mu^6_0$	$\mu^6$				...			36
37		$\mu^6$	$\mu^6_0$	$A_6$				...			34
38		$\mu^6$	$\mu^6_1$	$A_x$				...			44
39		$A_7$	$\mu^7_0$	$A_7$				...			39
40		$A_7$	$\mu^7_0$	$\mu^7$				...			41
41		$\mu^7$	$\mu^7_0$	$\mu^7$				...			41
42		$\mu^7$	$\mu^7_0$	$A_7$				...			39
43		$\mu^7$	$\mu^7_0$	$A_x$				...			44
44		$A_x$	$\mu^x_0$	$A_x$				...			44
45		$A_x$	$\mu^x_0$	$\mu^x$				...			46
46		$\mu^x$	$\mu^x_0$	$\mu^x$				...			46
47		$\mu^x$	$\mu^x_0$	$A_x$				...			44

Рис. 8. Таблично-предикатная форма алгоритма заданного в модульном виде

Таким образом, кроме общепринятых способов алгоритм может быть задан в матрично-предикатном или таблично-предикатном виде.

Литература:

1. Построение формального описания технологического процесса в матрично-предикатной форме / В.С. Поляков, С.В. Поляков, П.В. Федченков // Известия ВолгГТУ. Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении». Вып. 9: межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. — Волгоград, 2013. — № 7 (110). — С. 105–108.
2. Поляков, В.С., Поляков С.В. Запись алгоритма матрицей инцидентора // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. Инфо 2014: матер. XI междунар.научн. — практ. Конф. (г. Сочи, 1–10 окт. 2014) /Национальный исследовательский ун-т «Высшая школа экономики» [и др.]. — М., 2014. — с. 149–152.
3. Использование нагруженных матриц инцидентора (операторов) для моделирования сложных систем / В.С. Поляков, С.В. Поляков // Контроль. Диагностика. — 2013. — № 3. — С. 57–62.
4. Поляков, С.В., Сластинин С.Б., Поляков В.С. Исключение изоморфизма при операциях над графами, описывающими технологический процесс. // Контроль. Диагностика — 2006. — № 1

## Оценка влияния резервирования контроллера SDN на надежность сети

Постников Иван Николаевич, аспирант

Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики

В статье рассматривается влияние резервирования контроллера SDN сети предприятия на ее коэффициент готовности. Кроме того, производится исследование влияния интенсивности обнаружения отказов на надежность сети. На основании вычислений приходим к выводу о целесообразности использования резервирования в рассматриваемой сети.

**Ключевые слова:** надежность; интенсивность отказов; сеть предприятия; резервирование; SDN.

Программно-конфигурируемые сети (SDN) в настоящее время получают все большую популярность. На основе данной технологии возможно построение как магистральных сетей, так и сетей предприятия [1]. Ядро сети предприятия или отдельного крупного филиала в большинстве случаев строится с применением мощных маршрутизаторов и коммутаторов с обширным функционалом. Использование SDN при построении подобной сети позволит заменить совокупность этих устройств на обычный сервер и коммутаторы с более простым функционалом, но с поддержкой openflow. Целью данной работы является оценка влияния резервирования серверной инфраструктуры на отказоустойчивость сети предприятия

в целом. В дополнении к этому, произведена оценка влияния среднего времени обнаружения отказа на надежность сети.

Предметом исследования является сеть предприятия, построенная с применением идеологии SDN, т.е. используются дешевые коммутаторы с минимальным функционалом, а все интеллектуальные задачи — управление, маршрутизация, фильтрация трафика, связь с внешними сетями посредством протокола маршрутизации BGP обеспечивается контроллером SDN — сервером или кластером серверов. Преимуществом использования более одного сервера является тот факт, что при отказе одного из серверов перерыва связи не произойдет.

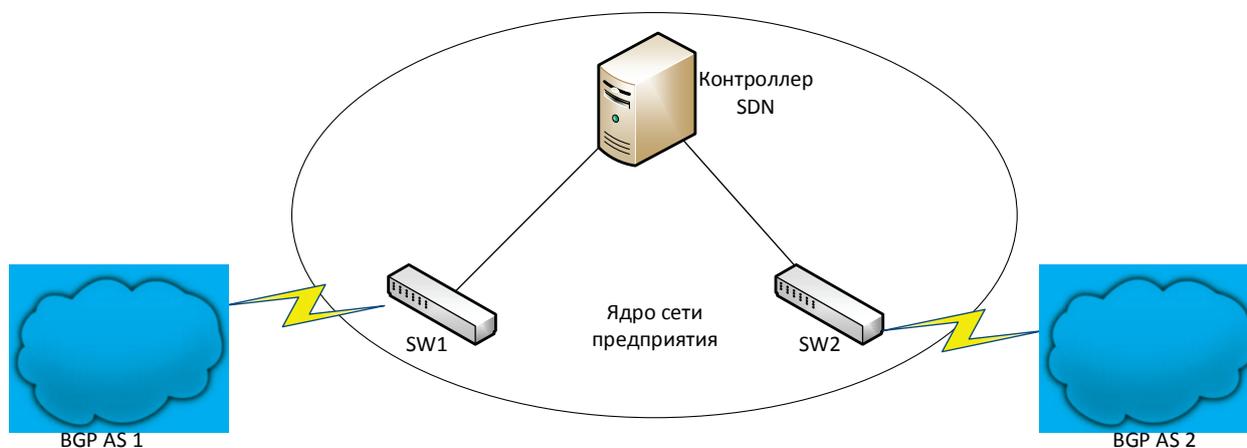


Рис. 1. Исследуемая сеть предприятия

На рисунке 1 представлена схема исследуемой сети, которая состоит из контроллера SDN и коммутаторов. Контроллер SDN является самым технически сложным устройством в данной сети, при отказе контроллера связь с внешними сетями будет полностью отсутствовать. Экономически для подобной сети предприятия обосновано использование не более двух серверов, а в большинстве случаев одного, иначе теряется выгода перед традиционными сетями передачи данных [2]. Для связи с внешними сетями, включая интернет, филиалы и т.д. используются два маршрута: через автономные системы BGP 1 и 2. Будем считать, что в случае отказа одного из марш-

рутов, оставшейся полосы пропускания достаточно для нужд офиса.

Рассматриваемая сеть считается неработоспособной при отказе сервера или двух серверов (в случае с резервированием), при одновременном отказе коммутаторов SW1 и SW2. Принимая во внимание вышеупомянутые условия оценим характеристики надежности сети при использовании SDN в реализации без использования резервного сервера и с резервным сервером. Вычисления проводятся для марковского процесса с дискретными состояниями в непрерывном времени, время нахождения в одном состоянии распределено по показательному закону.

Ниже приведен список состояний, принимаемых системой. При отсутствии резервирования система неработоспособна в состояниях 4, 5 и 6. При использовании резервирования система неработоспособна в состояниях 6 и 7.

- 1 — отказы отсутствуют;
- 2 — один коммутатор вышел из строя;
- 3 — восстановление коммутатора при работоспособном сервере (совокупности серверов);
- 4 — отказ одного сервера;
- 5 — отказ одного коммутатора и одного сервера;

6 — восстановление контроллера SDN (ремонт серверов, перенастройка систем виртуализации. При этом параллельно возможно восстановление коммутатора, которое занимает меньшее, чем восстановление сервера времени);

7 — SDN-контроллер, состоящий из двух серверов полностью неработоспособен.

В таблице 1 представлены переходы между состояниями системы при отсутствии резервирования контроллера SDN:

Таблица 1. Переходы между состояниями системы

Переход	Описание
	Система полностью работоспособна, происходит отказ коммутатора (коммутаторы используются как правило одинаковые, поэтому соответствующие интенсивности одинаковы, вероятностью одновременного отказа двух коммутаторов пренебрегаем).
	Система полностью работоспособна, происходит отказ сервера
	В рассматриваемой задаче принимаем во внимание случай, когда уже при имеющемся, но не обнаруженном отказе сервера или коммутатора происходит отказ коммутатора или сервера, соответственно.
	Если при отказавшем коммутаторе обнаруживается отказ, то переходим в состояние восстановления (ремонта)
	В ситуации, когда обнаружен отказ сервера (даже в совокупности с коммутатором), происходит переход в состояние восстановления сервера, при этом полагаем, что восстановление коммутатора, если она нужно, требует меньше времени, как бы происходит в фоновом режиме.
	Далее, происходит устранение отказов

Объединив все состояния и переходы между ними получаем граф:

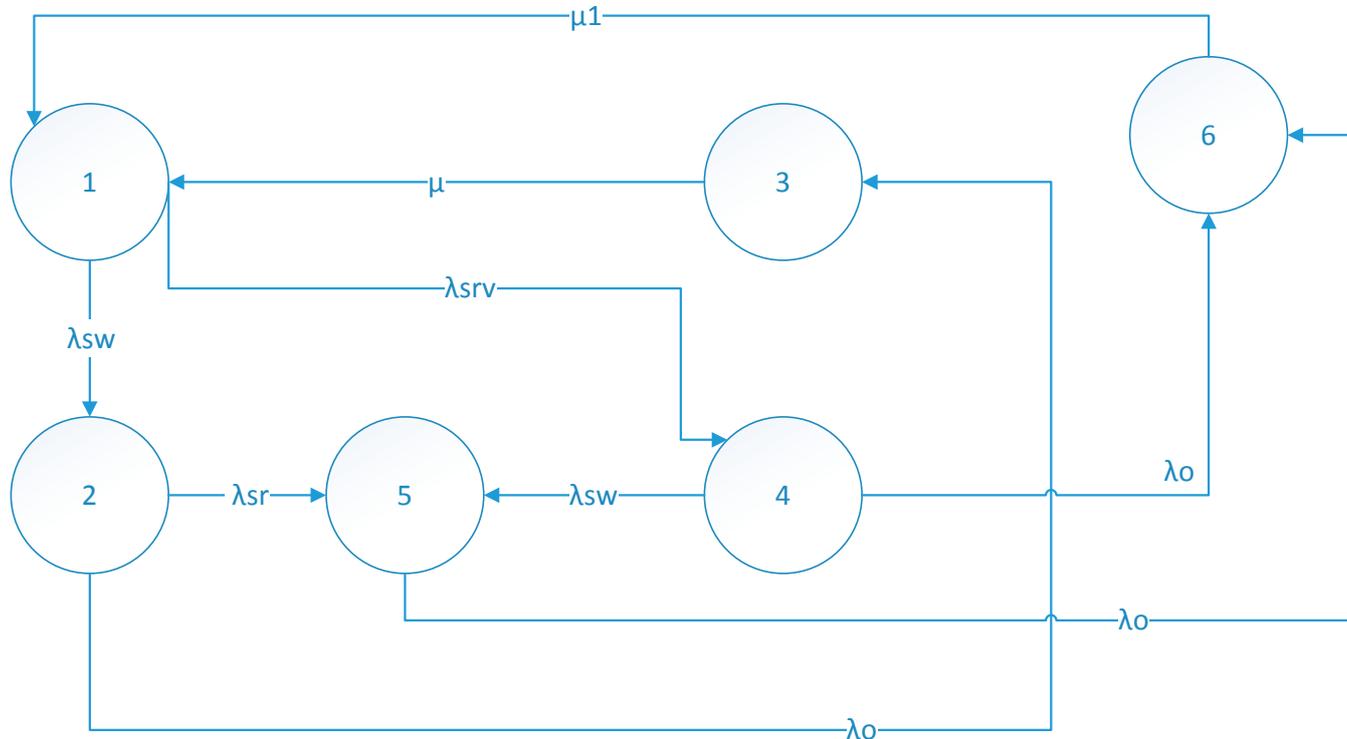


Рис. 2. Граф состояний сети предприятия

При резервировании контроллера добавляется состояние при котором совокупная система из серверов неработоспособна, например, программный отказ средств виртуализации. Соответственно, принимаем, что время, затрачиваемое на восстановление совокупной системы требуется больше, т.е.  $\lambda_2 > \lambda_1$ . Система попадает в со-

стояние «Отказа двух серверов» при уже имеющемся одном отказе сервера. В данном случае делается два допущения:

- В один момент времени может отказать один сервер;
- Считаем, что время на восстановление коммутатора значительно меньше и проходит как-бы в фоне.

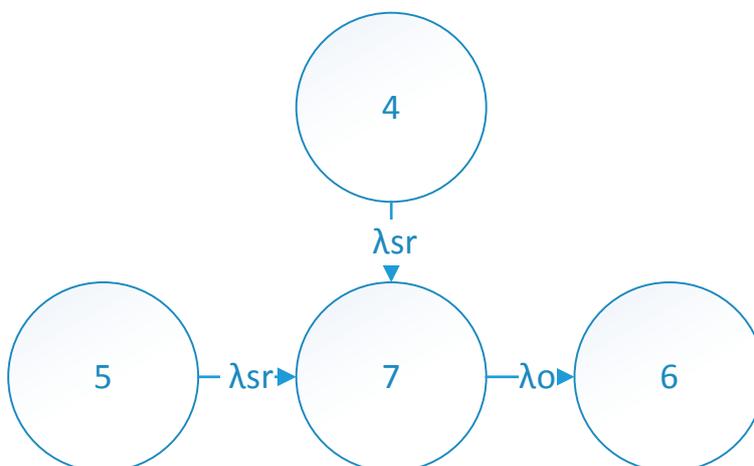


Рис. 3. Совокупная система из серверов неработоспособна

Переходы между состояниями происходят с интенсивностями, значения которых представлены в таблице 2.

Таблица 2. Значения интенсивностей

Обозначение	Описание	Значение
$\lambda_{sw}$	интенсивность отказов коммутатора	$1/516593 \text{ ч}^{-1}$ [3]
$\lambda_{sr}$	интенсивность отказа сервера SDN	$1/1700000 \text{ ч}^{-1}$ [4]
$\lambda_o$	интенсивность обнаружения отказов	$1/0,5-1/24 \text{ ч}^{-1}$
$\mu$	интенсивность восстановления коммутатора	$1/4 \text{ ч}^{-1}$
$\mu_1$	интенсивность восстановления контроллера SDN при использовании одного сервера	$1/6 \text{ ч}^{-1}$
$\mu_2$	интенсивность восстановления контроллера SDN из двух серверов	$1/9 \text{ ч}^{-1}$

После решения представленных задач с заданными числовыми характеристиками были получены значения коэффициентов готовности при отсутствии и использовании виртуализации, а также построены графики зависимости коэффициентов готовности от интенсивности

обнаружения отказов. Для конфигурации сети с использованием виртуализации построены два графика: с увеличенным временем восстановления контроллера и равным времени восстановления контроллера без виртуализации.

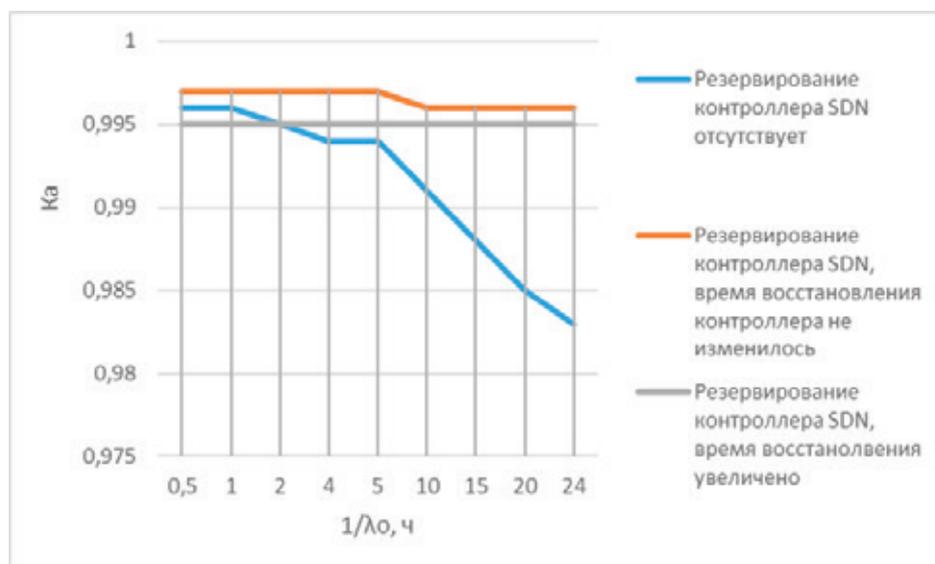


Рис. 4. Зависимость коэффициента готовности от среднего времени обнаружения отказа

По полученному графику можно сделать следующие выводы:

1. При прочих равных числовых характеристиках, значения коэффициентов готовности при разворачивании контроллера SDN с использованием двух серверов выше, чем при использовании только одного сервера. Кроме того, коэффициент готовности при резервировании менее зависит от времени обнаружения отказа, т.е. с увеличением времени обнаружения отказа значение коэффициента отказа уменьшается медленнее.

2. В реальности время восстановления кластера серверов занимает больше времени, отсюда, при малых зна-

чения времени обнаружения коэффициент готовности для сети с контроллером SDN, развернутом на одном сервере, больше. Однако, время обнаружения отказа имеет наименьшее влияние на коэффициент готовности сети при резервировании контроллера SDN.

Таким образом, при планировании сети предприятия с использованием контроллера SDN, использование кластера из серверов позволяет получить более надежную сеть даже при значительных временных промежутках до обнаружения отказа при условии отработки механизмов быстрого восстановления кластеров серверов.

Литература:

1. Dan Levin, Marco Canini, Stefan Schmid, Anja Feldmann. Incremental SDN Deployment in Enterprise Networks [Электронный ресурс]: Электрон. текстовые дан. — Режим доступа: <https://www.ietf.org/proceedings/89/slides/slides-89-sdnrg-1.pdf>, свободный.

2. Understanding Enterprise SDN [Электронный ресурс]: Электрон. текстовые дан. — Alliedtelesis, 2015. — Режим доступа: [http://www.alliedtelesis.com/userfiles/file/WP\\_Understanding\\_Enterprise\\_SDN\\_RevA.pdf](http://www.alliedtelesis.com/userfiles/file/WP_Understanding_Enterprise_SDN_RevA.pdf), свободный.
3. D-link. Gigabit Stackable Smart Managed Switches [Электронный ресурс]: Электрон. текстовые дан. — D-link, 2015. — Режим доступа: [http://www.dlink.com/-/media/Business\\_Products/DGS/DGS%201510/Datasheet/DGS\\_1510\\_Series\\_Datasheet\\_EN\\_EU.pdf](http://www.dlink.com/-/media/Business_Products/DGS/DGS%201510/Datasheet/DGS_1510_Series_Datasheet_EN_EU.pdf), свободный.
4. HP Performance Brief for External Audiences [Электронный ресурс]: Электрон. текстовые дан. — HP, 2007. — Режим доступа: [ftp.hp.com/pub/c-products/servers/benchmarks/dl380\\_spec2005\\_062707.pdf](ftp.hp.com/pub/c-products/servers/benchmarks/dl380_spec2005_062707.pdf), свободный.

## Синтез 1–D структур ZnO для фотовольтаики нового поколения<sup>1</sup>

Рябко Андрей Андреевич, студент;

Лашкова Наталья Алексеевна, студент

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

С развитием нанотехнологий наблюдается резкое повышение интереса к оксиду цинка. Оксид цинка является прямозонным полупроводниковым соединением с шириной запрещенной зоны  $E_g \approx 3,34$  эВ у объемного образца и  $E_g \approx 3,24$  эВ у пленки при 300 К,  $n$  — типа проводимости. Большое значение ширины запрещенной зоны делает материалы из ZnO прозрачными в видимом диапазоне. Контролируя уровень легирования, можно получать оксид цинка с металлической проводимостью при сохранении оптической прозрачности. Это делает его полезным для создания прозрачных электродов в плоских дисплеях и солнечных батареях [1]. Также большое значение ширины запрещенной зоны делает оксид цинка перспективным материалом для создания полупроводниковых лазеров и светодиодов в ультрафиолетовой области спектра. А большая энергия связи экситона (60 мэВ) позволяет получать интенсивное ультрафиолетовое свечение при температуре выше комнатной (до 550 К) [2]. Оксид цинка широко используется в сенсорах в качестве газочувствительных слоев [3]. Особый интерес вызывает использование ZnO в фотовольтаике. Возможно создание солнечного элемента на основе гетероперехода  $n$ -ZnO/ $p$ -CuO [4]. Так в работе [5] была показана возможность создания поликристаллического гетероперехода  $n$ -ZnO/ $p$ -CuO. В работе [6] был реализован солнечный элемент на основе гетероперехода  $p$ -CuO/ $n$ -ZnO: Sn и получены характеристики данного солнечного элемента. Для улучшения характеристик солнечных элементов на гетеропереходе ZnO/CuO возможно использование одномерных структур ZnO вместо тонкого слоя. Таким образом, достигается возрастание удельной площади контакта гетероперехода, которая может быть увеличена в сотни раз.

Оксид цинка перспективен и в солнечном элементе другого типа — ячейке Гретцеля или ячейке, sensibilizированной органическим красителем (англ. dye sensitized solar cells скор., DSSC). Классическим широко-

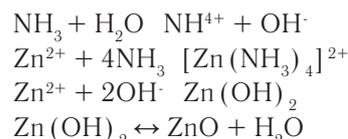
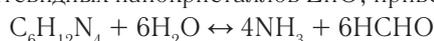
зонным полупроводником в ячейке Гретцеля выступает  $TiO_2$ . Замена мезопористых сетей из спеченных нанокристаллов диоксида титана на одномерные наноструктуры ZnO обещает увеличение эффективности солнечной ячейки. Поскольку таким способом обеспечивается снижение количества границ зерен, что уменьшает плотность электронных ловушек в широкозонных полупроводниковых фотоанодах. Подвижность электронов в ZnO на 2–3 порядка выше чем в анатазе  $TiO_2$ , поэтому потенциальным преимуществом оксида цинка в солнечных элементах будут не только быстрый перенос электронов, но и эффективные сбор и передача носителей заряда [7].

Также благодаря пьезоэлектрическому свойству, перспективно применение массивов нитевидных нанокристаллов ZnO в качестве материала для наногенератора, выступающего в роли «нанохарвестера», способного преобразовывать механические колебания, окружающие нас повсюду в электрическую энергию. «Нанохарвестеры» обладают особым преимуществом в сравнении со стационарными источниками возобновляемой энергии — мобильностью. Кроме того, преимуществом в сравнении с мобильными солнечными элементами является независимость от солнечного излучения, что является актуальным в северных широтах. Такой пьезо-наногенератор можно применить в качестве элементов питания, вшитых в одежду, для зарядки портативных электронных устройств. Такое применение «нанохарвестера» может оказаться чрезвычайно полезным для умной (электронной) одежды, у которой есть острая необходимость в автономной подзарядке [8]. Таким образом, формирование одномерных структур на основе оксида цинка является важнейшим этапом в создании возобновляемых источников энергии нового поколения.

В данной работе синтез одномерных структур на основе оксида цинка проводился «мягким» гидротермальным методом, поскольку гидротермальный метод об-

<sup>1</sup> Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14–12–00327).

ладает рядом преимуществ: низкие температуры синтеза ( $\approx 100^\circ\text{C}$ ), дешевизна метода, управление морфологией наноматериала варьированием таких параметров, как температура синтеза, продолжительность синтеза, типа подложки, концентрации прекурсоров, состав растворителя [9]. В качестве растворителя использовался раствор с эквимольными концентрациями гексаметилентетрамина и нитрата цинка равными 0,025 моль/л. Подложки погружались в пробирки с раствором. Далее пробирки, закрепленные в держателе, помещались в циркуляционный термостат. Температура синтеза составляла  $85^\circ\text{C}$ , так как температура необходимая для протекания реакции  $\text{Zn}(\text{OH})_2 \leftrightarrow \text{ZnO} + \text{H}_2\text{O}$  должна быть выше  $80^\circ\text{C}$ . Реакции, протекающие во время гидротермального синтеза нитевидных нанокристаллов ZnO, приведены далее:



После синтеза полученные образцы промывались дистиллированной водой. Важным этапом создания одномерных структур ZnO является создание зародышевого слоя. Наибольшее распространение для формирования тонких пленок получили такие методы, как SILAR-метод, спрей-пиролиз, золь-гель-технология [10] и др. В данной работе использовались два варианта зародышевого слоя. Первый — поликристаллический подслоя оксида цинка, сформированный методом спрей-пиролиза. Поскольку метод спрей-пиролиза является наиболее эффективным методом формирования тонких пленок [11]. Схема установки спрей-пиролиза представлена на рисунке 1.

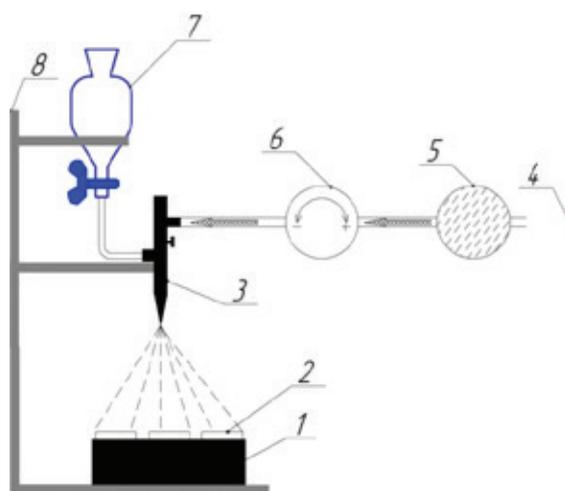


Рис. 1. Установка для спрей — пиролиза: 1—нагревательный элемент; 2 — подложки; 3 — пневматический аэрограф; 4 — компрессор; 5 — воздушный фильтр; 6 — регулятор давления; 7 — раствор в делительной воронке; 8 — штатив

На нагревательном элементе расположены подложки, на которые при помощи пневматического аэрографа происходит распыление жидких растворов. Газ — носитель, которым в данной работе является воздух, подается при помощи компрессора через фильтр и регулятор давления. Распыляемый раствор поступает из делительной воронки объемом 250 мл. Диапазон изменения расстояний  $L$  от сопла аэрографа до подложек менялся от 15 до 30 см. В качестве распыляемого раствора был использован раствор ацетата цинка  $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  с концентрацией 0.1 моль/л. Состав растворителя представляет собой смесь воды и изопропилового спирта в соотношении объемов 1:3. Для полного растворения использовалась уксусная кислота, доля которой составляла 0.01 от общего объема смеси. Также были получены слои оксида цинка, легированные алюминием (ZnO: Al). Для чего в раствор добавлялся гексагидрат хлорида алюминия  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Концентрация алюминия по отношению к цинку составляла 1–1.5 ат. %.

Во время синтеза температура подложки устанавливалась на значении  $380^\circ\text{C}$ , так как оптимальным температурным диапазоном является  $350\text{--}400^\circ\text{C}$ . Давление устанавливалось 1.4 бара, при этом наблюдалось наиболее однородный поток распыляемого раствора. Далее полученные слои ZnO подвергались отжигу в муфельной печи. Микрофотографии полученных слоев ZnO при расстоянии от сопла аэрографа до поверхности подложки 15 см (а) и 30 см (б) представлены на рисунке 2.

Второй вариант подслоя — этой слой наночастиц ZnO, нанесенный методом центрифугирования. Для получения растворов наночастиц оксида цинка гидроксид натрия массой 0,2 г растворяли в 100 мл изопропанола. Затем 0,067 г ацетата цинка растворяли в 100 мл изопропанола. Затем 10 мл из раствора гидроксида натрия смешивалось на магнитной мешалке с 100 мл раствора ацетата цинка с добавлением поливинилпирролидона для стабилизации роста. Нанесенный методом центрифугирования слой наночастиц также подвергался последующему отжигу в муфельной печи.

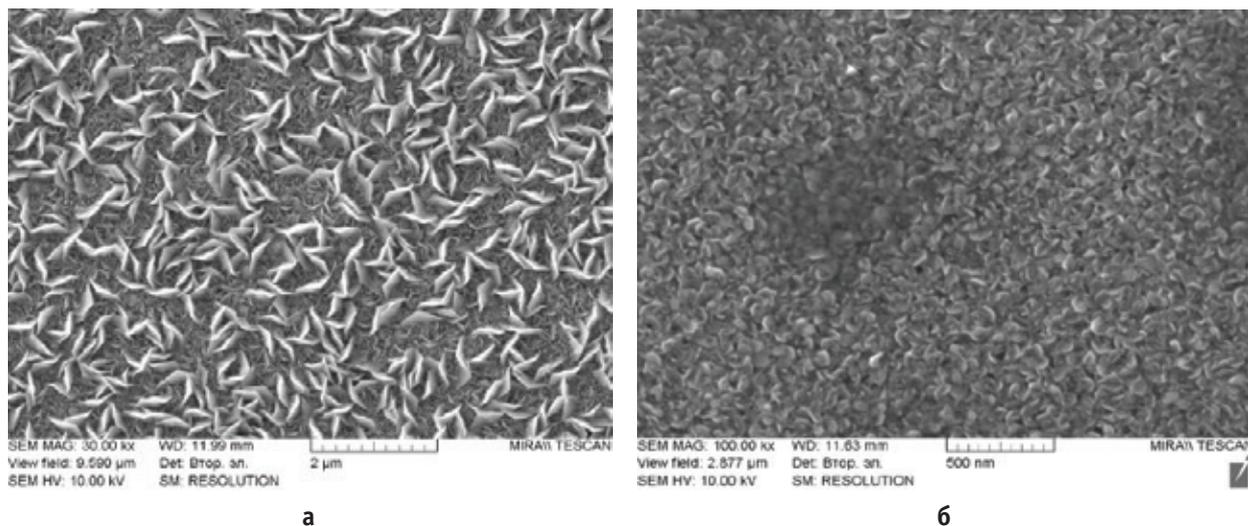


Рис. 2. РЭМ изображение слоев ZnO, полученных методом спрей-пиролиза при расстоянии от сопла аэрографа до поверхности подложки 15 см (а) и 30 см (б)

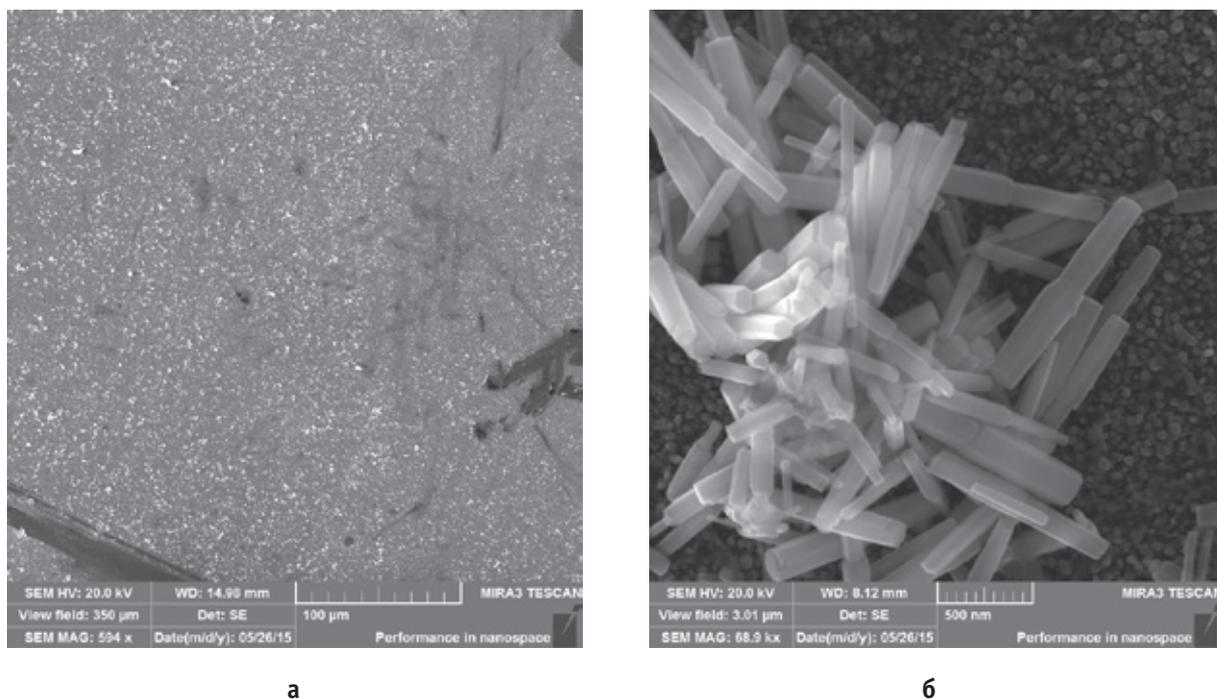


Рис. 3. Наностержни ZnO на зародышевом слое ZnO, полученном методом спрей — пиролиза при  $L = 30$  см и  $t = 5$  мин. С отжигом при температуре  $500^\circ\text{C}$ , и длительностью отжига 30 мин.: а) увеличение в 594 раз, б) увеличение в 68900 раз

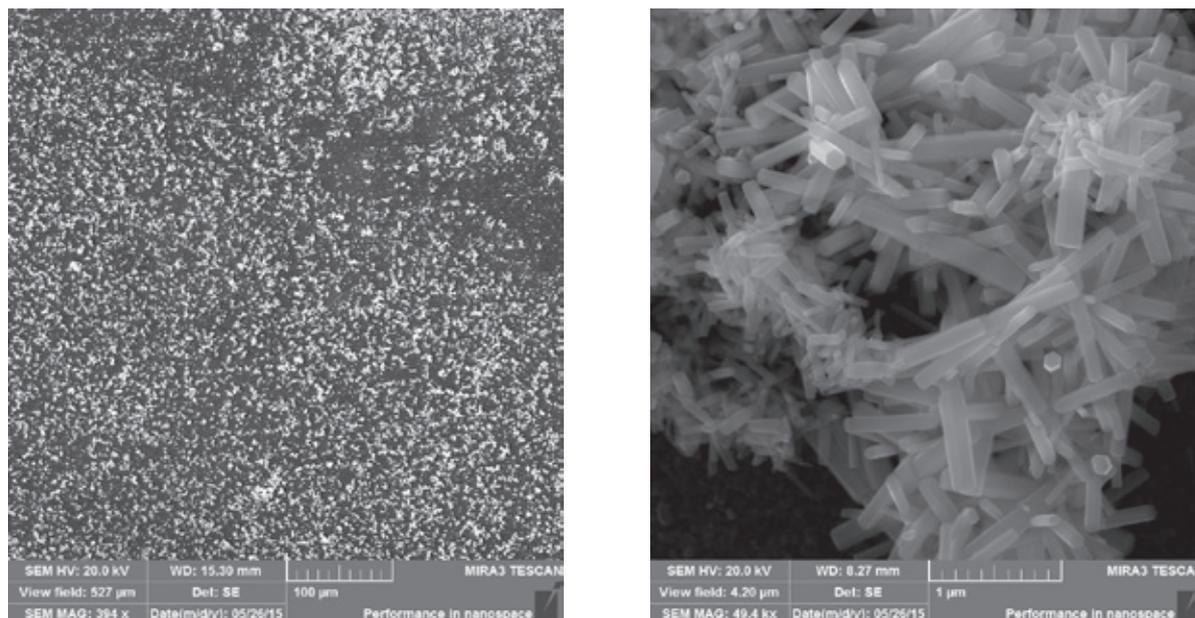
Полученные одномерные структуры на основе оксида цинка исследовались с помощью растровой электронной микроскопии. Примеры сформированных структур на поликристаллическом подслое ZnO и ZnO: Al представлены на рисунках 3 и 4 соответственно.

Из рисунков видно, что нитевидные кристаллы объединены в конгломераты. При этом размеры одномерных нанокристаллов, имеющих гексагональную огранку, лежат в широком диапазоне. Длина варьируется от долей до единиц микрона, а ширина варьируется от десятков до сотен нанометров. Также нередко наблюдается двух-этапный рост нанокристалла, когда из большего по по-

перечному сечению нанокристалла прорастает нанокристалл меньшего диаметра (рис. 5).

Использование подслоя из наночастиц ZnO, нанесенного методом центрифугирования, позволяет получать массивы одномерных нанокристаллов оксида цинка (рис. 6).

На подслое из наночастиц, синтезированные нанокристаллы с гексагональной огранкой однородны по размерам. Поперечное сечение нанокристаллов составляет около 50 нм, а длина около микрона. При этом, как видно на рисунке 5 (б), многие стержни также растут в два этапа. Возможно, это связано с изменением концентраций прекурсоров в растворе и смены режима синтеза.



а

б

Рис. 4. Наностержни ZnO на легированном алюминием зародышевом слое ZnO, полученном методом спрей — пиролиза при  $L = 30$  см и  $t = 10$  мин. С последующим отжигом при температуре  $500^\circ\text{C}$ , и длительности отжига 30 мин.: а) увеличение в 394 раза, б) увеличение в 49400 раз

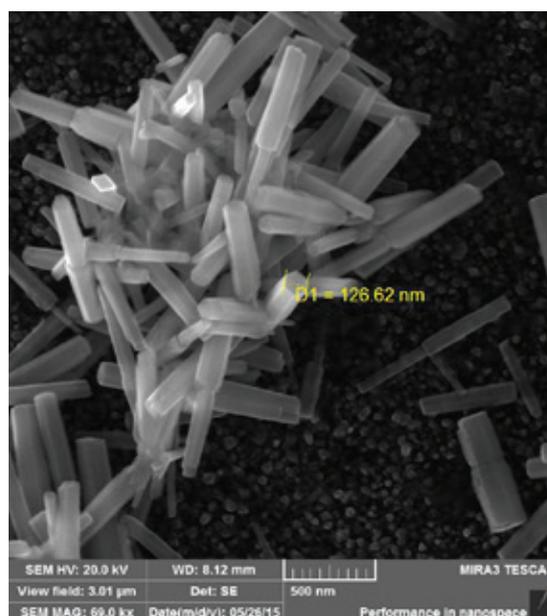


Рис. 5. Наностержни ZnO на зародышевом слое, полученном методом спрей-пиролиза. Увеличение в 69000 раз

Как было показано, использование зародышевого слоя, полученного методом спрей-пиролиза, не позволяет формировать массивы одномерных нанокристаллов. В то время как синтез на зародышевом слое из наночастиц позволяет получать одномерные нанокристаллы в виде массивов. Которые могут применяться в качестве широкозонного полупроводника в так называемом «объемном гетеропереход»  $n\text{-ZnO}/p\text{-CuO}$  или в ячейке Гретцеля. Следовательно, гидротермальный синтез одномерных нанокристаллов ZnO на зародышевом слое из наночастиц ZnO может являться одним из основных

технологических этапов создания данных фотовольтаических элементов. При усовершенствовании технологии возможно создание вертикально ориентированных нанокристаллов, которые могут применяться в «нанохарвестерах». Таким образом, нитевидные нанокристаллы оксида цинка, синтезируемые гидротермальным методом, открывают перспективы для создания солнечных элементов третьего поколения и совершенно новых мобильных маломощных источников питания. В которых нуждаются новейшие направления электронной и военной промышленности.

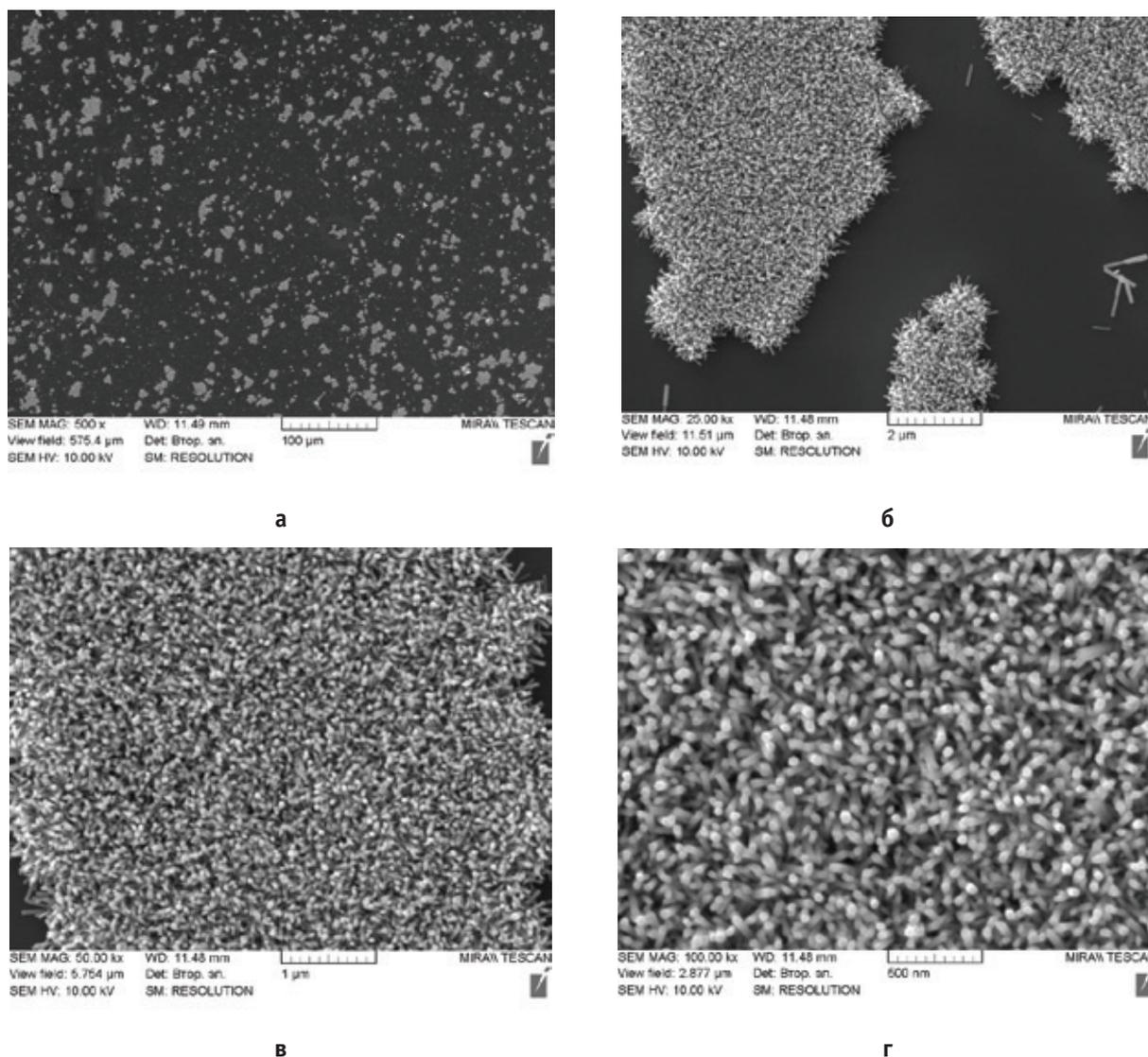


Рис. 5. Наностержни оксида цинка на зародышевом слое из наночастиц ZnO, нанесенных методом центрифугирования. Скорость центрифугирования 3 000 об/мин. Зародышевый слой подвергался отжигу при температуре  $T = 550^{\circ}\text{C}$ . Длительность отжига 30 минут: а) увеличение в 500 раз, б) увеличение в 25000 раз, в) увеличение в 50000 раз, г) увеличение в 100000 раз

#### Литература:

1. Özgür, Ü., Alivov Ya. I., Liu C. et al. A comprehensive review of ZnO materials and devices // J. Appl. Phys., 2005. — V.98. P. 1–103.
2. Редькин, А. Н., Рыжова М. В., Якимов Е. Е. и др. Упорядоченные массивы наностержней оксида цинка на кремниевых подложках // ФТП. — 2013. — Т. 47. — вып. 2. — с. 216–222.
3. Функциональный состав поверхности и сенсорные свойства ZnO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> / Карпова (Налимова) С. С., Мошников В. А., Мякин С. В., Коловангина Е. С. // Физика и техника полупроводников. — 2013. — Т. 47, Вып. 3. — с. 369–372.
4. Бобков, А. А. и др. Наноструктурированные материалы на основе оксида цинка для гетероструктурных солнечных элементов // ФТП. 2015. 49 (10) 1402–1406.
5. Адиллов, Ш. Р., Кумекоев М. Е., Кумекоев С. Е., Теруков Е. И. О модели формирования поликристаллического гетероперехода n-ZnO/p-CuO // ФТП. — 2013. — Т. 47. — В. 5. — с. 642–643.
6. Omayio, E. O., Njoroge W. K., Mugwanga F. K., Karimi P. M. Current-Voltage characteristics of p-CuO/n-ZnO: Sn Solar cell // Int. J. Thin Film Sci. Tec. — 2013. — N.1. — P. 25–28.
7. Клочко, Н. П., Мягченко Ю. А., Мельничук Е. Е. и др. Перспективы импульсного электроосаждения иерархических наноструктур оксида цинка // ФТП. — Т. 47. — В. 8. — с. 1129–1136.

8. Гаврилов, С.А., Громов Д.Г., Козьмин А.М. и др. Нанохарвестер пьезоэлектрической энергии на основе массива нитевидных нанокристаллов ZnO и плоского медного электрода // ФТТ.— 2013.— Т. 55.— В. 7.— с. 1376–1379.
9. Шапоров, А.С. Гидро — и сольвотермальный синтез и функциональные свойства нанокристаллического оксида цинка: автореф. дис. ... канд. хим. наук (02.00.01) / Шапоров Алексей Сергеевич; Ин-т общей и неорг. химии им. Н.С. Курнакова РАН.— М., 2009.— 26 с.
10. Максимов, А.И. и др. Основы золь-гель-технологии наноконкомпозитов. СПб. 2007. с.255.
11. Лашкова, Н.А. и др. Бутлеровские сообщения. 2015. 42 (6). с. 48–53.

## Источники загрязнения воздушного бассейна Мубарекской ТЭЦ

Саматова Шоира Юлдашевна, старший преподаватель  
 Пардаев Зокир Элмуродович  
 Каршинский инженерно-экономический институт (Узбекистан)

Мубарекская ТЭЦ предназначена для покрытия тепловых и электрических нагрузок предприятий газохимического комплекса промбазы г. Мубарека, основным из которых является Мубарекский газоперерабатывающий завод. В соответствии с представленными тепловыми нагрузками на уровне 1982 года, мощность ТЭЦ определена в 120 МВт с установкой двух турбоагрегатов типа Р-50–130/13 и двух котлоагрегатов типа Е-500/140 ГМО 59.

В качестве основного и резервного топлива для ТЭЦ применяется природный газ Шуртанского месторождения из двух независимых источников (1 и 2).

Природный газ на входе в ГРП завода 30 эта подается под давлением по двум газопроводам ДУ-400. Характеристика и элементарный состав в мольных процентах сжигаемого газа на ТЭЦ:

Таблица 1

Сп	Мольный процент СпНт	
	Газ месторождения	
	1	2
$C_1$	96,59 + 91,33	91.1
$C_2$	2,30 +4,19	4,23
$C_3$	0,93 +1,03	1,15
$C_4$	0,17 +0,35	0,45
$C_5$	0,13 +1,15	1,13
$C_6$	0,05 +4,5	1,55
$C_7$	0,0012+0,07	0,3
$C_8$	0,33	0,07

Низшая теплотворная способность газа:

$$Q_n^p = 12.700 \text{ ккал /кг}$$

$$\text{Удельный вес } \gamma = 0,688 - 0,742 \text{ кг/км}^3.$$

Максимальный часовой расход топлива составляет, исходя из полной загрузки 2–х котлоагрегатов — 63,6 · 10<sup>3</sup> · Нм<sup>3</sup>

$$\text{Годовой расход топлива — } 436 \cdot 10^3 \text{ Нм}^3.$$

$$\text{Стоимость } 1000 \text{ м}^3 \text{ газа — } 1400 \text{ рублей.}$$

Основное оборудование и баланс пара.

С первой очередью строительства Мубарекского ГПЗ сооружена котельная с четырьмя котлами типа ГМ-50–14. На 11–ой очереди МГПЗ установлены 5 котлов типа БКЗ-75–39. В связи с дальнейшим расширением МГПЗ и в соответствии с представленными тепловыми нагруз-

ками, на ТЭЦ установлено следующее оборудование. ТЭЦ покрывает базовые тепловые технологические нагрузки. Нагрузки отопления вентиляции и горячего водоснабжения покрываются котельными МГПЗ. Число часов использования тепловой мощности ТЭЦ составляет 7973 часа в год.

Установлены турбины типа Р-50–130/13 противодавление, номинальной мощности 50.000 КВт на параметры пара 130 ата/565°. Максимальный расход пара на турбину при противодавлении 7 кгс/см<sup>2</sup> составляет 392,3 т/час, с учетом поправки на температуру пара перед турбиной /555°/ равной 5,7 т/час и поправки на увеличение расхода пара из второго нерегулируемого отбора на деаэратор 7 ата равной 6,6 т/час. При этом количество пара из про-

тиводавления составляет 320 т/час. Регенеративная установка состоит из двух подогревателей высокого давления для подогрева питательной воды котлов и одного подогревателя низкого давления для подогрева конденсата подпитки цикла на каждой турбоустановке. Подогрев питательной воды осуществляется  $t = 235^\circ$

Гарантийные данные турбоустановки обеспечиваются при работе турбины с регенеративным подогревом питательной воды в количестве равном расходу пара на турбину и номинальных параметрах пара. Согласно техническим условиям на поставку турбины, удельные расходы тепла /пара/ завод гарантирует с допуском 1 %.

Установлены котлоагрегаты типа Е-500/140 ГМ Таганрогского котельного завода производительностью 500 т/час с параметрами острого пара 140 ата,  $560^\circ$ . Котлы работают под наддувом. Компоновка котлов П-образная, однокорпусная. Котлы предназначены для сжигания природного газа. Топочные камеры оборудованы горелками, расположенными в два яруса на задней стенке котла. Основным оборудованием, в результате работы которого происходит выделение и выброс загрязняющих веществ, являются котельные установки. В общем случае котельная установка представляет собой совокупность котла (котлов) и оборудования, включающего следующее устройства подачи и сжигания топлива: очистки, химической подготовки и деаэрации воды: теплообменные аппараты различного назначения; насосы исходной (сырой воды) сетевые и циркуляционные для циркуляции воды в системе теплоснабжения, подпиточной — для размещения воды расходуемой потребителем и утечек в сетях, питательные для подачи воды в паровые котлы, рециркуляционные (подмешивающие); баки питательные горячей воды; дутьевые вентиляторы и воздушные тракты; дымососы газового тракта и дымовая труба: устройства вентиляции; системы автоматического регулирования и безопасности сжигания топлива: тепловой щит или пульт управления. При сжигании природного газа в топках котлов в атмосферу поступают окислы азота, окись углерода, сернистый ангидрид и бенз (а) пирен.

Образование окислов азота в топках котлов происходит в результате окисления азота воздуха при высоких температурах. Выбросы окиси углерода и бенз (а) пирена, обусловлены конструкцией котлов и ведением топочного режима.

Технологические операции, в результате которых происходит выделение загрязняющих веществ, осуществляется, например, в следующих производственных подразделениях.

Основное производство:

1. Котельное вспомогательное производство
2. Ремонтный цех
3. Водно-химический цех
4. Электроцех
5. Газовое хозяйство.
6. Гараж.

7. Слесарно-ремонтный цех

8. САЭМ.

Ведущую роль в балансе загрязнителей атмосферного воздуха на предприятии играют следующие ингредиенты.

1. Азота двуокись — 977,176642 Т/Г 48,709%
  2. Углерода окись — 823,474448 Т/Г 41,048%
  3. Азота окись — 158,787216 Т/Г 7,915%
  4. Ангидрид сернистый — 45,678447 Т/Г 2,277%
- Итого — 116753 Т/Г 99,947%

Таким образом, на долю 4 ингредиентов из 19 приходится 99,949% выбросов загрязняющих веществ. Выбросы твердых ингредиентов составляют 0,051795 Т/Г (0,0003%), а газообразных в 2006 году составляли 0,84328 Т/Г (99,95%), это первый источник загрязнения. В настоящее время на предприятии установлено новое пылегазоочистное оборудование. Организованный источник выбросов вредных веществ выбрасывает следующие элементы: азота двуокись, азота окись, ангидрид сернистый, углерода окись, бенз (а) пирен.

Выделение вредных веществ происходит в результате работы следующего оборудования.

Котлы ТГМЕ-464—3 шт. Время работы 4566 ч/г. Морфометрические и динамические параметры источника характеризуется следующим данными: азота двуокись — 59,446000 Г/С; 977,149570 Т/Г, азота окись — 9,660000 Г/с; 158,787216 Т/г, ангидрид сернистый — 2,778900 г/с; 45,678447 т/г, углерода окись — 50,097000 г/с; 823,474447 т/г, бензо (а) перен.— 0,000001 г/с; 0,000016 т/г.

Неорганизованный источник выбросов вредных веществ выбрасывает следующие ингредиенты: окись, железа фториды, фтористый водород, соединения кремния. Выделение вредных веществ происходит в результате работы следующего оборудования: электросварка.

Неорганизованный источник выбросов вредных веществ. Выбрасываемые ингредиенты: эмульсор, пыль металлическая. Оборудование: токарный станок — 3 шт., сверлильный станок — 1 шт., заточный станок — 1 шт.

Выделение вредных веществ (азота двуокись) происходит в результате работы газосварочных аппаратов (2 шт.). Газовое хозяйство выделяет такой ингредиент как метан. Марганец и его соединения, фтористый водород, окись железа выделяются в результате сварки (1 шт.).

В соответствии с планом работ был выполнен комплекс исследований по учету выбросов загрязняющих веществ в атмосферу источниками предприятия Мубарекской ТЭЦ. Мубарекская ТЭЦ по результатам учета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу относится к IV категории. Измерение вредных выбросов осуществляется газоанализаторами. Планируется установка современных приборов РАС—III, АКУРРО, аппарат Драгер (производства Германии). В данное время для уменьшения вредных выбросов дымовых газов  $\text{NO}_x$  используется рециркуляция 9—12% дымовых газов для цели подогрева воздуха и интенсификация процесса горения в котле.

Литература:

1. Технические документы Мубарекской ТЭЦ экологического отдела.
2. Энергетика: цифры и факты. М.: ЦНИИАтоминформ, 1993—1998.
3. Дэвинс, Д. Энергия. М.: Энергоатомиздат, 1985.
4. Радиация. Дозы, эффекты, риск. М.: Мир, 1988.

## Перспективы развития геотермальной энергетики в Узбекистане

Саматова Шоира Юлдашевна, старший преподаватель;

Хамраев Толиб Ярашевич, соискатель

Каршинский инженерно-экономический институт (Узбекистан)

Абдуллаева Камила Турсуновна, ассистент

Каршинский государственный университет (Узбекистан)

Потенциальная суммарная рабочая мощность геотермальных электростанций в мире уступает большинству станций на иных возобновляемых источниках энергии. В структуре мирового производства электроэнергии, возобновляемые источники энергии в 2000 году обеспечили 19% общемирового производства электроэнергии. При этом, несмотря на значительные темпы развития, геотермальная, солнечная и ветровая энергия составляла в 2000 году менее 3% от общего объема использования энергии, получаемой от возобновляемых источников. Однако в настоящее время геотермальная электроэнергетика развивается ускоренными темпами, не в последнюю очередь из-за галопирующего увеличения стоимости нефти и газа.

Этому развитию во многом способствуют принятые во многих странах мира правительственные программы, поддерживающие это направление развития геотермальной энергетики. За последние 35 лет мировое потребление энергоресурсов и сырья возросло почти в 10 раз. Современная энергетика базируется на углеводородных видах топлива (газ, нефть, уголь).

В настоящее время использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) — это реальный путь получения экологически чистой энергии. Направление получило развитие в силу высокой энергетической плотности в отдельных заселённых географических районах, в которых отсутствуют или относительно дороги горючие полезные ископаемые, а также благодаря правительственным программам. Рост цен на органическое топливо и повышение эффективности современных технологий с использованием ВИЭ, способных конкурировать на рынке энергии, позволяют рассматривать последние как важнейшую составляющую стратегического развития мировой энергетики.

На сегодняшний день в Узбекистане активно развивается геотермальная энергетика. На территории Узбекистана прогнозные геотермальные ресурсы на доступных глубинах (до 5–6 км) в 4–6 раз превышают ресурсы

углеводородов. Главными потребителями геотермальные ресурсы на ближайшую и отдаленную перспективу в Узбекистане, несомненно, будут теплоснабжение и, в значительно меньшей мере, выработка электроэнергии. По абсолютному значению из всех видов возобновляемой энергии наибольшим интегральным энергетическим потенциалом располагают недра Узбекистана в виде тепла сухих горных пород (Петро термальные ресурсы) и крупных бассейнов с гидротермальными водами.

Наиболее перспективными для энергетического использования считаются петротермальные ресурсы — огромные массивы гранитоидов, залегающих на глубине 4–6 км, нагретые от 700С до 3000С в зонах Амударьинской геологической впадины, Южного Приаралья, пустыне Кызыл кумы, Чустско-Адрасмановской петротермальной аномалии в Ферганской долине. Рассчитаны осредненные термограммы до глубины 3000 м с учетом средних статистических величин плотности теплового потока и теплопроводности горных пород.

Валовой потенциал геотермальной энергии, заключенной в сухих нагретых породах, в объеме, ограниченном глубиной 3 км и площадью республики Узбекистан, оценен с использованием средних величин теплоемкости и плотности горных пород. При таком подходе валовой потенциал петротермальных ресурсов составляет 6700 000 млн. т.н. э.

В Узбекистане выделены крупные артезианские бассейны с гидротермальными водами, показатели которых приведены в табл. 1. Валовой потенциал разведанных балансовых гидротермальных вод оценивается в 170,8 тыс. т.н. э. в год.

В 70–80-х годах прошлого столетия в Узбекистане на гидротермальных водах было построено довольно значительное количество теплиц. Однако масштабное использование геотермальных ресурсов в целях теплоснабжения, выработки электроэнергии требует комплекса исследований. Необходимо изучить возможности при-

Таблица 1. Температура воды в некоторых скважинах в Республике Узбекистан

№	Бассейн	Площадь, тыс. км <sup>2</sup>	Температура воды в скважине, С
1	Приташкентский	20,0	35–70
2	Ферганский	12,0	30–70
3	Кызилкумский	50,0	35–45
4	Зарафшанский	8,0–10,0	25–55
5	Кашкадаринский	35,0	25–90
6	Дехканабадский	6,0–8,0	30–50
7	Сурхандаринский	8,0–10,0	27–70
8	Устьюртский	30,0	27–75

менения современных технологий преобразования низкотемпературных первичных теплоносителей в энергетических циклах, базирующихся на низкокипящих теплоносителях в технологическом контуре геотермальной электростанции.

Классификация геотермальных вод по температуре слаботермальные 35–40°C, термальные 40–60°C, высокотермальные 60–100°C, перегретей более 100°C. Ультрапресные 0,1–1,0 г/л, пресные 1,0 г/л, слабосоленоватые 1,0–3,0 г/л, сильно соленоватые 3,0–10,0 г/л, соленые 35,0 г/л, рассольные более 35,0 г/л. По общей жесткостью, очень мягкие до 1,2 мг — экв/л, мягкие 1,2 мг — 2,8 экв/л, средние 2,8–5,7 мг-экв/л очень жесткие 5,7 мг-экв/л, 10,6 мг-экв/л, По кислотности рН кислые 3,5–5,5 слабокислые 5,5–6,8 нейтральные 6,8–7,2 слабощелочные 7,2–8,5 щелочные более 8,5. По газовому составу сероводородные, сероводородной — кислые, углекислые, азотно-углекислые, метановые, азотно-метановые, азотные.

Следует выделить важное преимущество использования геотермальной энергии, заключающееся в обеспечении стабильной выработки снабжения потребителя тепловой или электрической энергией по сравнению с солнечной, ветровой и даже водной энергиями при существенной их изменчивости в течение сезонов года и суток. Например, Республиканский санаторий ветеранов войны и труда «Алтыарык» обладает большим потенциалом геотермальной энергии, уникальное территориальное месторасположение геотермального водного объекта, выход под давлением теплой (42°C) геотермальной воды из под земли, дают возможности использования энергии геотермальной воды для отопления и электроснабжения производственных зданий. В данной санаторий геотермальная вода используется только в лечебных целях.

Производственные здания санатория отапливаются за счёт сжигания природного газа и угля. Из-за нехватки природного газа, зимой часто возникают проблемы отопления. Анализ геотермального водного потенциала сана-

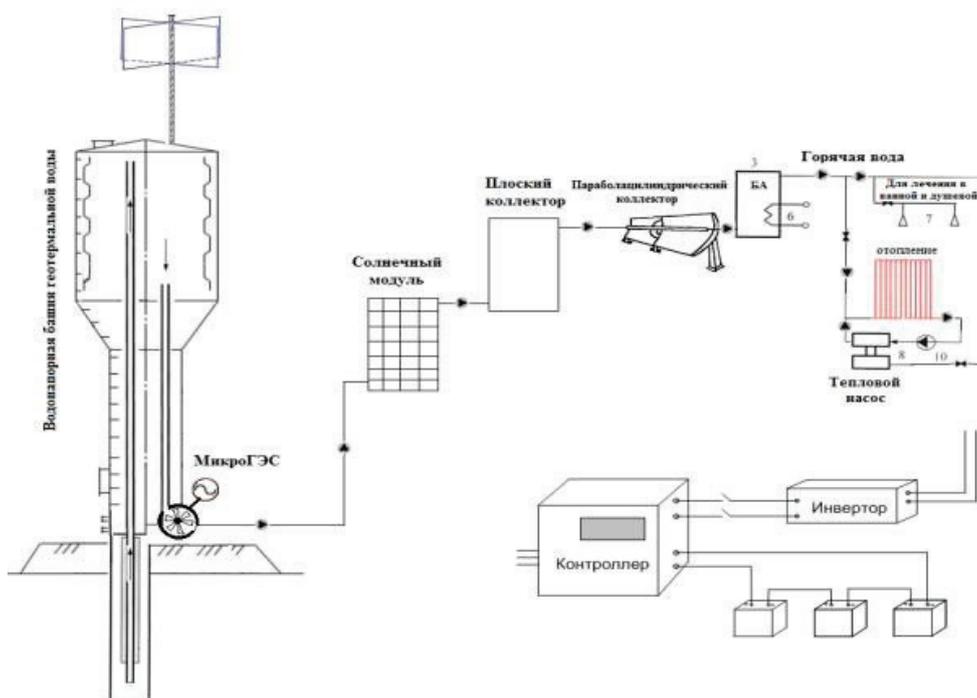


Рис.1

тории показали, что достаточное применение могут найти микроГЭС, мощностью до 15 кВт, так как геотермальная вода из скважин естественно поднимается на высоту 20 метров и собирается в ёмкости объёмом 20 тонн.

Дальнейшее распределение геотермальной воды по потребителю происходит с расходом 20 тонн/час. Целесообразно использование геотермальной воды для обогрева зданий санаторий и парников. Так как выходящая из скважины геотермальная вода питьевая, не содержит вредных примесей и солей, температура достаточна высокая (42°C). В работе предложена система тепло и электроснабжения санаторий на основе возобновляемых источников энергии. Геотермальная система тепло и электроснабжения санаторий «Алтыарык» на основе возобновляемых источников энергии включает, 1 — Водоподводящая башня геотермальной воды, 2 — МикроГЭС, 3 — солнечный модуль, 4 — плоский коллектор, 5 — параболоцилиндрические коллектор, 6 — водогрейный котель, 7 — трубопровод горячей воды, 8 — для лечения банной и душевой, 9 — отопление, 10 — тепловой насос, 11 — инвертор, 12 — контроллер.

Система тепло и электроснабжения санаторий «Алтыарык» на основе возобновляемых источников энергии высотой 20 м, микроГЭС, мощностью 15 кВт, солнечный

модуль, плоский коллектор, параболоцилиндрический коллектор, теплоизолированный бак-аккумулятор, тепловой насос и контуры лечебного водоснабжения и низкотемпературного отопления зданий. Система дополнительно снабжена ветрогенератором.

### Выводы

1. Геотермальная энергетика, и геотермальные электростанции в том числе, является одним из самых перспективных видов получения альтернативных источников энергии.

2. Современная востребованность геотермальной энергии как одного из видов возобновляемой энергии обусловлена, прежде всего, истощением запасов органического топлива и зависимостью большинства развитых стран от его импорта (в основном импорта нефти и газа), а также с существенным отрицательным влиянием традиционной энергетике на окружающую среду.

3. Однако ее крупномасштабное развитие в будущем возможно лишь при освоении петро геотермальных ресурсов, т.е. тепловой энергии горячих горных пород, температура которых на глубине 3—5 км обычно превышает 100°C.

### Литература:

1. Попов, М. С. Геотермальная энергетика в России [Текст] М. С. Попов — М.: «Энергоатомиздат», 1988. — 294 с.
2. Максимов, И. Г. Альтернативные источники энергии И. Г. Максимов — М.: «Эко-Тренд», 2005. — 387 с.
3. Феофанов, Ю. А. Геотермальные электростанции Ю. А. Феофанов — М.: «Эко-Тренд», 2005. — 217 с.
4. Алхасов, А. Б. Геотермальная энергетика: проблемы, ресурсы, технологии А. Б. Алхасов — М.: «Физматлит», 2008. — 376 с.
5. Интернетные материалы WWW.google.uz.

## Перспективы и проблемы развития авиационных газотурбинных двигателей нового поколения

Самедов Адалят;

Вагаблы Эмиль Тензилович, магистрант  
Национальная академия авиации Азербайджана

*Традиционные способы снижения удельного расхода топлива путём повышения эффективности термодинамического цикла и повышения степени двухконтурности могут обеспечить относительно небольшие улучшения экономичности, но приводят к увеличению диаметральных размеров, осложнению проблем обеспечения требуемых ресурсов основных деталей, приемлемого теплового состояния деталей «горячей» части и т.д. Дальнейшее улучшение и оптимизация авиационных двигателей в рамках традиционных подходов и способов связано с всё возрастающими трудностями. С учётом вышеизложенного и проблем обеспечения всё возрастающих требований к ресурсам конструкций и эмиссии вредных веществ, в данной статье исследуется и описывается силовая установка (СУ) нетрадиционной конструктивно-компоновочной схемы: двухконтурные турбореактивные двигатели с противоположным вращением роторов ТВД и ТНД. Анализируются, рассматриваются преимущества применения такой конструктивно-силовой схемы, применение на современных АГТД пятого поколения, а также выводы из расчётных и экспериментальных исследований. Переход к такой схеме обеспечивает существенное улучшение технико-экономических характеристик АГТД.*

**Ключевые слова:** тенденции развития авиационных двигателей, ДТРД с противоположным вращением роторов ТВД и ТНД, потери в СА первой ступени ТНД, разработка конструкций ДТРД, исследования ТВД и ТНД с обратным вращением роторов (ОВР), выводы из исследований, применение ТВД и ТНД с ОВР.

Требования, которым должны отвечать эксплуатируемые в настоящее время АГТД нового поколения:

- Высокая надёжность.
- Минимальная масса.
- Высокие эксплуатационные качества.
- Топливная экономичность и высокий ресурс.
- Минимальные загрязняющие воздействия на окружающую среду.

К важнейшим характеристикам авиационных двигателей, в первую очередь, относятся их экономичность и удельный вес. В значительной мере эти характеристики определяются газодинамическими и конструктивными особенностями узла турбины, который в современных двухконтурных двигателях (ТРДД) состоит из турбины высокого давления (ТВД), приводящей в движение компрессор высокого давления (КВД), и турбины низкого давления (ТНД), приводящей в движение компрессор низкого давления (КНД) и вентилятор соответственно.

Одной из главных тенденций развития авиационных двигателей является дальнейшее значительное повышение температуры газа перед турбиной при высокой суммарной степени сжатия воздуха в компрессоре высокого давления (КВД). При этом увеличение термодинамических параметров цикла происходит более быстрыми темпами, чем создание новых материалов и совершенство-

вание систем охлаждения, что не позволяет обеспечить требуемую окружную скорость рабочих колёс турбин.

Вследствие этого, ТВД, из-за недостаточной прочности лопаточных и дисковых материалов, и ограниченной окружной скорости ротора, работают при пониженных значениях кинематического параметра  $u/c_{is}$ , что приводит к уменьшению угла выхода потока из ТВД до значений  $\alpha_2 = 50 \div 70^\circ$ , т.е. к значительной закрутке потока на выходе.

При вращении роторов ТНД и ТВД в одну сторону (прямое вращение ротора ТНД), это существенно увеличивает угол поворота потока в сопловом аппарате первой ступени (СА1) ТНД, что способствует увеличению в нём профильных и особенно вторичных потерь. Кроме того, в сопловом аппарате необходимо применять уменьшенный относительный шаг (т.е. в сопловом аппарате первой ступени (СА1) ТНД будет повышенное число лопаток).

В связи с этим, в практике мирового авиационного двигателестроения разрабатываются конструкции ТРДД с противоположным вращением роторов ТНД и ТВД (обратное вращение роторов ТВД и ТНД, рис.1).

Разработка конструкций ДТРД с противоположным вращением роторов ТНД и ТВД позволяет:

- значительно уменьшить угол поворота потока на выходе из ТВД и на входе в СА первой ступени ТНД, что

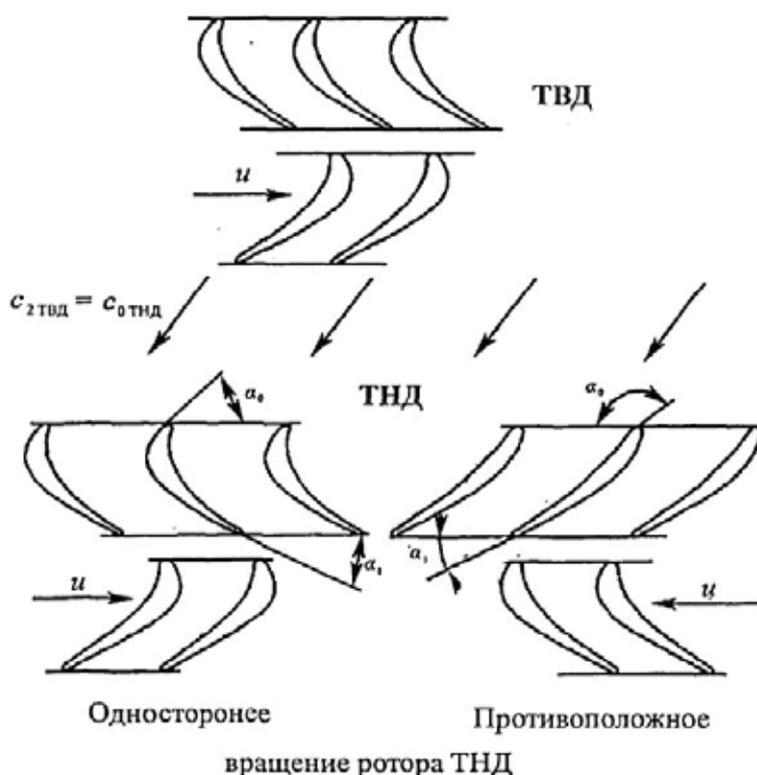


Рис. 1. Схема ТВД и первой ступени ТНД в случае одностороннего и противоположного вращения роторов

приводит к снижению в нём профильных и вторичных потерь (на целых 3%);

- большие углы закруток потоков, возникающие из-за недостаточной прочности лопаток, являются причиной работы модулей турбин при низких значениях кинематического параметра. Уменьшение этих углов, также оптимизирует вышеупомянутый параметр;

- существенно снижаются нагрузки от гироскопических моментов, порождаемые модулями компрессоров (КНД, КВД), что улучшает маневренность самолёта;

- применить одноступенчатую ТВД, что в свою очередь позволяет уменьшить массу и габариты проектируемого двигателя (на 15–20%);

- существенно снизить затраты на СЖЦ (стоимость жизненного цикла) проектируемого двигателя;

- увеличить температуру выхода газов из камеры сгорания на  $250^{\circ}$ – $450^{\circ}$  С, что позволяет увеличить максимальную тягу двигателя на взлётном режиме, при неизменном охлаждении лопаток ТВД;

- вследствие уменьшения угла поворота потока в СА1 ТНД, уменьшается и угол установки лопаток и увеличивается оптимальный шаг решетки. Это приводит к уменьшению числа лопаток в СА первой ступени ТНД на 10–15%. Также при этом суммарная поверхность лопаток уменьшается, что позволяет уменьшить и потребный для них расход охлаждающего воздуха;

- повышение КПД турбины и повышение его газодинамической эффективности.

### Исследования и применение ТВД и ТНД с обратным вращением роторов на современных двигателях пятого поколения

Исследования турбин с противоположным вращением роторов ТВД и ТНД ведётся во многих развитых странах мира. Работы указанного направления интенсивно проводились и проводятся в США, Англии, России, Германии и КНР, результаты исследований нашли применение в разработке ряда двигателей.

В двигателях Rolls-Royce Trent1000, Genx-1B/-2B (рис.2), CFM56–5B, PW-6000, GE90–115B (рис.3), применяемых в гражданской авиации, а также двигателях, применяемых в военной авиации (ТРДФ J79 фирмы General Electric, PW F119, ТРДДФ (M53)), в связи с высокой степенью теплоперепада в ТВД и очень большой газодинамической нагруженностью одно- и двухступенчатых ТВД, возникают большие углы закрутки на выходе из ТВД, что отрицательно влияет на работу узла турбины и двигателя в целом. Эти негативные факторы и недостатки, были успешно устранены и значительно ограничены применением во всех вышеуказанных типах двигателей конструкций с противовращением роторов ТВД и ТНД.

Цели, поставленные специалистами CFMI при проектировании новых турбин низкого и высокого давлений в рамках программы ТЕСН56 по модернизации двигателей семейства CFM56–5B/-7B:

- разработка одноступенчатой ТВД, рассчитанной на  $n_{\tau}^* = 4,6$  с  $\eta_{\tau}^* = 0,905$ ;

- уменьшение числа лопаток СА и РК первой ступени ТНД на 10%;

- применение схемы охлаждения лопаток СА с низкими потерями на смешение;

- уменьшение расхода охлаждающего воздуха на 22%.

- уменьшение числа деталей на 35%;

- улучшение обтекания при взаимодействии с ТВД и четырёхступенчатой ТНД.

Испытания ТВД и ТНД с противоположным вращением роторов были завершены в 2000 году. В значительной степени, перечисленные выше цели были достигнуты благодаря применению противоположного вращения роторов ТВД и ТНД.

### Выводы из расчётных и экспериментальных исследований ДТРД с противоположным вращением роторов

1. Следует отметить, что в ТРДД с противоположным вращением роторов наиболее рациональными являются, средние значения степени реактивности ТВД  $\rho_{\tau} = 0,43$ – $0,45$ . При этом значение кинематического параметра  $u/c_{is}$  будет оптимальным в следующих пределах:  $u/c_{is} = 0,42$ – $0,43$ . В этом случае имеет место максимальное снижение веса ТВД без существенного снижения ее эффективности, а повышенная закрутка потока на выходе эффективно используется в СА1 ТНД.

2. При повышенных значениях кинематического параметра  $u/c_{is} > 0,48$ – $0,5$  и пониженных значениях степени реактивности, закрутка потока за ТВД невелика и применение противоположного вращения роторов с точки зрения газодинамической эффективности ТНД не имеет смысла. Однако противоположное вращение роторов и в этих случаях может оказаться целесообразным с точки зрения уменьшения гироскопических эффектов и силовых воздействий на подшипники для маневренных самолётов.

3. Газодинамическая эффективность узла турбины с противоположным вращением роторов ТВД и ТНД исследована недостаточно. Публикации на эту тему в мировой литературе имеют, как правило, лишь качественный или рекламный характер.

4. Снижение суммарных потерь в СА первой ступени ТНД с обратным вращением ротора обусловлено в первую очередь уменьшением коэффициента вторичных потерь на показатель — 0,02, что объясняется уменьшением потерь на трения (вследствие уменьшения суммарной поверхности лопаток и снижения уровня скоростей при обтекании слабо изогнутых лопаток).

5. К основным факторам, влияющим на потери в СА первой ступени ТНД, помимо угла поворота потока и коэффициента геометрической конфузурности, следует отнести конструктивный угол решетки на выходе  $\beta_{2к}$ , угол сужения межлопаточного канала на выходе  $E_2$  и угол «от-

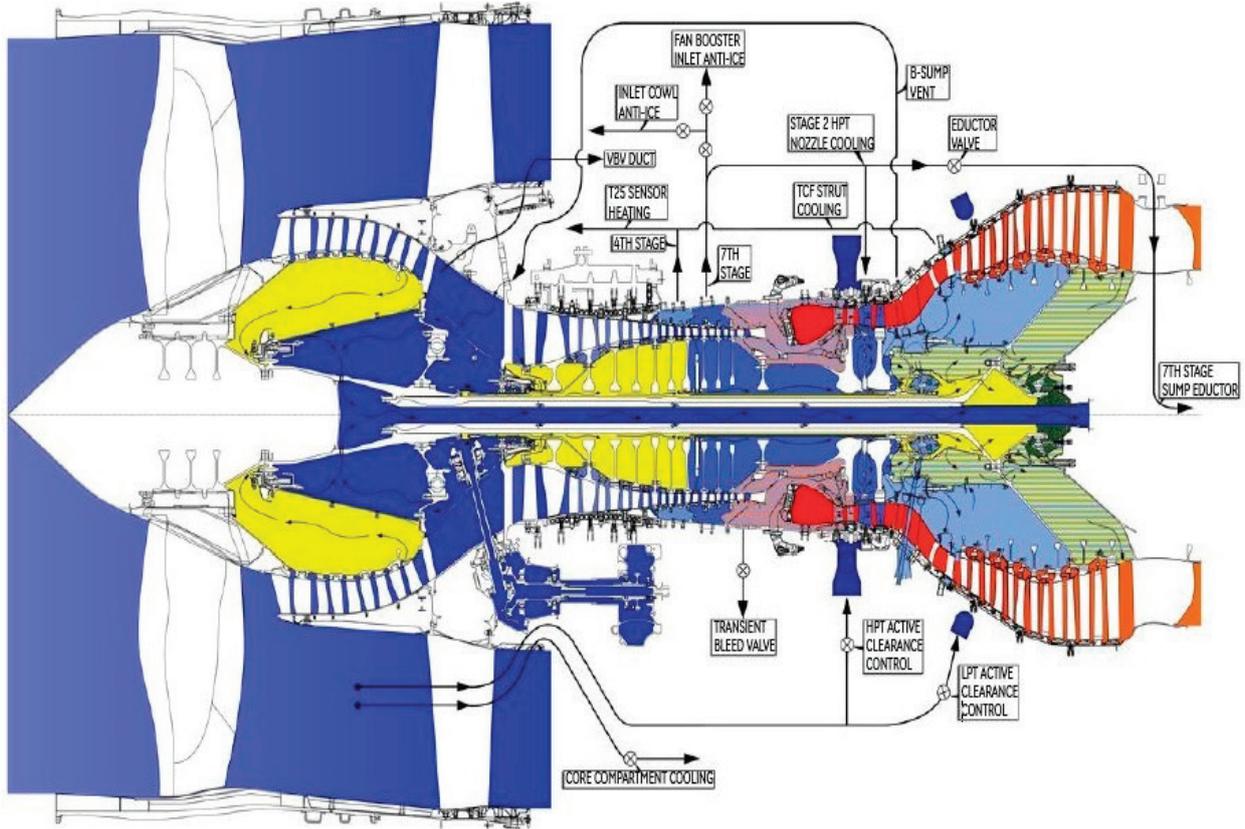


Рис. 2. Схема проточной части двигателя GPH-1B

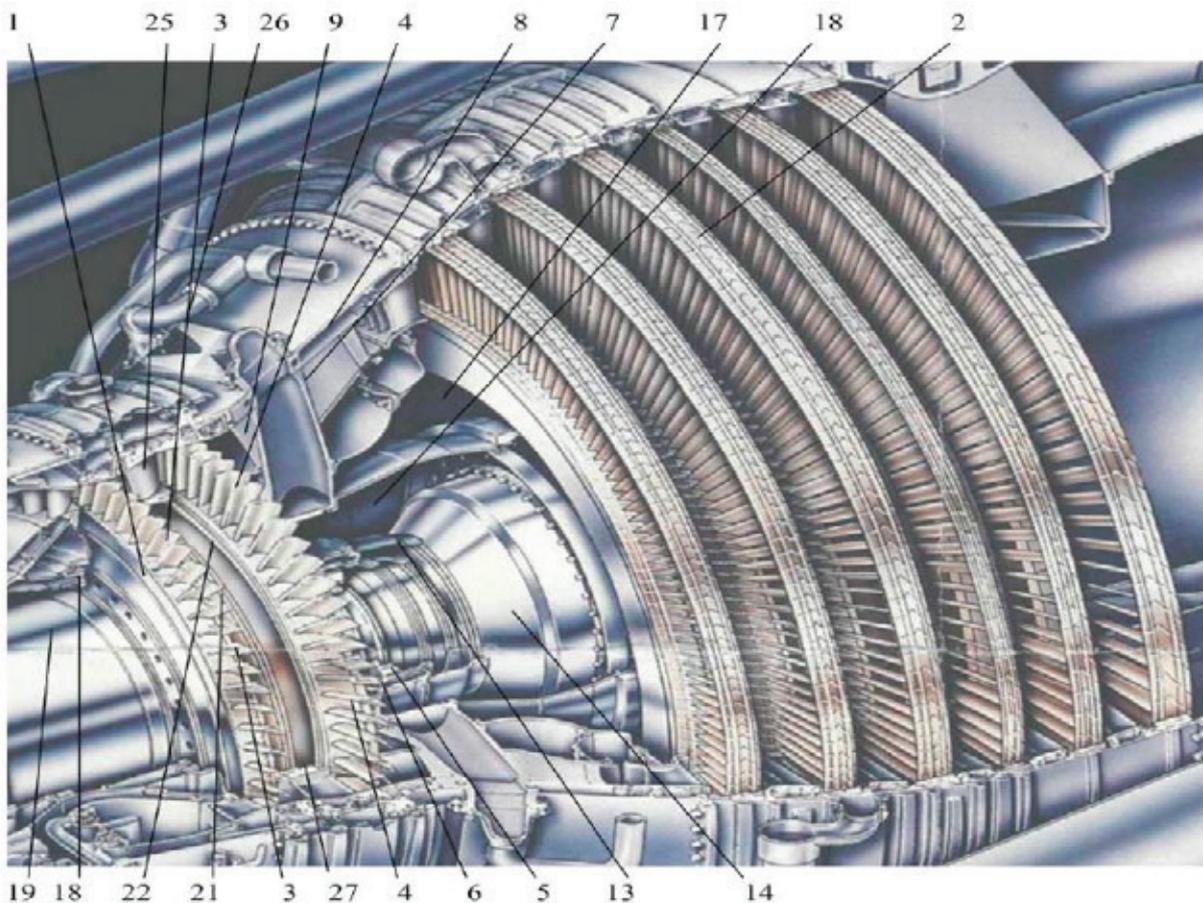


Рис. 3. ТВД и ТНД двигателя GE90-115B

ставания» выходной кромки от эффективного угла решетки  $u_{кр}$ .

6. При проектировании узла турбины с противоположным вращением роторов целесообразно и эффективно:

1) понижать осевую скорость на выходе из ТВД, что уменьшает меридиональное раскрытие СА первой ступени ТНД;

2) увеличивать конфузурность выходного участка межлопаточных каналов СА первой ступени ТНД, что уменьшает потери на трения и вторичные потери;

7. Применение противовращения роторов ТВД и ТНД в АГТД, может заметно уменьшить изменение радиального зазора рабочих лопаток ступеней ТВД при максимальных эволюционных перегрузках самолёта.

#### Литература:

1. Бойко, А. В., Кожевников С. Н., Мельтюхов В. А. Оптимизация формы дозвуковых профилей решёток осевых турбин. //Изв. АН СССР. Энерг. и трансп. 1984 г. № 6. Стр. 119–124.
2. Деменченко, В. П., Дружинин Л. Н., Пархомов А. Л. и др. Теория двухконтурных турбореактивных двигателей. М: Машиностроение, 1979 г. 432 стр.
3. Пономарёв, Б. А., Соценко Ю. В. — Турбины с противоположным направлением вращения роторов для авиационных силовых установок // Изв. вузов. Авиационная техника, 1986 г. № 2. Стр. 50–53.
4. Пономарёв, Б. А., Соценко Ю. В. — Экспериментальное исследование прямых решёток сопловых аппаратов турбин с противоположным вращением роторов. М.: ЦИАМ, 1968 г.; 37 стр.
5. К. М. Попов, Г. Л. Подвидз, А. В. Грановский, А. М. Карелин, Л. Я. Лебедева — Газодинамические особенности турбин с противоположным вращением роторов // Лопаточные машины и струйные аппараты. 1996 г. Выпуск № 13. Стр. 244–258.
6. Максимова, М. К., Тарасов В. Н., Агачев Р. С. Особенности обтекания малоизогнутых сопловых профилей с углами входа больше 90°. Казань, 1980 г. КАИ. Стр. 92–96.
7. Мухтаров, М. Х. Характеристики плоских дозвуковых решёток осевых турбин. М.: ЦИАМ, 1968 г. Технический отчёт № 310. 46 стр.

## **Исследование возможностей создания обобщенного метода использования параллельных участков и прямых труб для компенсации отклонений судовых трубопроводных трасс**

Сахно Константин Николаевич, кандидат технических наук, доцент, профессор;

До Тат Мань, аспирант;

Во Чунг Куанг, аспирант

Астраханский государственный технический университет

*Рассмотрено современное состояние вопроса проектирования, изготовления и монтажа судовых трубопроводов. Представлен обзор исследований в области компенсации отклонений трубопроводных трасс. Рассматривается проблема повышения технологичности трубопроводов судовых систем на стадии проектирования с обеспечением возможности изготовления труб без снятия размеров по месту и ее решение в рамках исследований взаимосвязи конфигурации и компенсационных возможностей трубопроводных трасс. Предлагаемая разработка позволяет на стадии проектирования управлением и снижением возможных отклонений, возникающих при изготовлении труб, минимизировать зазоры, назначаемые при трассировке трубопроводов.*

**Ключевые слова:** судовые трубопроводы, проектирование, изготовление, монтаж, теория компенсации.

**В**ведение. Технология производства большинства элементов судовых систем излагается в детально разработанных курсах: технологии изготовления машин, теплообменных аппаратов, измерительных приборов и т.д. В данном исследовании рассмотрена технология производства судовых трубопроводов с позиции изготовления и монтажа труб в трассах трубопроводов.

Трудоемкость изготовления трубопроводов и монтажа систем на судах составляет до 10–12% общей трудоем-

кости работ на верфи [1]. Технология трубопроводных работ характеризуется большим разнообразием операций и невысоким уровнем механизации. Это производство требует большой и сложной подготовки.

В связи с вышеизложенным важнейшей тенденцией современного судостроения является повышение эффективности производства путем внедрения новых технологий изготовления труб по проектной информации без пригонки по месту. Наличие в проектной докумен-

тации достаточной информации для изготовления и монтажа труб позволяет совместить работы по постройке судна и сократить сроки выполнения судостроительных заказов. Кроме того, создаются предпосылки для формирования региональных центров, работающих в автоматизированном режиме изготовления труб.

С целью разработки альтернативных путей компенсации в [2] выдвинута и обоснована гипотеза о взаимосвязи конфигурации и компенсационных возможностей проектной трассировки трубопроводов. Её основополагающей идеей является использование прямых и параллельных участков с соединениями труб для перемещений трассы трубопровода. Это позволит компенсировать суммарные отклонения жестко фиксированных соединений, ограничивающих данную трассу, а также погрешности изготовления и монтажа труб, что обеспечит собираемость трассы без изменения конфигурации готовых труб.

**Компенсационные возможности параллельных участков в трассах трубопроводов.** Исследования компенсационных возможностей проектной трассировки трубопроводов связаны с формированием нового концептуального подхода и разработкой методов компенсации отклонений при монтаже систем трубопроводов с использованием разворотов труб и особенностей их конфигурации, направленных на повышение эффективности трубопроводных работ и снижение сроков монтажных процессов.

В результате, при монтаже трассы из готовых труб, приведение рассматриваемой (конечной) точки оси трубопровода к допускаемым монтажным отклонениям будет осуществляться перемещением трассы трубопровода путем разворотов труб в соединениях, расположенных на параллельных участках трассы.

Для графического представления, на рис. 1 изображена схема трассы в процессе компенсации отклонения  $k$ .

При развороте трассы вокруг оси её первого участка (1–2) рассматриваемая (конечная) точка трассы (5) перемещается по дуге окружности радиусом  $R1$  ( $R1$  — это перпендикуляр из конечной точки трассы на направление первого участка) на величину, равную дуге соответствующего угла разворота. Если в трассе имеется участок, параллельный первому, то после разворота части трассы, расположенной за вторым параллельным участком (3–4), на тот же угол, но в обратном направлении, конечная точка трассы переместится по дуге окружности радиусом  $R2$  ( $R2$  — это перпендикуляр из конечной точки трассы на направление второго параллельного участка). Все участки этой части трассы останутся параллельными своему первоначальному направлению. В результате этих двух разворотов положение конечной точки оси трубопровода будет соответствовать результату её перемещения по дуге окружности радиусом  $R3$  ( $R3$  — это перпендикуляр (кратчайшее расстояние) между двумя параллельными участками), образованной перемещением второго параллельного участка относительно первого.

Таким образом, чтобы компенсировать отклонение  $k$  разворачивают второй параллельный участок относительно оси первого, на такой угол, чтобы ось второго параллельного участка переместилась на величину  $k$ . Затем возвращают часть трассы, расположенную за вторым параллельным участком, на тот же угол, но в обратном направлении.

По результатам теоретических расчётов и экспериментального подтверждения трассы, в зависимости от их компенсационных возможностей, разделены на три группы:

1. трассы, допускающие возможность полной компенсации с использованием параллельных участков (нет забойных труб);
2. трассы, допускающие возможность компенсации с использованием параллельных участков и дополнительным припуском (достаточно прямой забойной трубы с расчётным припуском);
3. трассы, допускающие возможность компенсации с использованием параллельных участков и двумя дополнительными припусками (достаточно забойной трубы с одним погибом).

В подавляющем большинстве трасс судовых трубопроводов имеются параллельные участки, и при правильной расстановке соединений возможно перемещение трассы в процессе монтажа труб с целью приведения рассматриваемой (конечной) точки оси трубопровода (точки трассы) к точке жёстко фиксированного соединения (точке компенсации) и совмещения направлений рассматриваемого (конечного) прямого участка трассы и нормали плоскости жёстко фиксированного соединения [1–3].

Данный метод повышает эффективность трубопроводных работ, снижая трудоёмкость и сроки монтажных процессов.

**Компенсационные возможности прямых труб в трассах трубопроводов.** Помимо трасс, составляющих из параллельных трубопроводов, где использование компенсационных возможностей таких участков позволяет изготавливать забойные трубы без снятия размеров на месте, в проектах судов существуют прямые трассы и трассы с одним погибом. В настоящее время проблема компенсации отклонений в таких трубопроводах решается следующим образом. Фактически прямые трассы монтируются, а отклонения устраняются с помощью механического воздействия, образуя недопустимые напряжения в соединениях; при этом неперпендикулярность установки соединений на прямой забойной трубе обычно превышает регламентируемые значения [3].

На рис. 2 показана трасса, состоящая из четырёх прямых труб 1–4, ограниченная жёстко фиксированными соединениями I, II. Взаимное расположение этих соединений отличается от теоретического на величины отклонений  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ . По действующим требованиям к технологичности трубопроводов для компенсации отклонений в трассе, ограниченной жёстко фиксированными соединениями, требуется забойная труба [4]. Выбор забойной трубы в прямой трассе не является предметом сложного

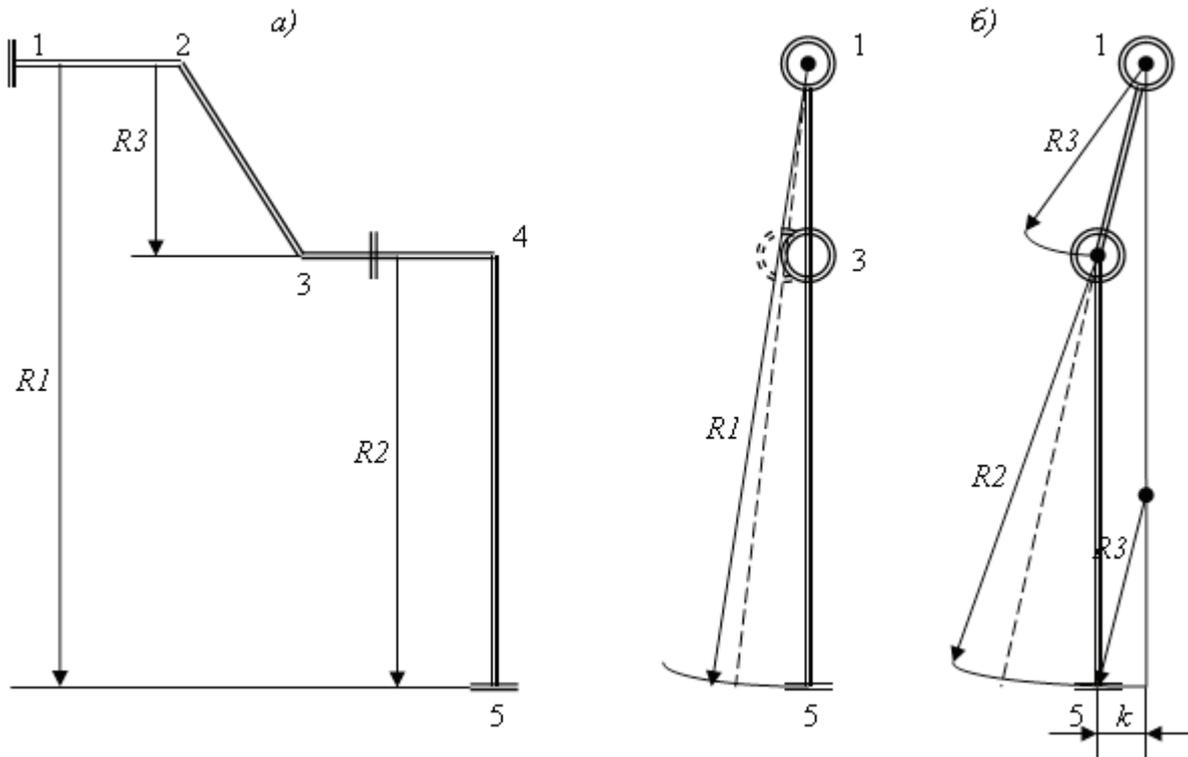


Рис. 1. Графическое представление процесса компенсации:  
 а) трасса в двух видах до первого разворота; б) трасса после второго разворота

анализа — ей может быть любая труба, за исключением трубы 3, на которой имеется ответвление — отросток, что не допускается в забойной трубе [3]. В качестве забойной выбирается труба 4 — для монтажа трассы от приварной детали насыщения I, а не от оборудования II, которое устанавливается в процессе постройки судна позже, чем приварное насыщение (рис. 2).

Назначив на трубе 4 припуск, гарантировано устраняется отклонение трассы в направлении оси X. Отклонения  $\Delta Y$  и  $\Delta Z$  можно устранить, установив соединения, в процессе пригонки забойной трубы, с перекосом относительно её оси. Допустимый перекос регламентируется соответствующими нормативами и в угловых величинах определяется соотношением:

$$\sin \phi = \frac{\delta}{d} \quad (1)$$

где  $\delta$  — величина отклонения соединений от перпендикулярности к оси трубы,  $d$  — диаметр уплотнительной поверхности соединения.

Необходимая для компенсации отклонения  $\Delta$  прямой трассы трубопровода длина забойной трубы определяется соотношением:

$$L = \frac{\Delta}{\sin \phi} \quad (2)$$

Так, для трассы из труб диаметром 76 мм:  $\sin \phi \leq 2/122$ . Необходимая длина прямой забойной трубы, которой можно компенсировать возникшее отклонение  $\Delta Y = 100$  мм путём установки соединений с допустимым перекосом, составит 6,1 м — это не реально. Длина забойной трубы обычно назначается в пределах 1,5–2,5 м, в зависимости от диаметра трубы: чем больше диаметр, тем короче труба. Такой принцип выбора длины обу-

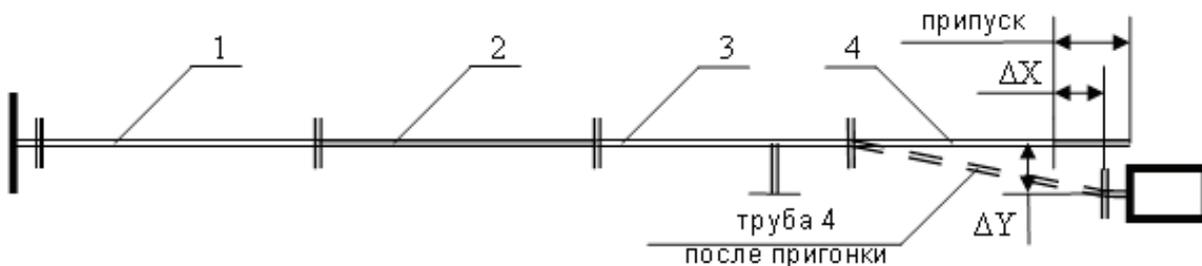


Рис. 2. Компенсация отклонений прямой трассы с использованием забойной трубы

словлен ограничением массы трубы, в связи с тем, что в процессе пригонки труб применяется ручной труб и с тяжёлыми трубами сложно работать. При длине трассы 2,5 м, состоящей из труб диаметром 76 мм, можно компенсировать отклонение не более 41 мм.

По результатам проведения аналогичных расчётов для труб разных диаметров установлено, что величины отклонений, которые можно компенсировать путём установки соединений с перекосом, находятся в пределах от 35 до 65 мм при длине трубы 2,5 м, что меньше величин возможных отклонений (до 100 мм). В результате, прямая труба, выбранная в качестве забойной в прямой трассе, ограниченной жёстко фиксированными соединениями, будет изготовлена с недопустимым перекосом соединений, и, как следствие, проектирование таких трасс недопустимо [3].

Для трасс с параллельными участками и прямыми трубами необходимо определить компенсационные возможности с учетом совместного влияния указанных особенностей конфигурации трубопровода.

**Постановка задач диссертационного исследования.** С учетом вышеизложенного были определены задачи предстоящего диссертационного исследования:

– исследовать влияние особенностей конфигурации (наличие взаимно параллельных и прямых труб) на компенсацию отклонений трасс трубопроводов;

– разработать математическое описание компенсационных возможностей трасс трубопроводов при совместном использовании параллельных участков и прямых труб;

– создать расчетный программный комплекс для применения результатов исследований в автоматизированных (CAD/CAM) системах проектирования и технологической подготовки производства трубопроводов;

– предложить методы повышения технологичности трубопроводов судовых систем.

**Заключение.** Решение поставленных задач по исследованию компенсационных возможностей проектной трассировки трубопроводов будет способствовать повышению эффективности судостроительного производства путем совершенствования технологий изготовления и монтажа труб, ориентированных на сокращение циклов постройки и снижение трудоемкости трубопроводных работ при выполнении судостроительных заказов.

Литература:

1. Сахно, К. Н. Преимущества использования взаимно параллельных участков трубопровода при проектировании труб, проходящих под зашивкой судовых помещений / К. Н. Сахно, Во Чунг Куанг // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. 2014. № 2. с. 99–104.
2. Сахно, К. Н. Научные основы повышения технологичности трубопроводов судовых систем на стадии проектирования: дис... д-ра техн. наук / К. Н. Сахно. Астрахань, 2012. 353 с.
3. ОСТ 5.95057–90. Системы судовые и системы судовых энергетических установок. Типовой технологический процесс изготовления и монтажа трубопроводов. — РТП НПО «Ритм».
4. РД 5Р.0005–93. Системы судовые и системы судовых энергетических установок. Требования к проектированию, изготовлению и монтажу труб по эскизам и чертежам с координатами трасс трубопроводов. СПб.: ЦНИИТС.

## Требования к расстояниям между дождеприемниками ливневой канализации городских дорог и улиц

Семенова Татьяна Викторовна, кандидат технических наук, доцент;

Герасимова Светлана Алексеевна, студент;

Корончевская Екатерина Владленовна, студент

Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия

*В статье выполнен обзор и анализ условий работы дождевой канализации городских дорог и улиц. Показано, что отсутствие канализации или неверный расчет расстояний между дождеприемными устройствами приводит к увлажнению грунтов и дискретных материалов оснований дорожных одежд, вследствие чего увеличивается интенсивность пластического деформирования и снижается сопротивление сдвигу. Установлено влияние толщины слоя, стекающей с покрытия дождевой воды и параметров шероховатости покрытия, на величину коэффициента сцепления. Разработан метод расчета расстояний между дождеприемниками, при которых в период дождя обеспечивается требуемый по условиям безопасности движения коэффициент сцепления шины с мокрым покрытием. Даны рекомендации по применению системы поверхностной ливневой канализации лоткового типа со сплошным и точечным сбором воды с покрытия.*

**Ключевые слова:** ливневая канализация, городская дорога, коэффициент сцепления шины с покрытием, лоток, дождеприемник.

Отсутствие системы ливневого водоотвода или неверный расчет расстояний между дождеприемниками приводит к целому ряду негативных последствий:

1. При неправильном расчете расстояний между дождеприемными устройствами, то есть если фактическое расстояние между ними превышает требуемое, путь дождевой воды до дождеприемника больше необходимого. В период дождя это приводит к увеличению глубины слоя воды, стекающего покрытия. При одной и той же скорости движения автомобиля коэффициент сцепления шины с покрытием тем меньше, чем больше глубина воды в пределах пятна контакта [1–4]. Таким образом, в период дождя верно рассчитанные расстояния между дождеприемными устройствами являются гарантией обеспечения безопасности движения.

2. Дождевая вода через дефекты, имеющиеся в покрытии, проникает в основание дорожной одежды, которое, как правило, устраивается из дискретных материалов, через частицы песка и зерна щебня вода попадает в земляное полотно и увлажняет грунты. При увлажнении связных грунтов их параметры прочности и деформируемости уменьшаются [5], что приводит к негативным последствиям. Дело в том, что уменьшение угла внутреннего трения приводит к увеличению касательных напряжений в любом условии пластичности, параметры материала которого связаны с углом внутреннего трения [6–17]. Так как при увлажнении грунтов касательное напряжение возрастает, то безопасное давление, наоборот, уменьшается [18, 19]. Снижение параметров деформируемости приводит к увеличению пластических деформаций [20–23], которые могут в определенный момент эксплуатации превысить предельные глубины неровностей [24, 25], вследствие чего потребительские свойства дороги окажутся, не обеспечены. Увлажнение сыпучих и дискретных материалов приводит к формированию водных пленок между частицами и уменьшению числа контактов между ними. По этой причине пластические деформации в слоях из таких материалов возрастают [26–31]. Кроме того, вода попадает в микрповреждения, имеющиеся в структуре асфальтобетона, что негативно сказывается на параметрах этого материала в критериях прочности, применяемых для его расчета [32–34].

Таким образом, правильное размещение дождеприемных устройств по длине канализации позволяет решить задачи обеспечения требуемого коэффициента сцепления шины с покрытием и не допустить увлажнение материалов и грунтов дорожной конструкции. Отсюда следует актуальность работ направленных на совершенствование расчета расстояний между дождеприемниками.

Анализ экспериментальных результатов исследований М. В. Немчинова [35], позволил получить эмпирическую формулу для расчета коэффициента сцепления при различных скоростях движения, средней высоте выступов шероховатого мокрого покрытия, глубине стекающей с проезжей части воды. Подбор эмпирической формулы выполнен в два этапа. В начале аппроксимированы значения коэффициента сцепления в зависимости от параметров «активной» шероховатости. Активной шероховатостью считается часть средней высоты выступов покрытия, обуславливающая величину коэффициента сцепления шины с мокрым покрытием. Абсолютная «активная» средняя высота выступов определяется по формуле:

$$R_{cp(a)} = R_{cp} - h_{ст} \tag{1}$$

где  $R_{cp}$  — средняя высота выступов шероховатости покрытия, мм;  $h_{ст}$  — глубина слоя стока, мм.

Для анализа и построения приближающей функции использовали относительные значения «активной» средней высоты выступов, определяемые отношением удвоенных абсолютных значений к удвоенной предельной средней высоте выступов для гладких покрытий, а именно по формуле:

$$\frac{R_{cp(a)}}{2 \cdot R_{r(пр)}} = \frac{(R_{cp} - h_{ст})}{2 \cdot R_{r(пр)}} \tag{2}$$

где  $R_{r(пр)}$  — предельные значения средней высоты выступов для гладких покрытий, 0,5 мм.

Аппроксимация опытных данных выполнена семейством экспоненциальных функций, общий вид которых, описывается формулой:

$$\varphi_{сц} = a \cdot \exp\left(-b \cdot \frac{(R_{cp} - h_{ст})}{2 \cdot R_{r(пр)}}\right) \tag{3}$$

где  $a$  и  $b$  — параметры модели, зависящие от скорости движения.

Приближение коэффициентов эмпирической формулы (3) выполнено методом полиномиальной регрессии. При аппроксимировании постоянных коэффициентов скорость движения задавалась относительными величинами, определяемыми отношением абсолютной скорости движения к основной максимально допустимой ГИБДД скорости движения по дорогам общего пользования.

В результате выполненного математического анализа получена эмпирическая формула для определения коэффициента сцепления от скорости движения, средней высоты выступов и глубины стекающей с покрытия воды.

$$\varphi_{\text{ск}} = \left( 0,399 \cdot \left( \frac{J}{J_{\text{max}}} \right)^2 - \frac{1,3591 \cdot J}{J_{\text{max}}} + 1,2226 \right) \times \exp \left[ \frac{(R_{\text{сп}} - h_{\text{ст}})}{2 \cdot R_{\text{т(сп)}}} \cdot \left( \frac{1,2473 \cdot J}{J_{\text{max}}} - 0,4861 \cdot \left( \frac{J}{J_{\text{max}}} \right)^2 - 0,598 \right) \right] \quad (2.41)$$

где  $J$  и  $J_{\text{max}}$  — фактическая и основная максимальная допустимая ГИБДД (90 км/ч) скорость движения по дорогам общего пользования, км/ч.

Наглядную картину об изменении коэффициента сцепления, вычисляемого по формуле (3) при вариации активной средней высоты выступов и скорости движения дают результаты расчета, представленные на рис. 1. Из анализа этого рисунка следует, что:

– При относительно малых скоростях движения и при увеличении активной средней высоты выступов шероховатости коэффициент сцепления шины с покрытием уменьшается. Это укладывается в экспериментальные данные [35]. Отметим, что при таких условиях эксплуатации коэффициент сцепления превышает требуемые значения, следовательно, безопасность движения обеспечивается.

– При увеличении скорости движения до 60 км/ч и более увеличение активной средней высоты выступов шероховатости приводит к увеличению коэффициента сцепления шины с покрытием, что также согласуется с данными экспериментов [35]. Отсюда следует, что при определенной активной средней высоте выступов шероховатости коэффициенты сцепления могут быть обеспечены в результате увеличения параметров шероховатости или уменьшения толщины стекающей с покрытия воды.



Рис. 1. Результаты расчета коэффициента сцепления по формуле (3): 1–9 — соответственно при скорости движения 40; 50; 60; 70; 80; 90; 100; 110 и 120 км/ч

Для проверки адекватности формулы (3) нами выполнены эксперименты, в ходе которых проведены измерения коэффициента сцепления шины с покрытиями разной шероховатости при различной глубине воды, подливаемой под имитатор шины прибора ППК-МАДИ. Показания этого прибора соответствуют показаниям мобильного прибора контроля ровности и сцепления ПКРС-2У при скорости его движения 60 км/ч. Поэтому по формуле (3) вычислялись коэффициенты сцепления для относительной скорости  $60/90 \approx 0,67$ . При выполнении эксперимента на покрытии размещались деревянные рамки, в которые устанавливались имитаторы ППК-МАДИ. Рамки необходимы для удерживания на покрытии воды, подаваемой под имитатор. Поэтому рамки крепились на покрытии при помощи алебаstra, который ликвидировал зазор между рамкой и покрытием. После высыхания алебаstra, под имитатор подавалась вода. Далее при помощи гребешка, применяемого для измерения толщины красок, используемых для нанесения горизонтальных дорожных разметок, измеряли глубину воды. После этого производили испытания, строго следуя инструкции к ППК-МАДИ. Наглядное представление о выполненном эксперименте и использованном нами приборе дают рис. 2 и рис. 3.

Уравнение (3) можно решить относительно глубины слоя стока, а если в полученном выражении принять вместо коэффициента сцепления его требуемое значение, а вместо скорости движения ее допустимое значение, то получим:

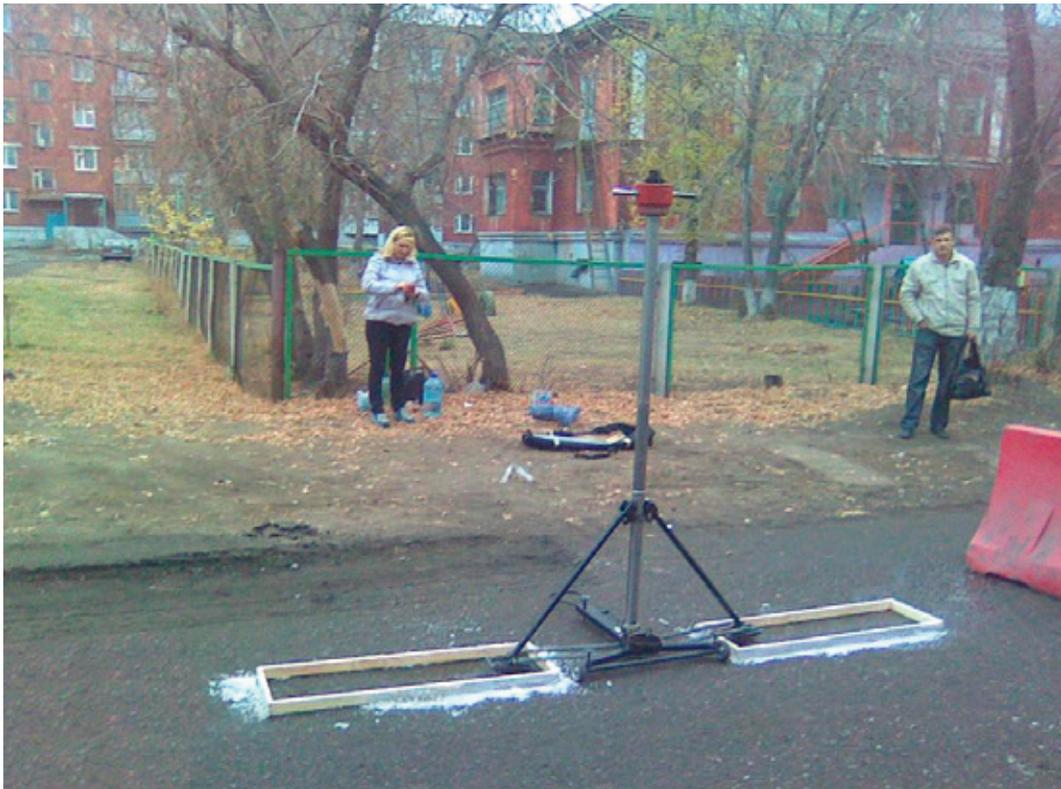


Рис. 2. Общий вид ППК-МАДИ и деревянных рамок, закрепленных алебастром на покрытии



Рис. 3. Общий вид воды под имитатором ППК-МАДИ (фото сделано перед сбросом груза)

$$h_{ст(сп)} = R_{сп} + h_{зд} - \frac{2 \cdot R_{ст(сп)}}{\frac{1,2473 \cdot \varrho_{сп}}{\varrho_{max}} - 0,4861 \cdot \left(\frac{\varrho_{сп}}{\varrho_{max}}\right)^2 - 0,598} \times \ln \frac{\varrho_{ст(сп)} \cdot k}{0,399 \cdot \left(\frac{\varrho_{сп}}{\varrho_{max}}\right)^2 - \frac{1,3591 \cdot \varrho_{сп}}{\varrho_{max}} + 1,2226} \quad (4)$$

Из анализа (4) следует, что шероховатым покрытиям с различной средней высотой выступов при требуемых скоростях движения и требуемом коэффициенте сцепления соответствует строго определенная критическая глубина слоя стока. Анализа работы М. В. Немчинова [35] показывает, что для определения глубины слоя стока можно воспользоваться формулой:

$$h_{\text{ст}(n)} = \left( \frac{a \cdot L \cdot n}{30 \cdot \kappa^{-1} \cdot \sqrt{i}} \right)^{0,588} = \left( \frac{1}{30 \cdot \kappa^{-1} \cdot (i_{np}^2 + i_n^2)^{0,25}} \cdot a \cdot b \cdot \sqrt{1 + \left( \frac{i_{np}}{i_n} \right)^2} \cdot \frac{R_{cp}^{0,2}}{23,9} \right)^{0,588} \quad (5)$$

где  $a$  — интенсивность дождя мм/мин;  $L$  — длина участка стекания воды;  $p$  — коэффициент гидравлической шероховатости;  $i_{np}$ ,  $i_n$  и  $i$  — соответственно продольный, поперечный уклон проезжей части и уклон стока;  $b$  — кратчайшее расстояние от точки определения глубины до оси проезжей части, мм;  $R_{cp}$  — средняя высота выступов шероховатости;  $\kappa$  — коэффициент, принимаемый равным при измерении уклонов в ‰  $\kappa=10$ , а при измерении уклона в ‰  $\kappa=31,6228$ .

Для оценки достоверности зависимости (5) выполнен эксперимент, описанный в работе [36], в ходе выполнения которого во время дождя произведено измерение глубины слоя стока в различных точках по длине стекания воды.

Зависимость (5) можно использовать для расчета критической глубины слоя стока, которая имеет место в определенной точке длины слоя стока. Расстояние от водораздела до точки с критической глубиной назовем критической длиной слоя стока и обозначим  $L_{\text{кр}}$ . Тогда критическую глубину найдем по формуле:

$$h_{\text{ст}(кр)} = \left( \frac{a \cdot L_{\text{кр}} \cdot n}{30 \cdot \kappa^{-1} \cdot \sqrt{i}} \right)^{0,588} \quad (6)$$

Так как формулы (4) и (6) позволяют определять одну и ту же величину, а граничные условия, то между этими уравнениями можно положить тождество. Тогда решив уравнение относительно критической длины слоя стока, получим:

$$L_{\text{кр}} = \frac{30 \cdot \sqrt{i}}{a \cdot n \cdot \kappa} \cdot 0,588 \sqrt{h_{\text{ст}(кр)}} = \frac{30 \cdot \sqrt{i}}{a \cdot n \cdot \kappa} \cdot 0,588 \sqrt{R_{cp} + h_{\text{вд}} - x} \quad (7)$$

$$x = \frac{2 \cdot R_{r(np)}}{\frac{1,2473 \cdot g_{\text{тр}}}{g_{\text{max}}} - 0,4861 \cdot \left( \frac{g_{\text{тр}}}{g_{\text{max}}} \right)^2 - 0,598} \cdot \ln \frac{\varphi_{\text{си}(тр)\kappa}}{0,399 \cdot \left( \frac{g_{\text{тр}}}{g_{\text{max}}} \right)^2 - \frac{1,3591 \cdot g_{\text{тр}}}{g_{\text{max}}} + 1,2226} \quad (8)$$

Из анализа расчетных схем следует, что расстояние между дождеприемными колодцами выражается через длину слоя стока. Тогда для дождеприемников, расположенных по обе стороны от водораздела расстояние между ними находится по формуле:

$$S = 2 \cdot \sqrt{L_{\text{кр}}^2 - B^2} \quad (9)$$

где  $B$  — расстояние от оси до центра дождеприемного колодца по перпендикуляру, которое условно можно принять равным кратчайшему расстоянию  $b$ , мм.

Для дождеприемных устройств, расположенных по одну сторону от водораздела расстояние найдем по формуле

$$S = \sqrt{L_{\text{кр}}^2 - B^2} \quad (10)$$

С учетом формулы (7) зависимости (9) и (10) примут вид:

$$S = 2 \cdot \sqrt{\left( \frac{30 \cdot \sqrt{i}}{a \cdot n \cdot \kappa} \cdot 0,588 \sqrt{R_{cp} + h_{\text{вд}} - x} \right)^2 - B^2} \quad S = \sqrt{\left( \frac{30 \cdot \sqrt{i}}{a \cdot n \cdot \kappa} \cdot 0,588 \sqrt{R_{cp} + h_{\text{вд}} - x} \right)^2 - B^2} \quad (11)$$

На рисунке 5 приведены результаты расчета расстояний между дождеприемными устройствами по второй расчетной схеме для 5-го ливневого района. Из анализа этого рисунка следуют рекомендации о конструкции дождевой канализации, согласно которым в зависимости от скорости движения и параметров шероховатости покрытия она может быть выполнена в виде:

1. Глубинного водоотвода, но с сравнительно малыми расстояниями между дождеприемными колодцами 20–30 мм.
2. Поверхностного водоотвода из закрытых лотков, в которых для попадания в лоток воды устроены отверстия.
3. Поверхностного водоотвода из лотков накрытых дождеприемными решетками, обеспечивающими сток воды по всей длине лотка.

Применяя эти конструкции и рассчитывая по формулам (11) расстояния между дождеприемниками или определяя это расстояние графически по рис. 5, а для других ливневых районов по подобным этому рисунку графикам, можно обосновано выбрать конструкцию водоотвода и запроектировать ее так, что коэффициент сцепления будет обеспечен даже в период дождя.

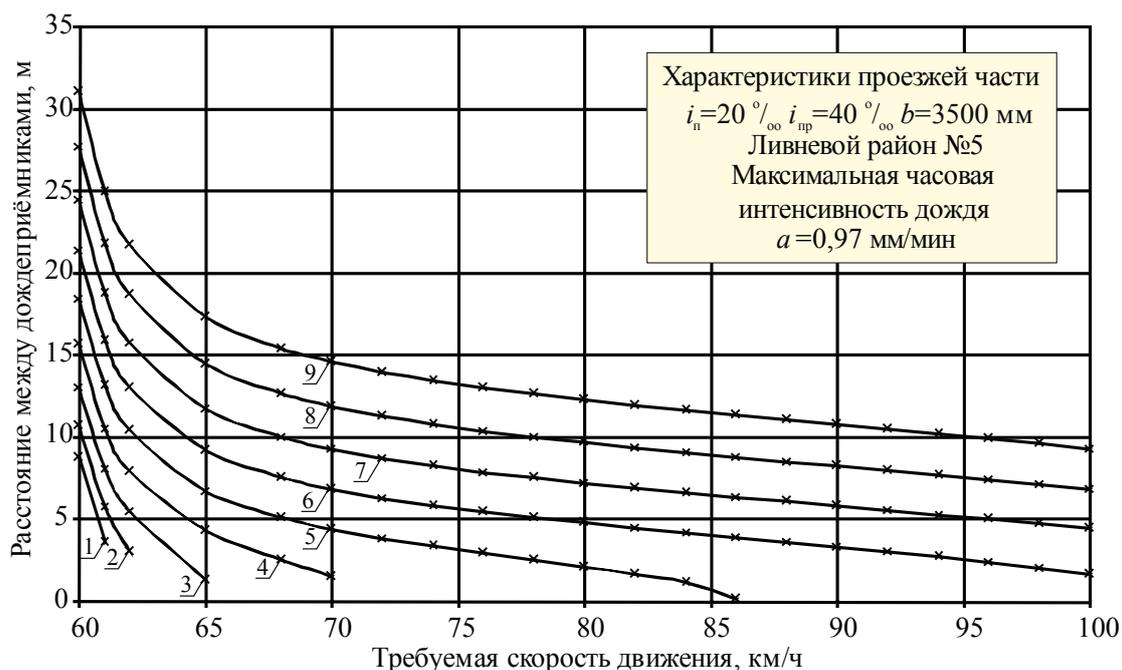


Рис. 4

Литература:

1. Александров, А. С., Александрова Н. П., Семенова Т. В. О проектировании шероховатости дорожных покрытий и дождевой канализации по условиям безопасности движения // Автомобильная промышленность. — 2008. — № 8 — с. 36–38.
2. Семенова, Т. В. Обеспечение сцепных качеств мокрых шероховатых асфальтобетонных покрытий на улицах городов и сельских поселений // Вестник СибАДИ. — 2009. — № 11. — с. 36–42.
3. Александров, А. С., Александрова Н. П., Семенова Т. В. Критерии проектирования шероховатых асфальтобетонных покрытий из условия обеспечения безопасности движения // Известия высших учебных заведений. Строительство. — 2009. — № 2. — с. 66–73.
4. Александров, А. С., Семенова Т. В. Обеспечение сцепных качеств асфальтобетонных покрытий городских дорог и улиц при проектировании сети дождевой канализации // Вестник Московского государственного автомобильно-дорожного университета (МАДИ) — 2009. — № 2. — с. 29–32.
5. Калинин, А. Л. Применение модифицированных условий пластичности для расчета безопасных давлений на грунты земляного полотна. // Инженерно-строительный журнал — 2013. № 4 (39). — с. 35–45.
6. Александров, А. С. Совершенствование расчета дорожных конструкций по сопротивлению сдвигу. Ч. 1. Состояние вопроса: монография. — Омск: СибАДИ, 2015. — 292 с.
7. Александров, А. С. Совершенствование расчета дорожных конструкций по сопротивлению сдвигу. Ч. 2. Предложения: монография. — Омск: СибАДИ, 2015. — 262 с.
8. Чусов, В. В. Перспективы применения эмпирических условий пластичности грунтов и определение их параметров при трехосных испытаниях грунтов // Вестник ВолГАСУ. — 2015. № 4 (61). — с. 49–57.
9. Александров, А. С., Долгих Г. В., Калинин А. Л. Применение критерия Друкера-Прагера для модификации условий пластичности // Наука и техника в дорожной отрасли. — 2013. № 2. — с. 26–29.
10. Александров, А. С., Калинин А. Л. Совершенствование расчета дорожных конструкций по сопротивлению сдвигу. Часть 1. Учет деформаций в условии пластичности Кулона — Мора // Инженерно-строительный журнал. — 2015. № 7 (59). — с. 4–17.
11. Александров, А. С., Долгих Г. В. Калинин А. Л. Один из путей совершенствования расчета дорожных одежд по условию сопротивления сдвигу в грунте земляного полотна // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. — Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2013. — с. 9–22.
12. Александров, А. С., Долгих Г. В. Калинин А. Л. Модификация критериев прочности сплошной среды для расчета грунтов земляного полотна по сопротивлению сдвигу // В сборнике: Архитектура. Строительство. Транспорт. Технологии. Инновации Материалы Международного конгресса ФГБОУ ВПО «СибАДИ». — Омск: СибАДИ, 2013. — с. 228–235.

13. Александрова, Н. П., Семенова Т. В., Долгих Г. В. Совершенствование моделей расчета главных напряжений и девиатора в грунте земляного полотна // Вестник СибАДИ. — 2014. — № 2 (36). с. 49–54.
14. Александров, А. С. Один из путей расчета минимальных главных напряжений в грунтах земляного полотна / А. С. Александров // В сборнике: Архитектура. Строительство. Транспорт. Технологии. Инновации Материалы Международного конгресса ФГБОУ ВПО «СибАДИ». — Омск, СибАДИ, 2013. — с. 217–228.
15. Александрова, Н. П. Модифицированные модели для расчета главных напряжений в грунте земляного полотна // В сборнике: Архитектура. Строительство. Транспорт. Технологии. Инновации Материалы Международного конгресса ФГБОУ ВПО «СибАДИ». Омск, 2013. — с. 236–246.
16. Александров, А. С., Александрова Н. П., Долгих Г. В. Модифицированные модели для расчета главных напряжений в дорожных конструкциях из дискретных материалов // Строительные материалы. — 2012. — № 10. — с. 14–17.
17. Александров, А. С., Долгих Г. В. Юрьев Д. В. Расчет главных напряжений в слоях дорожной одежды из дискретных материалов // Транспортное строительство. — 2011. — № 7. — с. 17–22.
18. Долгих, Г. В. Расчет грунтов земляного полотна по критерию безопасных давлений // Вестник СибАДИ. — 2013. — № 6 (34). — с. 43–49.
19. Александров, А. С., Долгих Г. В., Калинин А. Л. О допускаемых давлениях на грунты земляного полотна и слои дорожной одежды // Наука и техника в дорожной отрасли. — 2012. № 2. — с. 10–13.
20. Васильев, А. П., Коганзон М. С., Яковлев Ю. М. Предложения по учету остаточных деформаций при расчете дорожных одежд нежесткого типа // Наука и техника в дорожной отрасли. — 1997. — № 1. — с. 5–6.
21. Александров, А. С. Моделирование деформационных процессов, протекающих в связных грунтах // Наука и техника в дорожной отрасли. — 2002. — № 4. — с. 16–19.
22. Александров, А. С. Расчет пластических деформаций материалов и грунтов дорожных конструкций при воздействии транспортной нагрузки // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. — 2009. — № 2. — с. 3–11.
23. Александров, А. С. Учет упруговязкопластических свойств связных грунтов при проектировании дорожных одежд: // Автореферат канд. техн. наук — Омск: СибАДИ, 2001, — 24 с.
24. Герцог, В. Н., Долгих Г. В., Кузин В. Н. Расчет дорожных одежд по критериям ровности. Часть 1. Обоснование норм ровности асфальтобетонных покрытий // Инженерно-строительный журнал. — 2015. — № 5 (57) — с. 45–57.
25. Александров, А. С., Гордеева С. А., Шпилько Д. Н. О допускаемых и предельных значениях неровностей асфальтобетонных покрытий дорожных одежд жесткого типа // Автомобильная промышленность. — 2011. — № 2. — с. 31–35.
26. Александров, А. С. Нелинейное пластическое деформирование материалов при воздействии повторных кратковременных нагрузок // Известия высших учебных заведений. Строительство. — 2008. — № 10. — с. 74–84.
27. Семенова, Т. В., Гордеева С. А., Герцог В. Н. Определение пластических деформаций материалов, используемых в дорожных конструкциях // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. — 2012. — № 4 (37). — с. 247–254.
28. Александров, А. С. Применение теории наследственной ползучести к расчету деформаций при воздействии повторных нагрузок: монография. — Омск: СибАДИ, 2014. — 152 с.
29. Александров, А. С., Киселева Н. Ю. Пластическое деформирование гнейс- и диабаз материалов при воздействии повторяющихся нагрузок // Известия высших учебных заведений. Строительство. — 2012. — № 6. — с. 49–59.
30. Семенова, Т. В., Герцог В. Н. Пластическое деформирование материалов с дискретной структурой в условиях трехосного сжатия при воздействии циклических нагрузок // Вестник СибАДИ. — 2013. — № 1 (29). — с. 68–73.
31. Александров, А. С. Пластическое деформирование гранодиоритового щебня и песчано-гравийной смеси при воздействии трехосной циклической нагрузки // Инженерно-строительный журнал. — 2013. — № 4 (39) — с. 22–34.
32. Александрова, Н. П., Александров А. С., Чусов В. В. Модификация критериев прочности и условий пластичности при расчетах дорожных одежд // Вестник СибАДИ. — 2015. № 1 (41). — с. 47–54.
33. Александрова, Н. П., Александров А. С., Андреева Е. В. Проверка толщины монолитных слоев покрытий по модифицированному критерию Кулона-Мора, учитывающему микроповреждения структуры // Стандарт организации. Расчет дорожных одежд нежесткого типа дорог газовых промыслов Ямало-Ненецкого автономного округа по критериям прочности. — Омск: СибАДИ, 2014. — с. 49–51.
34. Александрова, Н. П., Александров А. С., Чусов В. В. Учет поврежденности структуры асфальтобетона в критериях прочности и условиях пластичности // В сборнике: Политранспортные системы материалы VIII Международной научно-технической конференции в рамках года науки Россия — ЕС. Новосибирск: СГУПС, 2015. — с. 219–225.
35. Немчинов, М. В. Сцепные качества дорожных покрытий и безопасность движения автомобиля — М: Транспорт, 1985. — 231 с.
36. Александров, А. С., Семенова Т. В. Экспериментальная оценка глубины слоя стока воды на асфальтобетонном покрытии в период дождя // Вестник СибАДИ — 2011. — № 21. — с. 29–35.

## Альтернативные источники электроэнергии

Соломатин Алексей Сергеевич, студент;  
 Мирзоян Александр Германович, студент;  
 Бандурина Мария Олеговна, студент  
 Ростовский государственный университет путей сообщения

В настоящее время перед человечеством стоит ряд глобальных проблем, требующих немедленного решения. Одной из таких задач является рационализация использования исчерпаемых природных ресурсов. В данной статье будет рассмотрена конкретная область применения ископаемых — выработка электроэнергии.

Человек с давних времен был заинтересован в получении электрической энергии, ее преобразовании, передаче на расстояния, использовании. В настоящее время люди применяют для выработки электроэнергии исчерпаемые природные ресурсы, такие как уголь, нефть, газ. Запасов этих ископаемых по прогнозам ученых хватит еще на несколько десятков лет. С целью оптимизации использования ресурсов человечеству приходится искать альтернативные источники электроэнергии. К таким источникам относятся: ветер, солнце, движение воды, тепло недр, разложение биомассы. Рассмотрим некоторые из предложенных источников.

Ветер. Энергию данного ресурса человек научился использовать около 40 лет назад. Этому сопутствовало создание ветрогенератора. Данная установка представляет собой совокупность лопастей, соединенных с турбиной напрямую или через редуктор.

Основные составляющие ветрогенератора: генератор, лопасти, мачта.

Генератор — устройство преобразования механической энергии в электрическую.

Лопастя — часть установки, подверженная влиянию потоков воздуха, а затем воздействующая на вал генератора.

Мачта — часть установки, на которой установлены генератор и лопасти. Отвечает за устойчивость всей конструкции.

Дополнительные части установки: контроллеры, аккумуляторные батареи, анемоскопы, инверторы.

Контроллеры — устройства, отвечающие за направление лопастей ветрогенератора.

Аккумуляторные батареи — устройство для накопления электроэнергии и ее использования во время отсутствия ветра.

Анемоскопы служат для сбора информации о силе, направлении и скорости ветра.

Инверторы — преобразователи постоянного тока в переменный.

Принцип работы такого устройства заключается в том, что потоки воздуха, попадая на лопасти установки, заставляют их вращаться. Соединенные с валом генератора, лопасти заставляют вращаться вал генератора

и вырабатывать электроэнергию. Затем эта энергия заряжает аккумуляторные установки, накапливается в них. Но большинство потребителей рассчитаны на применение при переменном токе. С целью получения переменного тока из постоянного, который выработан в результате работы установки, устанавливаются инверторы.

К преимуществам данной установки стоит отнести:

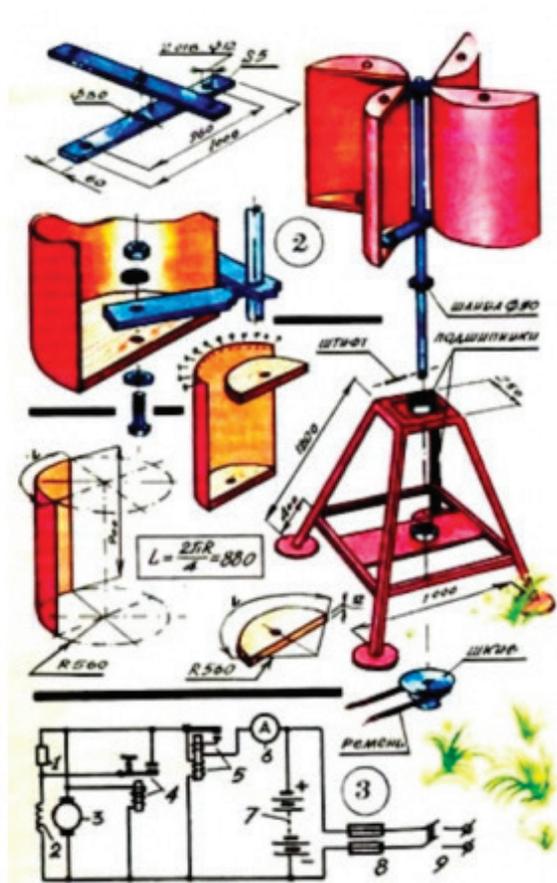
1. Бесшумность работы устройства;
2. Снижение оплаты за электроэнергию;
3. Выработка экологически чистой электроэнергии;
4. Низкая себестоимость установки по сравнению с другими альтернативными источниками электроэнергии;
5. Возможность параллельной работы установки с другими источниками электроэнергии;
6. Возможность снижения использования природных ресурсов зимой и осенью во время наибольшей нужды в отоплении помещений;
7. Рентабельность установки;
8. Возможность повсеместного использования;
9. Использование неисчерпаемых природных ресурсов;
10. Возможность самостоятельного выбора мощности установки, исходя из потребляемой мощности потребителем.

Схема данной установки приведена на рис.1

Схема питания потребителей представлена на рис.2

Солнце. Еще около десятка лет назад человек не мог представить, что энергию Солнца можно будет использовать с собственных целей. Но технический прогресс не стоит на месте, и в настоящее время люди активно начали использовать солнечный свет и тепло в качестве источника электрической энергии. Установка, преобразующая солнечный свет в электрический ток, называется солнечной батареей. Процесс преобразования солнечного света в электрический ток — сложный процесс, требующий знания не только физики, но и химии.

Данная установка состоит из последовательно соединенных солнечных батарей, так же их называют фотоэлементами. «Сердцем» фотоэлемента является кремниевый кристалл. Из кремния делают специальные пластины, которые с одной стороны покрыты тончайшим слоем фосфора, а с другой — тончайшим слоем бора. Там, где кремний контактирует с бором, возникает недостаток свободных электронов, а там, где происходит контакт с фосфором, наоборот — электроны в избытке. Возникает, так называемый в физике, p-n переход. P-N переход — среда в которой происходит соприкосновение сред с избытком и недостатком электрических носителей заряда,



Конструкция ветроустановки.

- 1 - резистор;
- 2 - обмотка статора генератора;
- 3 - ротор генератора;
- 4 - регулятор напряжения;
- 5 - реле обратного тока;
- 6 - амперметр;
- 7 - аккумулятор;
- 8 - предохранитель;
- 9 - выключатель

Рис. 1. Схема ветрогенератора



Рис. 2. Схема питания потребителей от ветрогенератора

т.е. электронов. При попадании солнечного света на пластину, фотоны света бомбардируют поверхность пластины, вышибая электроны из избыточной среды и направляя в недостающую. По определению, электрическим током называется упорядоченное движение электронов,

что мы, собственно говоря, и получили. Но, помимо получения электрического тока, нужно его где-то сконцентрировать, т.е. создать место для его «хранения». В этих целях делают специальные выводы от пластины к аккумулятору, где и будет находиться выработанная электро-

энергия. Но мощность одной такой пластины довольно мала, и ее хватит лишь для питания простейшего светодиода. С целью увеличения мощности фотоэлементов, их соединяют в системы-батареи. Затем батареи кладут на металлическую подложку, а для повышения прочности накрывают конструкцию стеклом. Немаловажной частью процесса преобразования солнечной энергии в электрическую является то, что в батареях происходит преобразование не только видимую часть солнечного спектра, но и ультрафиолетовую. Поэтому, выбирая стекло для такой

установки, необходимо учитывать, что оно должно пропускать ультрафиолетовый спектр излучения.

К преимуществам данной установки можно отнести:

1. Снижение оплаты за электроэнергию;
2. Рационализация использования исчерпаемых ресурсов;
3. Окупаемость установки в относительно небольшие сроки;

Пластина фотоэлемента представлена на рис.3

Схема преобразования солнечного света в электроэнергию представлена на рис.4

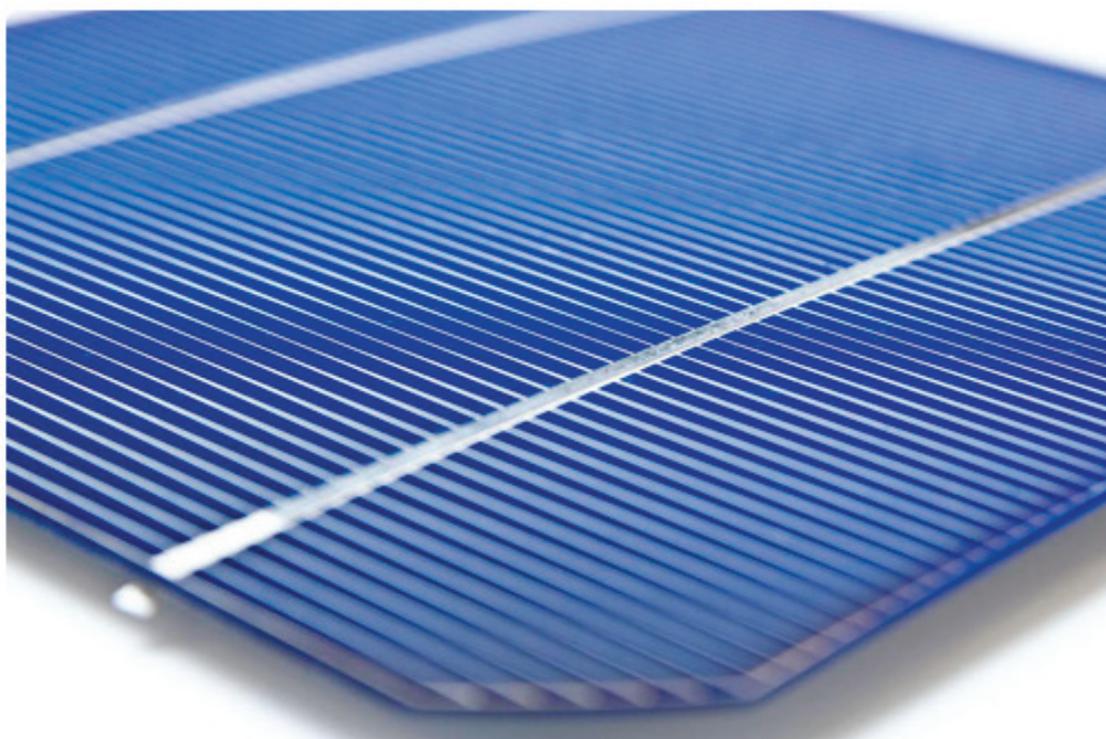


Рис. 3. Пластина фотоэлемента

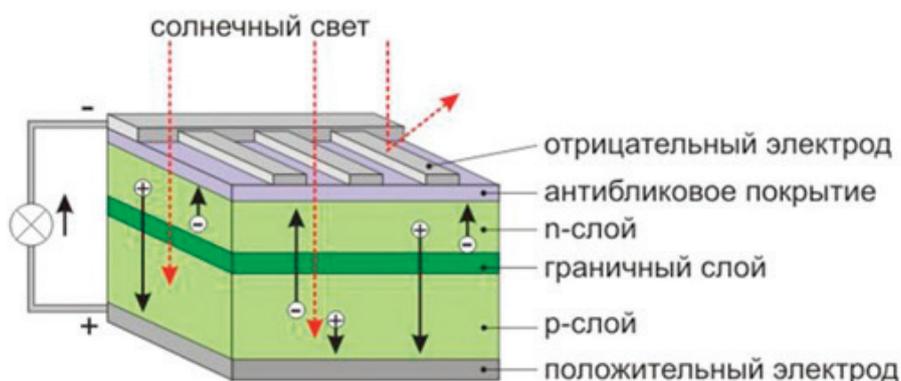


Рис. 4. Схема преобразования солнечного света в электроэнергию

Литература:

1. Альтернативные источники энергии. В. Германович., А. Турилин. 2011 г.
2. Ветрогенераторы, солнечные батареи и другие полезные конструкции. Кашкаров А. П. 2011 г.
3. Возобновляемые источники электроэнергии. Лукутин Б. В. 2008 г.

## Использование электроизоляционных материалов в промышленности

Соломатин Алексей Сергеевич, студент;  
Мирзоян Александр Германович, студент  
Ростовский государственный университет путей сообщения

Данная статья будет посвящена материалам, без которых представить себе современную электроустановку просто невозможно. Эти материалы — электроизоляция. Стоит начать с того, что электроизоляционный материал — материал, не пропускающий через себя электрический ток. С развитием электропромышленности люди стали все большее внимание уделять изоляции в связи с тем, что в ее отсутствии люди, работающие на электроустановках, получали удары током или, что еще хуже, умирали. В настоящее время существует множество ГОСТов, касающихся качеств и свойств электроизоляционных материалов. Итак, приступим к рассмотрению.

Асботекстолит — электроизоляционный материал на основе асбестовых тканей, пропитанных фенолформальдегидными смолами или лаками. Может подвергаться обтачиванию, сверлению, сколам, при этом не образуя

трещин, что говорит о его хорошей механической прочности. Температура самовоспламенения 500°C. Используется в качестве материала для создания непроводящих электрический ток прокладок. В частности, прокладки между составными частями сердечника маломощных катушек индуктивности.

Гетинакс электротехнический — несколько прессованных листов бумаги, пропитанных формальдегидной или эпоксидной смолами. Используется для изоляции токоведущих частей электроустановки, при производстве трансформаторов, так как данный материал может использоваться даже в трансформаторном масле. Так же используется при работах на воздушных линиях при нормальных климатических условиях. Существует несколько марок текстолита, которые выпускаются в зависимости от области применения материала. Ниже приведена таблица некоторых характеристик гетинакса.



Рис.1. Асботекстолит

Таблица 1

Наименование характеристики	Ед. изм.	I	V	X	ЛГ	ГН
Толщина	мм	1,0 – 50,0	1,0 – 50,0	0,5 - 50	0,5 - 50	0,5 - 50
Плотность	кг/м <sup>3</sup>	1300 - 1400	1300 - 1400	1300 - 1400	1250 - 1350	1250 - 1400
Разрушающее напряжение при изгибе перпендикулярно слоям, не менее	МПа	105 - 135	105 - 130	80	80	
Разрушающее напряжение при растяжении, не менее	МПа	80 - 120	70 - 100	65	60	120
Удельное объемное электрическое сопротивление после кондиционирования в условиях 24ч, 23°C, 93%, не менее, для листов толщиной до 2 мм.	Ом*м	1·10 <sup>6</sup>	1·10 <sup>8</sup>	1·10 <sup>7</sup>	5·10 <sup>8</sup>	5·10 <sup>10</sup>
Пробивное напряжение параллельно слоям (одноминутное проверочное испытание) в условиях М 90°C, трансформаторное масло	кВ	12 - 16	32 - 40		30	
Рабочая температура	°C	от - 65 до +120				

Миканит гибкий — электроизоляционный материал повышенной гибкости. Применяется в качестве межвитковой изоляции и изоляции в труднодоступных местах.

Выпускается в виде листов шириной 390 мм и длиной 855 мм. Основные технические характеристики данного материала приведены в таблице 2.

Таблица 2

Основные технические характеристики миканитов						
Марка	Номинальная толщина, мм	Электрическая прочность, кВ/мм	Удельное объемное электрич. сопротивление, Ом/см	Массовая доля компонентов, %		
				Слюды	Склеивающего вещества	Летучих веществ
ГМС	0,15-5,00	28-23	10 <sup>13</sup>	75-90	10-25	5
ГМС-ББ	0,20-5,00	21-16		не мен. 50	10-25	10
ГМЧ	0,15-5,00	28-23		75-85	15-25	5
ГМЧ-ББ	0,20-5,00	21-16		не мен. 50	15-25	10
ГФС	0,15-5,00	24-20		75-90	10-25	5
ГФС-ББ	0,20-5,00	21-16		не мен. 50	10-25	10
ГФЧ	0,15-5,00	24-20		75-85	15-25	5
ГФЧ-ББ	0,20-5,00	21-16		не мен. 50	15-25	10
ГФК	0,15-5,00	23-19		69-88	12-31	5

Существует много различных марок миканитов. В их обозначении встречаются следующие буквы:

- Г — гибкий;
- Ф — флогопит;
- ББ — оклеенный бумагой с двух сторон;
- М — мусковит;
- С — масляно-глифталевый лак;
- К — кремнийорганический лак.

Электрокартон — служит для производства работ в воздушной среде, используется в производстве электри-

ческих машин и аппаратов. Выпускается в виде рулонов и листов. Особенностью производства является то, что получают его из небеленой фосфатной целлюлозы при добавлении хлопковой целлюлозы, что и обеспечивает диэлектрические свойства данного материала. Электрокартон хорош еще тем, что его можно использовать как самостоятельный изоляционный материал, так и в сочетании с другими материалами: различными изоляционными лаками, маслами. На рисунке 2 показан рулон электрокартона.



Рис. 2. Электрокартон

Одной из новейших разработок в мире электротехнической изоляции является стеклотекстолит. К его необычным особенностям стоит отнести большую плотность и при этом

относительную мягкость, способен работать в большом ареале температур, в том числе и высоких, выдерживает большие перегрузки. Помимо основной отрасли приме-

нения (изоляционные материалы) используется при изготовлении плат в радиотехнике, трубопровода в химической промышленности, служит основой для изготовления различных строительных материалов. Данный композитный материал легко гнуть, сворачивать в различные формы, изламывать, но при этом он остается твердым как сталь. Существует несколько разновидностей данного материала:

1. Стеклотекстолит листовой — получается при слиянии стеклоткани с вязкой синтетической смолой при горячем плавлении. Обычно прессуется сразу несколько листов стеклоткани для получения стеклотекстолита.

2. Стеклотекстолит СТЭФ — листовой электроизоляционный материал, являющийся основой для изготов-

ления некоторых других электротехнических изделий, таких как печатные платы.

3. Стеклотекстолит СТЭФ-1 — производится так же, как и его аналог СТЭФ, но в отличие от него, в процессе изготовления СТЭФ-1 используется более мелкая чешуйчатая стеклоткань, что позволяет сделать композитный материал еще более гибким и эластичным для изготовления более мелких деталей.

Стоит так же отметить, что по сравнению с обычным текстолитом, стеклотекстолит обладает гораздо лучшими изоляционными свойствами. И существенное превосходство над гетинаксом. В следующей таблице приведены основные характеристики стеклотекстолита.

Таблица 3

Технические характеристики.					
Марка	Ед. изм.	СТЭФ	СТЭФ-1	СТ-ЭТФ	СТЭБ
Плотность	кг/м <sup>3</sup>	1600-1900	1600-1900	1700-1900	1750-2050
Разрушающее напряжение при изгибе перпендикулярно слоям, не менее	МПа	350	300-350	350	350
Разрушающее напряжение при растяжении, не менее	МПа	200-220	220	220	220
Ударная вязкость по Шарпи параллельно слоям на образцах с надрезом, не менее	кДж/м <sup>2</sup>	30-50	30-50	50	50
Удельное объемное электрическое сопротивление после кондиционирования в условиях 24 ч/23°C/93% для листов толщиной до 8 мм, не менее	Ом*м	1*10 <sup>10</sup>	1*10 <sup>10</sup>	1*10 <sup>10</sup>	5*10 <sup>10</sup>
Пробивное напряжение параллельно слоям (одноминутное проверочное испытание) в условиях М/90°C/трансформаторное масло, не менее	кВ <sub>ЭФФ</sub>	28-35	28-35	35	35
Сопротивление изоляции после кондиционирования в условиях 24 ч/23°C/дистиллированная вода, не менее	МОм	5*10 <sup>4</sup>	5*10 <sup>4</sup>	5*10 <sup>4</sup>	5*10 <sup>4</sup>

Стеклотекстолит представлен на рисунке 3.

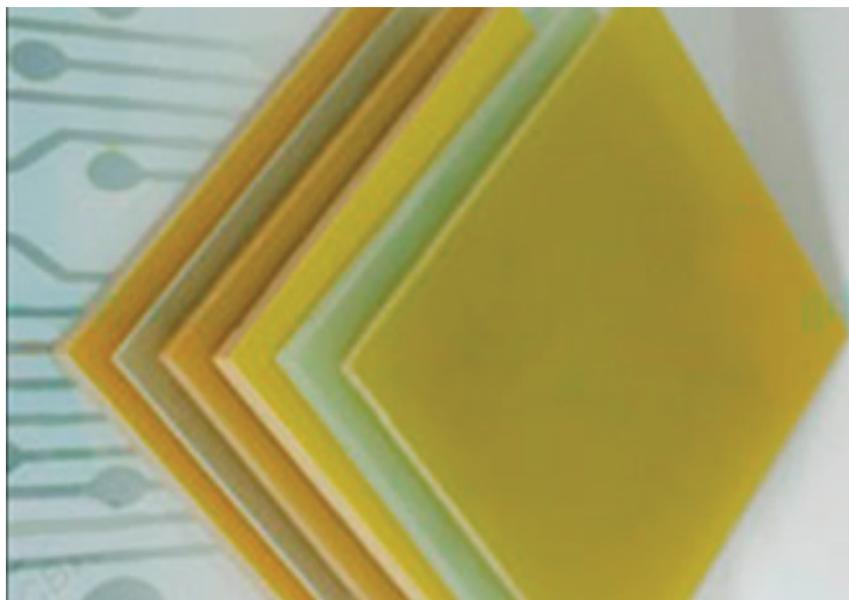


Рис. 3. Стеклотекстолит

Пленка полиэтилентерефталатная представляет собой прочную, гибкую, влагостойкую, термоустойчивую пленку, которая может использоваться как самостоятельный изоляционный материал, так и в синтезе с другими твердыми материалами. Ее преимущество заключается в эластичности и способности проникать в труднодоступные места. Широкое

потребление в отрасли машиностроения, потому как, помимо изоляционных качеств, обладает еще и фрикционными. Способна работать в диапазоне температур от  $-70$  до  $+150^{\circ}\text{C}$ .

Выпускается в рулонах массой до 200 кг, намотанная на плотную втулку.

Основные характеристики представлены в таблице 4.

Таблица 4

Основные электроизоляционные и физико-математические свойства пленки полиэтилентерефталатной ПЭТ-Э									
Свойства	10 МКМ	12 МКМ	20 МКМ	50 МКМ	100 МКМ	125 МКМ	175 МКМ	190 МКМ	250 МКМ
Модуль упругости, не менее, МПа	147	147	147	157	157	157	157	137	137
Относительное удлинение при разрыве, не менее, %	60	60	60	70	90	90	90	90	90
Удельное объемное электрическое сопротивление, Ом*см, не менее	$1 \times 10^{14}$								
Электрическая прочность при переменном напряжении, кВ, не менее	220	220	220	170	140	120	90	90	80
Усадка пленки, %, не более	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Литература:

1. Справочник по электротехническим материалам. Том 1. Ю. Корицкий, В. Пасынков, Б. Тареев. 1986 г.
2. Обмотки и изоляция силовых трансформаторов. Герасимова Л. С., Майорец А. И. 1969 г.

## Management of thermal processes of the liquid heating. Types and their features

Спасенков Виктор Владимирович, студент  
Оренбургский государственный аграрный университет

### General about liquid heating

Let’s consider the heat management process principles with control surface shell and tube heat exchanger as an example (Fig. 1), which is supplied with the heat carrier and the heated product. Indicator of the effectiveness of the process is the product temperature at the outlet of the heat exchanger and the control objective is to maintain this temperature at a certain level. Temperature dependence on process parameters can be found from the heat balance equation:

$$G_p \cdot c_p \cdot (t_p'' - t_p') = G_c \cdot c_c \cdot (t_c'' - t_c')$$

Where:  $G_p, G_c$  — expenditure of the product and the hot heat carrier;

$c_p, c_c$  — specific heat capacity of the product and the hot heat carrier;

$t_p', t_c'$  — temperature of the product and the hot heat carrier at the entrance of the heat exchanger;

$t_p'', t_c''$  — temperature of the product and the hot heat carrier at the outlet of the heat exchanger;

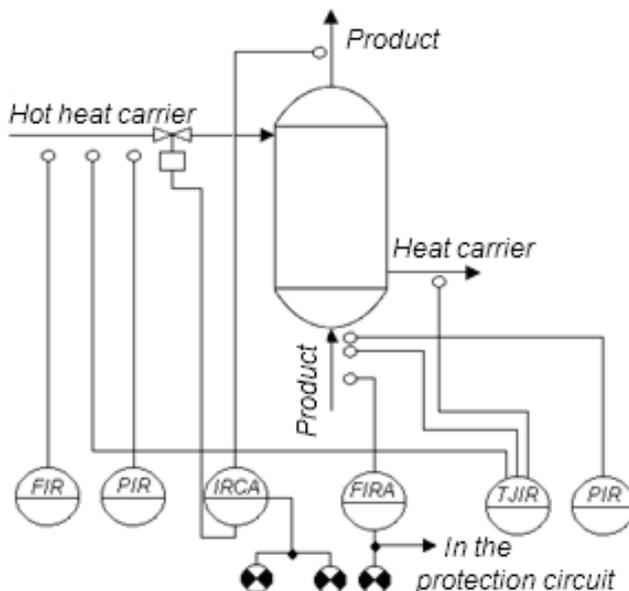


Figure 1. Typical scheme of automation of the heating process

Solving the heat balance equation for  $t_p''$  we get:

$$t_p'' = (G_c \cdot c_c / G_p \cdot c_p)(t_c' - t_c'') + t_p'$$

Heat carrier expenditure  $G_c$  is easily stabilized and can be used for the introduction of effective control interventions. Product expenditure  $G_p$  is determined by other technological processes, rather than heating process, so it cannot be stabilized or used to make control interventions; with the change of  $G_p$  strong disturbances enter the heat exchanger. The temperatures  $t_p', t_c'$  and specific heat capacities  $c_p, c_c$  are determined by technological conditions of other processes, so it is impossible to stabilize them in the heating process. Not liquidated perturbations also contain ambient temperature changes and heat transfer properties of the wall due to salt deposition and corrosion.

Analyzing the control object we can see that most of the disturbances cannot be eliminated. In this regard the temperature  $t_c''$  should be taken as a control variable and carry out regulating effect by expenditure  $G_c$  changing.

The heat exchanger as a temperature control object has longer delay, so you should pay special attention to the selection of the sensor installation location and regulatory law. To reduce traffic delays temperature sensor should be placed as close as possible to the heat exchanger. To eliminate the lag, application controllers with prefixed and actuators with positioners can be significantly effective.

As the controlled variables heat carrier flow rate should be taken, their final and initial temperature, pressure. Knowledge of the current values of these parameters is necessary for the normal start-up, commissioning and operation of the process. It is also required to know expenditure  $G_c$  to calculate the technical and economic parameters of the process, and the expenditure  $G_p$  and temperature  $t_c''$  for the operational management of the process.

The temperature  $t_c''$  and the expenditure of the product should be controlled. Due to the fact that a sharp drop in expenditure of  $G_p$  is often a cause of failure of the heat exchanger, the protection device in this case should overlap the hot heat carrier line.

All the arguments in relation to the heating process are valid to cooling process. The object of the control in this case will be shell tube heat exchanger, which is supplied with coolant and cooled product; efficiency indicator is the final temperature of the product, and the aim of the control is maintaining this temperature at a predetermined value. The main control unit will control the final temperature of the cooled product, the regulation will be implemented by changing the coolant flow.

### Cascade-related regulation

The use of double-circuit automatic control systems significantly improves the control quality of the final product temperature, if the parameter, with strong indignation for the heat transfer process selected as the auxiliary adjustable variable.

Often the coolant flow (Fig. 2) is chosen as an auxiliary parameter; If coolant is steam with variable pressure, it is preferable to measure the pressure of the coolant or the pressure in the intertube space.

The last option should be used at variable temperature and flow-heated, as the pressure in the intertube space is much less than inertial parameter than the final product temperature.

### Regulation through bypassing the products

To control systems in which change of the heat capacitor flow rate is not possible, bypass method is used.

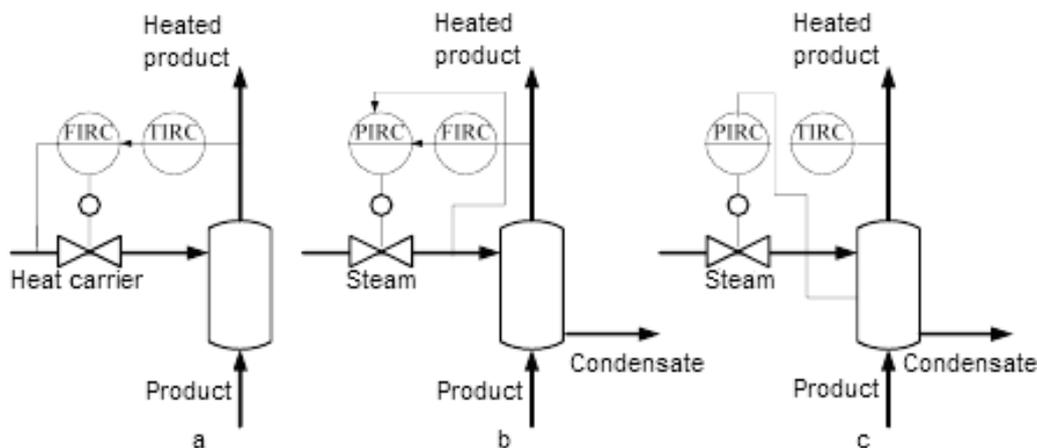


Figure 2. Double-circuit system of regulation of the heating process with the use of an auxiliary variable coolant flow rates (a), the vapor pressure of (b) and the pressure in the intertube space (c)

Regulating effect in this case, is made by changing by-passed product flow (Fig. 3a).

Since the movement of the regulatory body in the bypass line still leads to some changes in the product flow at high requirements for constancy of the flow two membrane actua-

tors of different type are installed (Figure 3b). A similar effect is achieved by installing a three-way mixing valve (figure 3c).

Control method improves the dynamic bypass characteristic of the system, as this chain of control of the heat exchanger is excluded.

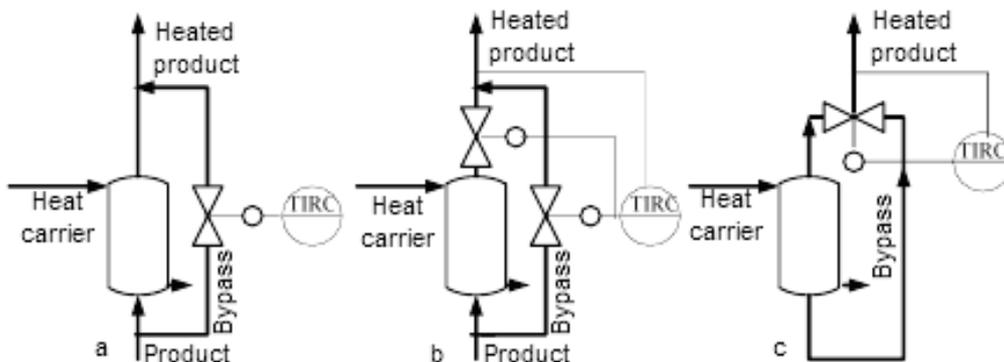


Figure 3. Temperature control scheme changes in product flow a bypass pipe: a — via one valve; b — with two valves; c — via three-way valve

**Regulation by changing consumption of heating steam condensate**

If the heat exchanger is operated at partial condensate pour, regulatory influences can be inserted by changing condensate consumption, which leads to a change in the level of condensate in the heat exchanger. In this case heat exchange surface is distributed between the condensing vapor and the product on the one hand, and the condensate and the product — on the other. The intensity of the heat exchange, and then the temperature of the product leaving the heat exchanger changes. This system allows increasing heat exchanger efficiency by 6–7% due to the full utilization of the heat of steam and condensate. However, due to the large delays the system can be recommended only in the absence of sudden disturbing influences.

**Process control in the heat exchangers of mixing**

The slightest change in the parameters of the heat carrier during direct mixing two or more liquids, result in significant and rapid changes in temperature of the final product, so in the management of heat exchangers of mixing connected regulation are often used and ratio of the flow rate and the product with the correction of the product temperature.

**Automation of process of heating combustible products**

To eliminate an explosion hazard in superficial heat exchangers it is necessary to provide methods and means to prevent mutual penetration of heat carrier (if it could result in an explosive environment). This applies particularly to the

heat exchangers in which the heat carrier fuel pressure higher than the pressure of the incombustible heat carrier.

By reducing the level of flammable liquid heated in the heat exchanger and unsheathing the heat transfer surface

(which can lead to overheating, drying and decomposition of flammable product and the development of uncontrollable processes) there should be triggered the alarm lock the device (the latter should stop the flow of heating agent).

## Методы экспресс-контроля качества строительства автомобильных дорог. Часть первая. Уплотнение грунтов земляного полотна

Стригун Ксения Юрьевна, магистрант

Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия

*В публикации выполнен обзор и анализ приборов и оборудования экспресс оценки модуля упругости, калифорнийского числа несущей способности и твердости грунтов, оцениваемой глубиной проникновения конуса динамических пенетрометров от одного удара. Анализ работ предшественников позволит разработать математические модели, связывающие коэффициент уплотнения грунта с коэффициентом увлажнения при испытании различными приборами, установками динамического нагружения, динамическими конусными пенетрометрами российского и зарубежного производства, измерителем жесткости грунта GeoGauge. В работе авторы описывают методику экспериментальных исследований, включающую лабораторные работы и натурные испытания. Применение результатов исследования позволит сгущать сетку контроля коэффициента уплотнения, за счет чего повысится надежность испытаний и однородность степени уплотнения. Это приведет к повышению ровности покрытий и обеспечению требуемого уровня потребительских свойств автомобильной дороги на более продолжительном временном отрезке эксплуатации.*

**Ключевые слова:** коэффициент уплотнения, коэффициент увлажнения, экспресс оценка степени уплотнения, динамический пенетрометр, установка динамического нагружения, измеритель жесткости грунта.

От качества уплотнения грунтов земляного полотна зависят показатели их прочности и деформируемости. В результате при правильно запроектированной дорожной одежде грунты работают в стадии уплотнения [1], претерпевая остаточные деформации, которые относительно числа, приложенных нагрузок носят затухающий характер [2, 3] и связаны с напряжениями линейной зависимостью [4]. Таким образом, степень уплотнения грунта оказывает влияние на ровность покрытия, к которой нормативные документы выдвигают строгие требования, а в работах специалистов [5–8], ограничения по глубине неровностей еще более строгие. Ровность покрытий обуславливает важнейшие потребительские свойства автомобильных дорог: скорость, безопасность и удобство движения, вследствие чего научные исследования, направленные на обеспечения качества уплотнения грунтов актуальны. Кроме того, в работах, выполненных в области разработки способов расчета пластических деформаций и грунтов [9–12], предполагается, что степень уплотнения грунтов и щебеночных материалов обеспечена. Несоответствие коэффициента уплотнения, значениям, закладываемым при расчете остаточных деформаций [9–12] приводит к тому, что фактические значения параметров деформируемости грунтов и материалов оказываются меньше величин, используемых при проектировании конструкции по ровности. Такое же замечание можно сделать по отношению к методам расчета земляного полотна по

сопротивлению сдвигу [13–20]. В этом случае, если фактическая величина коэффициента уплотнения окажется меньше, заложенной в расчетах [13–20], то параметры грунтов, используемые в условиях пластичности для проектирования дорожной конструкции, будут иметь значения меньше фактических. Это так же приведет к тому, что запроектированная дорожная одежда будет иметь недостаточную жесткость для данных условий эксплуатации.

Критерием качества уплотнения является степень уплотнения грунта, она характеризуется величиной коэффициента уплотнения и должна соответствовать требованиям строительных правил. Режим и объем контроля, а также предельные отклонения коэффициента уплотнения от требуемых значений регламентируются строительными правилами. В нижних технологических слоях насыпей высотой более трех метров коэффициент уплотнения контролируют в поперечниках, расположенных на расстоянии не более 50 м, а в других конструкциях поперечного профиля не реже, чем через 200 м. В верхнем технологическом слое земляного полотна не зависимо от конструкции его поперечного профиля степень уплотнения проверяют через каждые 50 м. При ширине земляного полотна до 20 м из поперечника отбирают три пробу, одну берут по оси сооружения, а две другие отбирают на расстоянии 1,5–2 м от бровки. При ширине — более 20 м в пределах поперечника берут еще две дополнительные пробы из промежутков между осью и бровкой. Безусловно, что для повы-

шения надежности контроля коэффициента уплотнения целесообразно сгущение сетки контроля, то есть уменьшение шага отбора проб по длине и увеличение точек контроля в пределах одного поперечника. Точные методы определения плотности, регламентируемые государственными стандартами обладают высокой трудоемкостью отбора проб и требуют значительных затрат времени на лабораторное определение плотности и влажности грунта. Поэтому возникает острая необходимость в развитии методов экспресс оценки степени уплотнения грунтов, выполняемой непосредственно на строительном объекте.

Большая экспериментальная работа по исследованию влияния влажности и степени уплотнения грунтов на по-

казатели механических свойств выполнена В. М. Сиденко, О. Т. Батракова и Ю. А. Покутнева [21]. В результате получены эмпирические формулы, связывающие модуль упругости, сцепление и угол внутреннего трения с относительной влажностью и коэффициентом уплотнения грунта. Эти формулы приведены в табл. 1 [9]. Известно, что с увеличением плотности сухого грунта показатели прочности и деформируемости грунтов возрастают. В количественном отношении зависимость показателей механических свойств грунтов от коэффициента уплотнения и влажности можно представить эмпирическими формулами В. М. Сиденко, О. Т. Батракова и Ю. А. Покутнева [21], которые приведены в табл. 1.

Таблица 1. Формулы для расчета параметров прочности и деформируемости (Примечание  $W$  — относительная влажность, определяемая отношением влажности грунта  $W_e$  к влажности на границе текучести  $W_T$  ( $W=W_e/W_T$ ))

Вид грунта	Показатель прочности или деформируемости	Формула
Суглинки и глины	Штамповый модуль упругости, МПа	$E = 35046 \cdot k_y^{1,5} \cdot e^{(8,36 \cdot W^2 - 15,78 \cdot W)}$
	Сцепление, МПа	$c = 0,034 \cdot k_y^{1,5} \cdot e^{(3,94 \cdot W - 6,81 \cdot W^2)}$
	Угол внутреннего трения, °	$\varphi = 58,6 \cdot (1 - W) \cdot k_y$
Супеси легкие не пылеватые	Штамповый модуль упругости, МПа	$E = 209 \cdot k_y^{1,5} \cdot e^{(1,627 \cdot W^2 - 3,56 \cdot W)}$
	Сцепление, МПа	$C = 0,202 \cdot k_y^{1,5} \cdot e^{(4,6 \cdot W^2 - 7,58 \cdot W)}$
	Угол внутреннего трения, °	$\varphi = 43 \cdot (1 - 3 \cdot W) \cdot k_y$
Супеси крупные	Штамповый модуль упругости, МПа	$E = 82 \cdot k_y^{1,5} \cdot e^{(0,4 \cdot W^2 - 0,72 \cdot W)}$

Анализируя данные табл. 1 отметим, что можно решить обратную задачу, то есть получить формулы для расчета коэффициента уплотнения через измеренные параметры прочности и относительную влажность грунта. При контроле степени уплотнения целесообразно сгущение сетки контроля, то есть уменьшения расстояния между определением плотности грунта и коэффициента уплотнения. Сгущение сетки контроля дает преимущество, связанное с возможностью выявления мест с неоднородным уплотнением то есть с резко отличающимися коэффициентами уплотнения. Наличие таких участков негативно сказывается на ровности покрытий. Связано это с тем, что грунт с более высоким коэффициентом уплотнения испытывает остаточные деформации меньшей величины, по сравнению с грунтом с меньшей степенью уплотнения. Как известно [22] глубина неровности в рассматриваемой точке покрытия обусловлена разностью остаточных деформаций в этой точке и точке с наименьшей деформацией. Поэтому устранение участков с неоднородным уплотнением в процессе строительства земляного полотна позволяет уменьшить интенсивность деградации ровности покрытия при эксплуатации дороги.

В настоящее время разработано большое количество приборов для экспресс оценки параметров прочности

и деформируемости грунта. Обзор и анализ таких приборов выполнен в работах [23–25]. На рис. 1 приведены установки динамического нагружения (УДН), предназначенные для измерения осадок и вычисления штампового модуля упругости грунта.

Методика измерений и обработки данных подробно описывается в руководствах пользователя, которые снабжены корреляционными таблицами, связывающими кратковременные модули со статическим модулем и коэффициентом уплотнения.

Отметим, что большинство таких приборов производятся за рубежом и сопровождаются импортным программным обеспечением, в котором коэффициент уплотнения вычисляется по отношению плотности сухого грунта к его максимальной плотности. Определяемой максимальной плотности за рубежом выполняют соответствующим типу грунта тестом ( $A$ ,  $B$  или  $C$ ) стандартным или модифицированным методом Р. Проктора. Методику этого эксперимента можно изучить по материалам работы [26].

В РФ для этого эксперимента применяют метод стандартного уплотнения. Эти методы имеют отличия, как по методике проведения испытания, так и по оборудованию.

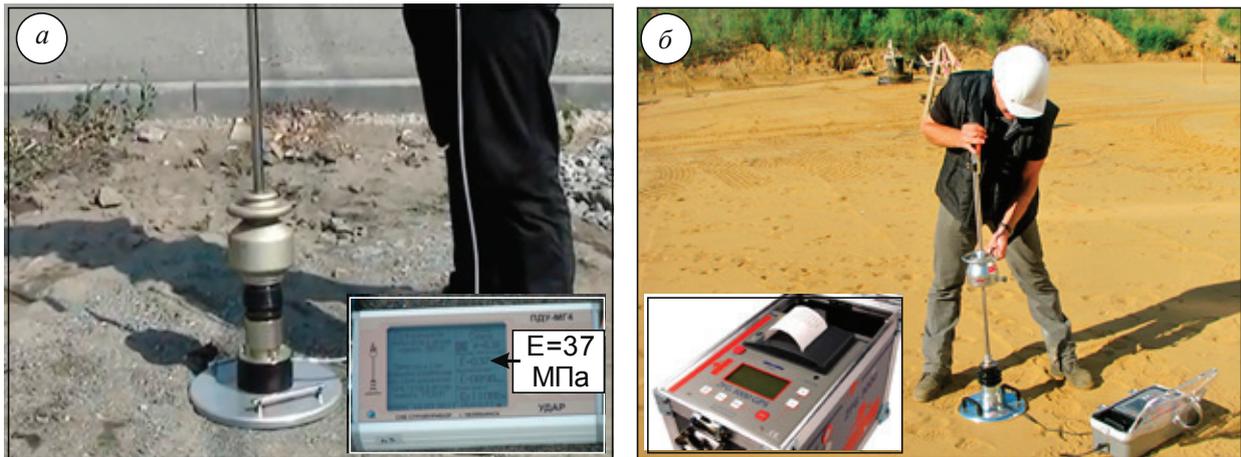


Рис. 1. Установки динамического нагружения для измерения осадки и определения модуля упругости: а — ПДУ-МГ4.01 «Удар», б — ZFG-3000

Поэтому максимальная плотность грунта, определяемая по методам РФ, США и стран Евросоюза различная. Эта требует уточнения коэффициентов уплотнения, которые показывают зарубежные УДН или оборудование, работающее на импортном программном обеспечении.

При вычислении модуля упругости грунтового основания применяют представление Ж. Буссинеска, которое считается общепринятым. Вместе с тем для вычисления напряжений при расчете осадок используют совершенно другие решения, например при расчете осадок от круглого штампа применяют решение [27], недостатки которого описываются в работе [3]. Поэтому наряду с решением [27] для расчета главных напряжений можно применить способ, найденный в работах [28–30]. После расчета напряжений и вычисления по измеренной осадке модуля упругости коэффициент уплотнения можно рассчитать по обобщающей зависимости:

$$k_y = \left[ \frac{E}{A \cdot \exp(B \cdot W^2 - C \cdot W)} \right]^{\frac{2}{3}}, \tag{1}$$

где  $A$ ,  $B$  и  $C$  — комплексные коэффициенты, зависящие от параметров грунта, характеризующих его вид и разновидность, и прибора с помощью которого выполнено экспериментальное определение модуля упругости (деформации) грунта.

При контроле качества уплотнения грунтов удобно оперировать не относительной влажностью, а оптимальной влажностью  $W_o$  или коэффициентом увлажнения  $k_{увл}$ . Эти параметры можно вычислить по формулам

$$k_{увл} = \frac{W_e}{W_o}; W_o = \alpha \cdot W_T \tag{2}$$

где  $\alpha$  — коэффициент перехода от оптимальной влажности к влажности на границе текучести, определяемый отношением их значений, установленных экспериментально по методам изложенных ГОСТ.

Несмотря на то, что известны ориентировочные значения параметров грунта, используемых в формулах (2), при контроле качества они определяются экспериментально с периодичностью 1 раз на 2000 м<sup>3</sup> грунта.

Используя зависимости (2) в выражении (3), получим формулу:

$$k_y = \left[ \frac{E}{A \cdot \exp(B \cdot \alpha^2 \cdot k_{увл}^2 - C \cdot \alpha \cdot k_{увл})} \right]^{\frac{2}{3}} \tag{3}$$

Зависимость (3) является обобщающей моделью расчета коэффициента уплотнения по вычисленному с использованием осадок, измеренных УДН, модулю упругости.

Задачами дальнейшего исследования автора является определение параметров  $A$ ,  $B$  и  $C$  модели (3). Для этого необходимо выполнить экспериментальные испытания с применением различных установок динамического нагружения, определив для каждой из них свои коэффициенты  $A$ ,  $B$  и  $C$ . По результатам этой работы предполагается формирование базы данных.

Литература:

1. Александров, А. С. Расчет пластических деформаций материалов и грунтов дорожных при воздействии транспортно-нагрузки // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. Строительство. — 2009. — № 2. — с. 3–11.
2. Wichtmann, T., Niemunis A. Triantafyllidis Th. Strain accumulation in sand due to drained cyclic loading: on the effect of monotonic and cyclic preloading (Miner’s rule) // Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2010. Vol.30, № 8, Pp.736–745.

3. Александров, А. С. Совершенствование расчета дорожных конструкций по сопротивлению сдвигу. Ч. 1. Состояние вопроса: монография. — Омск: СибАДИ, 2015. — 292 с.
4. Семенова, Т. В., Гордеева С. А., Герцог В. Н. Определение пластических деформаций материалов, используемых в дорожных конструкциях // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. — 2012. — № 4 (37). — с. 247–254.
5. Золотарь, И. А. К определению остаточных деформаций в дорожных конструкциях при многократных динамических воздействиях на них подвижных транспортных средств / И. А. Золотарь. — Санкт-Петербург: Изд-во ВАТТ, 1999. — 31 с.
6. Александров, А. С. Критерии расчета дорожных конструкций по ровности, допускаемые и предельные неровности // Вестник гражданских инженеров. — 2008. — № 4. — с. 97–104.
7. Герцог, В. Н., Долгих Г. В., Кузин В. Н. Расчет дорожных одежд по критериям ровности. Часть 1. Обоснование норм ровности асфальтобетонных покрытий // Инженерно-строительный журнал. — 2015. — № 5 (57) — с. 45–57.
8. Александров, А. С., Гордеева С. А., Шпилько Д. Н. О допускаемых и предельных значениях неровностей асфальтобетонных покрытий дорожных одежд жесткого типа // Автомобильная промышленность. — 2011. — № 2. — с. 31–35.
9. Семенова, Т. В., Герцог В. Н. Пластическое деформирование материалов с дискретной структурой в условиях трехосного сжатия при воздействии циклических нагрузок // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. — 2013. — № 1 (29). — с. 68–73.
10. Александров, А. С., Киселева Н. Ю. Пластическое деформирование гнейс- и диабаз материалов при воздействии повторяющихся нагрузок // Известия высших учебных заведений. Строительство. — 2012. — № 6. — с. 49–59.
11. Александров, А. С. Пластическое деформирование гранодиоритового щебня и песчано-гравийной смеси при воздействии трехосной циклической нагрузки // Инженерно-строительный журнал. — 2013. — № 4 (39) — с. 22–34.
12. Александров, А. С. Применение теории наследственной ползучести к расчету деформаций при воздействии повторных нагрузок: монография. — Омск: СибАДИ, 2014. — 152 с.
13. Калинин, А. Л. Применение модифицированных условий пластичности для расчета безопасных давлений на грунты земляного полотна. // Инженерно-строительный журнал — 2013. № 4 (39). — с. 35–45.
14. Александров, А. С., Долгих Г. В., Калинин А. Л. Применение критерия Друкера-Прагера для модификации условий пластичности // Наука и техника в дорожной отрасли. — 2013. № 2. — с. 26–29.
15. Болдырев, Г. Г. Методы определения механических свойств грунтов. Состояние вопроса / Г. Г. Болдырев — Пенза: ПГУАС, 2008. — 696 с.
16. Александров, А. С., Калинин А. Л. Совершенствование расчета дорожных конструкций по сопротивлению сдвигу. Часть 1. Учет деформаций в условии пластичности Кулона-Мора // Инженерно-строительный журнал. — 2015. № 7 (59). — с. 4–17.
17. Александров, А. С., Долгих Г. В., Калинин А. Л. О допускаемых давлениях на грунты земляного полотна и слои дорожной одежды // Наука и техника в дорожной отрасли. — 2012. № 2. — с. 10–13.
18. Александров, А. С. Совершенствование расчета дорожных конструкций по сопротивлению сдвигу. Ч. 2. Предложения: монография. — Омск: СибАДИ, 2015. — 262 с.
19. Чусов, В. В. Перспективы применения эмпирических условий пластичности грунтов и определение их параметров при трехосных испытаниях грунтов Вестник ВолГАСУ. — 2015. № 4 (61). — с. 49–57.
20. Александров, А. С., Долгих Г. В., Калинин А. Л. Модификация критериев прочности сплошной среды для расчета грунтов земляного полотна по сопротивлению сдвигу // В сборнике: Архитектура. Строительство. Транспорт. Технологии. Инновации Материалы Международного конгресса ФГБОУ ВПО «СибАДИ». — Омск: СибАДИ, 2013. — с. 228–235.
21. Сиденко, В. М. Дорожные одежды с парогидроизоляционными слоями / В. М. Сиденко, О. Т. Батраков, Ю. А. Покутнев. — М.: Транспорт, 1984. — 144 с.
22. Александров, А. С. Моделирование деформационных процессов, протекающих в связных грунтах // Наука и техника в дорожной отрасли. — 2002. — № 4. — с. 16–19.
23. Александрова, Н. П., Троценко Н. А. Применение измерителя жесткости грунта GeoGauge для оценки качества уплотнения при операционном контроле // Вестник СибАДИ, 2014, № 3 — с. 40–47.
24. Семенова, Т. В., Долгих Г. В., Полугородник Б. Н. Применение Калифорнийского числа несущей способности и динамического конусного пенетрометра для оценки качества уплотнения грунта // Вестник СибАДИ, 2014, № 1 — с. 59–66.
25. Александрова, Н. П., Семенова Т. В., Стригун К. Ю. Совершенствование методов экспресс оценки качества уплотнения грунтов земляного полотна строительства автомобильных дорог / Н. П. Александрова, // Вестник СибАДИ. — 2015. — № 4. — с. 46–57.

26. Александрова, Н. П., Семенова Т. В., Долгих Г. В. Методы определения максимальной плотности грунтов земляного полотна автомобильных дорог [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие — Электрон. дан. — Омск: СибАДИ, 2015. — Режим доступа: <http://bek.sibadi.org/fulltext/ESD53.pdf>, свободный после авторизации. — Загл. с экрана.
27. Ahlvin, R. G., Ulery H. H. Tabulated Values for Determining the Complete Pattern of Stresses, Strains and Deflections Beneath a Uniform Load on a Homogeneous Half Space, Bull. 342, Highway Research Record, pp. 1–13, 1962.
28. Александров, А. С. Один из путей расчета минимальных главных напряжений в грунтах земляного полотна / А. С. Александров // В сборнике: Архитектура. Строительство. Транспорт. Технологии. Инновации Материалы Международного конгресса ФГБОУ ВПО «СибАДИ». — Омск, СибАДИ, 2013. — с. 217–228.
29. Александрова, Н. П. Модифицированные модели для расчета главных напряжений в грунте земляного полотна // В сборнике: Архитектура. Строительство. Транспорт. Технологии. Инновации Материалы Международного конгресса ФГБОУ ВПО «СибАДИ». Омск, 2013. — с. 236–246.
30. Александров, А. С., Александрова Н. П., Долгих Г. В. Модифицированные модели для расчета главных напряжений в дорожных конструкциях из дискретных материалов // Строительные материалы. — 2012. — № 10. — с. 14–17.

## Зависимость структурного совершенства гетероэпитаксиальных слоев из сложных оксидов от условий осаждения

Таишев Султан Равилевич, магистрант  
Пензенский государственный университет

*Ключевые слова:* сложные оксиды, гетероэпитаксиальные слои, сегнетоэлектрики, тонкие пленки, поляризация, датчики, горячая поляризация, пьезомодуль.

Примерами сложных оксидов являются  $Ba_{1-x}Sr_xTiO_3$ ,  $PbTi_{0,44}Zr_{0,56}O_3$

К основным фундаментальным проблемам в сегнетоэлектрических пленках сложных оксидов относятся: изучение и исследование связей между структурным совершенством и физическими свойствами, изучение механизмов ориентированной кристаллизации [1].

При получении сегнетоэлектрических пленок важно получать пленки с наибольшей степенью структурного совершенства, однородной поверхностью, со стабильными параметрами во времени, хорошей адгезией. Сильное влияние на структурное совершенство оказывают следующие основные факторы: температура подложки, мощность, подводимая к распылительному узлу, скорость осаждения, скорость роста, природа взаимодействия подложка-пленка.

Управление этими факторами с целью контроля роста пленки в настоящее время мало изучено.

Важно рассмотреть влияние толщины пленки в гетероструктуре  $(Ba, Sr)TiO_3 - MgO$  на элементарную ячейку. Известны два фактора определяющие критический размер толщины пленки: энергия экранирования спонтанной поляризации и поверхностная энергия. Если любая из этих энергий тождественная или больше энергии кристаллической решетки, то сегнетоэлектричество пленки будет отсутствовать. Соответственно эти факторы и определяют

размерный эффект, при этом свойства пленки меняются последовательно, а не спонтанно [2].

Различия в свойствах тонких сегнетоэлектрических пленках и объемных сегнетоэлектриках объясняются следующими факторами: размерные эффекты, характер взаимодействия подложки-пленки, то есть иной механизм фазового перехода в сегнетоэлектрических структурах и является объяснением различия между их свойствами (из-за больших механических напряжений между пленкой и подложкой)

Экспериментальные исследования в наноразмерных сегнетоэлектриках в настоящее время является актуальной задачей.

В основном это связано с сильным влиянием механических напряжений в системе пленка — подложка.

Сильное влияние подложка оказывает на рост зародышей и рост пленок на начальной кристаллизационной стадии. Низкие значения перенасыщения  $\Delta\mu$ , когда зародыш уже можно считать образовавшимся, лежат в основе анализа влияния подложек на гетероэпитаксиальные пленки, полученные вакуумными методами [3].

Полную работу зародыша можно выразить через следующую формулу:

$$\delta\Phi = -\frac{L^2 h}{\Omega} \Delta\mu + L^2 \Delta\alpha + 4Lh\alpha_{fe}$$

Формула применяется с учетом того, что форма зародыша являются параллелепипедом ( $L$  и  $h$ ), где  $\Delta\alpha$  — изменение свободной энергии поверхности раздела пленка-подложка,  $\alpha_{se}$  — среда с поверхностной энергией,  $\alpha_{fe}$  и  $\alpha_{sf}$  — поверхностная энергия пленки,  $\Omega$  — удельный

объем фазы из расчета на одну частицу. Исходя из  $\Delta\alpha$  образуются механизмы образования зародышей при процессе эпитаксии.

Для получения пленок используется следующая конструкция распылительного устройства (рисунок 1)

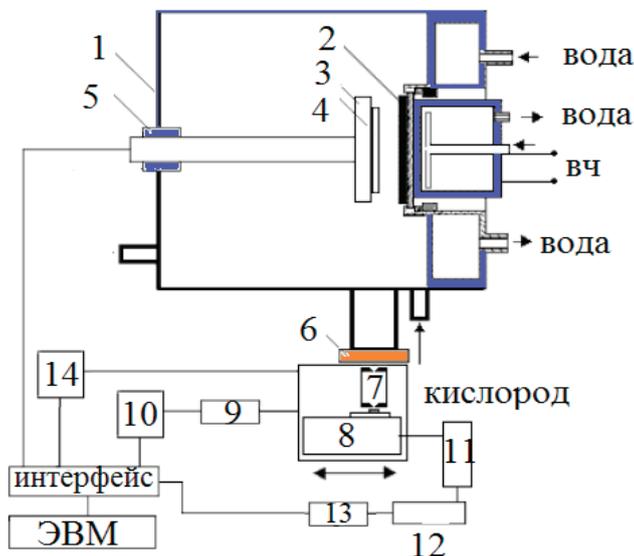


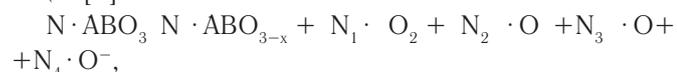
Рис. 1. 1—вакуумная камера, 2—мишень, 3—подложка, 4—керамический нагреватель, 5—вакуумное уплотнение, 6—кварцевое окно, 7—щель, 8—монохроматор, 9—шаговый двигатель, 10—усилитель ЭВМ, 11 — фотоэлектродпреобразователь, 12—малошумящий усилитель, 13—малошумящий усилитель, 14 — датчик перемещения

Распылительный узел располагался как с горизонтальным расположением поверхности мишени и обеспечивал стабильную работу до 2,0 Торр при мощности до 70 Вт/см<sup>2</sup>. Закрепление подложек приходилось на диске из окиси алюминия. Подложки закреплялись на диске из окиси алюминия с диаметром, равным диаметру мишени.

Процессом напыления можно управлять с помощью следующих параметров: ток разряда, температура подложки, напряжение на мишени, давление газа и скорость его подачи. Температура подложки зависит от двух составляющих: ВЧ — мощности и тока нагревателя.

Полученные пленки исследовались на дифрактометре по нескольким параметрам: фазовый состав, структура, параметры элементарной ячейки.

Окислительно-восстановительные процессы, которые связаны с образованием пленки катодными методами в атмосфере кислорода, определяются направлением реакции [4].



где  $N_x = 2 \cdot N_1 + N_2 + N_3 + N_4$ . Газовая фаза в этом случае содержит не только молекулярный, но и атомарный, а также ионизированный кислород. Поэтому следует ожидать, что равновесное давление в системе оксид — плазма будет ниже, чем в системе оксид — газ. Электрически изолированная подложка, помещенная в отрицательное свечение ВЧ-разряда, имеет отрицательный потенциал от-

носительно плазмы разряда. В таких условиях конденсат в процессе роста бомбардируется положительными ионами и электронами пучка, способными преодолеть потенциальный барьер. Такая бомбардировка должна оказывать влияние на процессы синтеза и кристаллизации, поскольку она эквивалентна увеличению поверхностной подвижности атомов, а также на направление окислительно-восстановительной реакции. С другой стороны, кислород поступает на подложку не только в атомном и молекулярном состоянии, но в связанном виде в составе макрочастиц.

Поэтому следует ожидать, что давление кислорода в камере, подводимая мощность и температура подложки, как функционально зависимые параметры, должны существенно влиять на степень окисления сложного оксида.

На рисунке 2 показана зависимость пропускания гетероэпитаксиальной пленки (толщина 2 мкм) от длины волны, интервал длин волн от 300 до 600 нанометров (характеристика спектра). Осаждение пленки происходило при различных давлениях кислорода от 0,25 до 0,75 Торр

При давлении кислорода больше 0,2 Торр происходит стабилизация коэффициента стабилизации на уровне 90%, соответственно при давлении более чем 0,4 Торр окислительный процесс преобладает над восстановительным процессом.

Отсюда можно сделать вывод о том, чтобы окислительный процесс преобладал над восстановительным

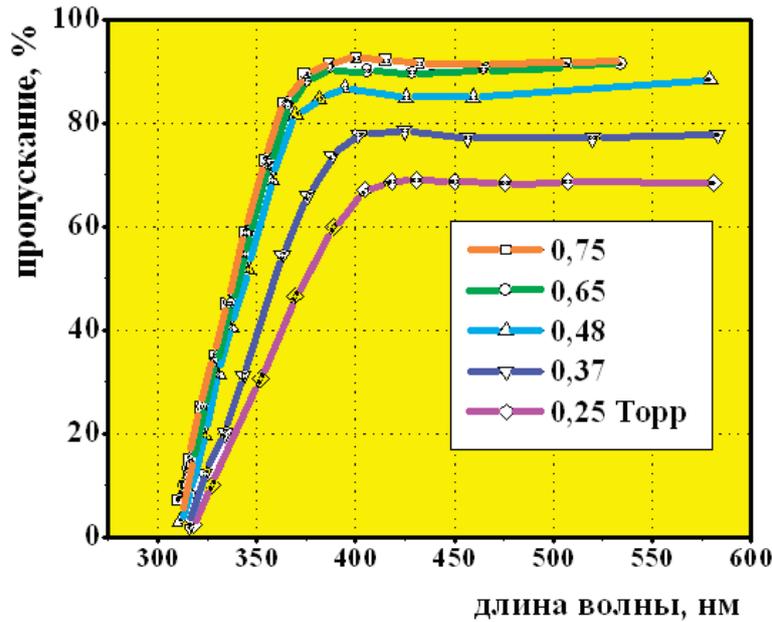


Рис. 2. Пропускательная способность  $Ba_{0,85}Sr_{0,15}TiO_3$

процессом при условии, что синтез и кристаллизация происходят в процессе ионно-плазменно осаждения пленок

нужно повышать в 2–3 раза давление кислорода по сравнению с обычной методологией.

Литература:

1. Мухортов В. М.; Юзюк Ю. И. Гетероструктуры на основе наноразмерных сегнетоэлектрических пленок: получение, свойство и применение. 2008
2. Landau, L; Lifshits, E. On the theory of the dispersion of magnetic permeability in ferromagnetic bodies. Phys. Zeitsch. Der Sow. 1935, 8, 153–169.
3. Перцев, Н.А.; Зембильготов, А.Г. Равновесные фазовые переходы в эпитаксиальные сегнетоэлектрических тонких пленках. Сегнетоэлектрики. 1999, 223, 79–90.
4. Shapere, A.; Wilczek, F. Geometric Phases in Physics; World Scientific: Singapore, 1989, 170–216.

### Признание объекта недвижимым с помощью экспертизы капитальности зданий

Тарбеева Дарья Александровна, магистрант  
Уральский государственный лесотехнический университет

В Гражданском кодексе Российской Федерации есть свод статей регламентирующих определение и понятие недвижимости и недвижимого имущества. В частности — это статьи 130 и 131. Эти статьи четко определяют критерии отнесения имущества к недвижимости. Более того в статье 222 Гражданского Кодекса Российской Федерации даются общие положения о проведении государственной регистрации недвижимого имущества. В этом законе предусмотрен запрет любых сделок с недвижимым имуществом, если оно не имеет соответствующей технической документации.

Из этих статей наиболее важными критериями являются:

- прочная связь с землей;
- невозможность перемещения без несоразмерного ущерба назначению;
- создание объекта на земле специально отведенной для этого, в предусмотренном законом или иными правовыми актами порядке;
- получены все необходимые разрешения на создание объекта без существенных нарушений градостроительных и строительных норм и правил.

А это обозначает, что даже если вы самостоятельно построили дом на своей собственной земле, то для того, чтобы ее продать, вам придется оформить ее соответствующим законодательству образом.

Основной формой строительного надзора и контроля является экспертиза капитальности (не капитальности) здания или сооружения, устанавливающая причинно-следственную связь между: снижением эксплуатационной надежности объекта экспертизы (квартиры, помещения, здания, сооружения, коттеджа, дачного дома, таунхауса) и его некачественным проектированием и возведением; снижением безопасности объекта экспертизы на этапе его эксплуатации и его некачественным техническим обслуживанием.

Среди норм, содержащихся в Градостроительном кодексе РФ, для экспертизы капитальности строения имеет значение только п.10 ст. 1: в данной статье дается определение объекта капитального строительства и что им не является. Так, не являются капитальными временные постройки, киоски, навесы и другие подобные сооружения.

Возможность классифицировать сооружение как капитальное в наибольшей степени зависит от особенностей его конструктивной схемы, конструктивных элементов: фундамента, несущих и ограждающих конструкций, типа имеющихся инженерных коммуникаций, а также ряда других факторов.

Другим важным фактором, отмеченным в Постановлении ФАС УО от 15.01.2008 г., является наличие разрешения на строительство капитального объекта и соблюдение строительных и градостроительных норм и правил. Часты ситуации, когда с технической точки зрения построенный объект обладает всеми признаками недвижимости, однако суд все равно отказывает в регистрации права на такое строение либо аннулирует запись регистрации о праве собственности именно на основании отсутствия разрешения на строительство либо факта предоставления земельного участка для возведения временных сооружений (что обычно бывает при аренде земельных участков). Таким образом, под прочной связью с землей понимается не только физическая связь, но и юридическая. Недвижимым может быть только то сооружение, которое построено как недвижимое, т.е. с наличием всех требуемых Градостроительным кодексом документов, с соблюдением строительных, градостроительных норм, на земельном участке, отведенном для строительства капитальных строений, с приемкой объекта в эксплуатацию.

Необходимость в получении заключения о капитальности здания возникает достаточно часто. Например, эта процедура может потребоваться при проведении государственной регистрации объекта, который для этого нужно признать недвижимостью. В данном случае эксперты проводят процедуру определения капитальности строения, для чего выполняется его обследование и составляется заключение.

**Капитальность здания.** В это понятие входят такие показатели, как долговечность и огнестойкость здания.

Долговечность — срок службы здания, в течение которого оно сохраняет прочность, устойчивость и свои эксплуатационные качества.

В основе этого параметра лежит срок службы основных элементов конструкции — фундаментов, стен, перекрытий, полов, покрытий, который, в свою очередь, зависит от сопротивляемости использованных материалов (морозо- и водостойкости, стойкости против загнивания и коррозии). Влияют на срок службы и качество строительства и соблюдение правил эксплуатации.

По срокам службы строительные конструкции подразделяются на три степени. Первая — не менее 100 лет; вторая — не менее 50 лет и третья — не менее 20 лет.

Огнестойкость зависит от группы возгораемости и предела огнестойкости стройматериалов. По группам материалы делятся на несагораемые, трудносагораемые и сагораемые. Предел огнестойкости определяется длительностью сопротивления материалов и конструкций огню и высоким температурам. Для того чтобы повысить огнестойкость конструкций, их разделяют на части преградами, препятствующими распространению огня (например, глухими кирпичными стенами).

Признаки капитальности строения в нормативно-технической литературе не прописаны. Это накладывает определенные трудности на проводящиеся исследования по выяснению капитальности зданий и сооружений, а также заставляет привлекать для их проведения хорошо подготовленных специалистов. Понятия капитальности строений, которым можно было бы пользоваться без разъяснений профессионалов, не существует. В связи с этим капитальность зданий определяется единственно возможным способом — путем проведения вышеназванной экспертизы.

Изучение технической и справочной литературы позволяет сделать вывод о том, что понятие капитальности жилых зданий и производственных строений связано с их долговечностью, надежностью и неизменностью в своих основных элементах и отдельных конструкциях. При определении группы капитальности здания изучению подвергаются следующие моменты:

- стройматериалы и конструкции;
- конструктивные и технические решения при строительстве;
- конструктивные схемы, обеспечивающие надежность и долговечность строения;
- объемно-планировочные решения на исследуемом объекте;
- размещение объекта и его размеры;
- степень благоустройства;
- уровень предусмотренной системы противопожарной безопасности.

Исходя из вышеуказанного следует, что неразрывную связь зданий с землей определяет тип и конструкция, как фундамента, так и самого здания. Например, при любом фундаменте у зданий контейнерного или сборно-разборного типа неразрывная связь с землей не может быть по определению и по конструктивным особенностям.

Таким образом, экспертиза капитальности здания устанавливает наличие или отсутствие инженерных ком-

муникаций, несущих и ограждающих конструкций, неразрывной связи между зданием и землей, а также возможность перемещения здания без несоразмерного ущерба его назначению. Поэтому, заключение такой экспертизы

является важнейшим аргументом в решении спорных вопросов о признании объекта недвижимым, и значимо влияет на возможность его постановки на Государственный Кадастровый Учёт.

Литература:

1. Маклакова, Т. Г., Насонова С. М., Шарипов В. Г. «Проектирование жилых и общественных зданий». — М.: высшая школа, 1998
2. Захаров, А. В. «Архитектура гражданских и промышленных зданий». — М.: Стройиздат, 1993.
3. Змеул, С. Г., Маханько Б. А. «Архитектурная типология зданий и сооружений»
4. Миловидов, Н. Н., Орловский Б. Я., Белкин А. Н. «Архитектура гражданских и промышленных зданий. Гражданские здания». — М.: Высш. Школа, 1987
5. Градостроительный кодекс Российской Федерации
6. Гражданский кодекс Российской Федерации

## Проектирование цементбетонных дорожных покрытий в условиях сухого и жаркого климата

Товбоев Бахром Хабибуллаевич, ассистент;  
Юзбоев Рустам Алимбекович, ассистент;  
Зафаров Олмос Зафарович, ассистент;  
Косимова Дилрабо Пардаевна, ассистент  
Джизакский политехнический институт (Узбекистан)

Говоря о бетонировании в жаркое время года при низкой относительной влажности воздуха, мы имеем в виду два различных термина: «сухой жаркий климат» и «жаркая и сухая погода». В чем между ними разница? По классификации, приведенной проф. С. А. Мироновым в его «Руководстве по производству бетонных работ в условиях сухого жаркого климата» (М., 1977) [1], это различие таково.

Сухой жаркий климат характеризуется метеорологическими условиями, отличающимися продолжительным знойным летом (более 100 дней в году), высокими температурами воздуха — абсолютной максимальной, равной или превышающей 40°C, и средней максимальной самого жаркого месяца, равной или превышающей 30°C. При этом принимается, что средняя относительная влажность воздуха самого жаркого месяца составляет менее 50–55%. А вот понятие «жаркая и сухая погода» характеризуется температурой воздуха в 13 часов дня выше 25°C и относительной влажностью его менее 50%.

Каковы же там погодные условия? Самые разнообразные. Например, жаркая и сухая погода, жаркая и влажная погода, жаркая безветренная погода, жаркая погода с сильными суховеями, жаркая солнечная погода, жаркая пасмурная погода и, наконец, даже прохладная дождливая погода.

Климатические условия А-380 автомобильные дороги «Гузур-Бухоро-Нукус-Бейнов» относятся к суровым природным условиям. А вот куда следует отнести южные районы страны с сухим жарким климатом? Прак-

тика показала, что их правомерно отнести также к суровым климатическим условиям. Это не исключает того, что при производстве бетонных работ в условиях сухого жаркого климата можно руководствоваться общепринятыми положениями по технологии бетонных работ. Но не только ими. На помощь строителям приходят и нормативно-инструктивные документы, разработанные учеными совместно с инженерами. Они регламентируют правила производства строительных работ в этом климате.

И вот, несмотря на сложные климатические условия, строительство в районах с сухим жарким климатом постоянно возрастает. Чем это объяснить? Прежде всего тем, что уже накоплен опыт, позволивший преодолеть климатические трудности.

Поясним на характерных примерах, как действуют климатические условия на производство строительных работ в районах с сухим жарким климатом или с жаркой и сухой погодой.

Допустим, что мы строим в районе с жаркой и сухой погодой. Чем она характерна? В основном тремя климатическими факторами: высокой температурой, пониженной относительной влажностью и интенсивной солнечной радиацией. Все они вместе влияют на технологию бетона. Причем их воздействие возрастает по мере увеличения скорости ветра.

Наиболее серьезными последствиями негативного влияния жаркой и сухой погоды являются: увеличение водопотребности бетонной смеси (как результат повышения ее температуры); быстрая потеря бетонной смесью под-

вижности в процессе ее транспортирования или в период ее выдерживания до укладки; интенсивное обезвоживание свежееуложенного бетона; значительное растрескивание твердеющего бетона; формирование неравномерного температурного поля в конструкциях под действием солнечных лучей. Это далеко неполный перечень отрицательных последствий погодных условий.

Необычно поведение бетонной смеси в жаркую и сухую погоду. Как известно, она быстро теряет со вре-

менем свою отпускную подвижность. Как это можно объяснить? Результаты исследований показали, что основным фактором, влияющим на быстрое изменение консистенции бетонной смеси, является ее повышенная температура (достигающая при выходе из бетоносмесителя 30°C) и связанное с ней ускорение гидратации и схватывания цемента. Влияет и интенсивное испарение воды затворения, которое в данном случае имеет подчиненное значение.



Рис. 1. А-380 «Фузор-Бухоро-Нукус-Бейнов» автомобильные дороги

Изменение подвижности бетонной смеси приводит к тому, что требуемая при укладке подвижность смеси не обеспечивается. Кроме того, нарушаются принятые условия ее транспортирования и укладки, а также отделки поверхности конструкций. Поэтому по мнению ряда исследователей: С.А. Миронова, Е.Н. Малинского и Н.Р. Раджабова, при подборе состава бетона, приготовляемого в жаркую и сухую погоду, одной из основных особенностей является зависимость между температурой бетонной смеси и ее начальной подвижностью.

Как же получить равноподвижную бетонную смесь, если, например, в летний период года температура окружающего воздуха достигает 35°C, а температура бетонной смеси, как правило, превышает 30°C? С этой целью, в зависимости от требований к составу бетона, необходимо увеличить расход воды в пределах от 5 до 10%. Но увеличение расхода воды без изменения расхода цемента в жаркую погоду приводит к повышению водоцементного отношения (В/Ц) и, следовательно, к понижению прочности бетона. Поэтому для обеспечения в жаркую и сухую погоду отпускной и требуемой при укладке подвижности бетонной смеси, а также для обеспечения заданной марки бетона в этих условиях необходимо увеличение (до 10%) расхода цемента. А можно ли достигнуть требуемой отпускной подвижности бетонной смеси в условиях жаркого климата, не увеличивая расхода цемента? Да, можно. Это достигается путем снижения начальной температуры смеси до 10°C или же применения добавок ПАВ (поверхностно-активных, пластифицирующих, пластифицирующе-воздухововлекающих).

Другим примером влияния жаркой и сухой погоды на бетон является ее отрицательное влияние на физико-ме-

ханические свойства и долговечность затвердевшего бетона.

А теперь перенесемся в район с сухим жарким климатом. Влияют ли суровые климатические условия на технологию бетонных работ? Да, влияют. Но наиболее отрицательно они сказываются на свойствах затвердевшего бетона конструкции. Конкретно это выражается в ряде факторов, главные из них: повышенная последующая влажностная усадка бетона, расшатывание его структуры, частое замораживание до небольших отрицательных температур и оттаивание открытых бетонных конструкций, значительная коррозия арматуры и т.п. Поясним их значимость при формировании свойств затвердевшего бетона, дадим некоторые определения и проанализируем причины их появления.

Итак, последующая влажностная усадка. Как следует из самого термина «последующая», это та усадка, которая следует за «начальной», протекающей от 1–3 суток до 1 месяца. Она характеризует появление и наличие усадочных напряжений в затвердевшем бетоне. Ее начинают определять в возрасте от 1–3 суток.

Расшатывание структуры бетона. Чем оно вызывается? Это очень серьезное последствие высоких температур. Всею виной — сильный циклический нагрев с суточным перепадом температур от –40 до +45°C и более. Все это и вызывает расшатывание структуры бетона. Ну, а коррозия арматуры? Коррозия арматуры происходит вследствие растрескивания бетона, увеличения его водонепроницаемости. Кроме того, в большинстве районов с сухим жарким климатом оказывается большое количество грунтовых вод, которые влияют на арматуру, вы-

зывая ее коррозию. Все перечисленные факторы сильно влияют на свойства затвердевшего бетона конструкции.

И все же главной причиной ухудшения свойств бетона является сильный циклический нагрев со значительным перепадом температур, который характерен для условий районов с сухим жарким климатом. Поэтому долговечность конструкций и сооружений в районах с сухим жарким климатом определяется не только прочностью, но и морозостойкостью бетона. А ведь повышение долговечности железобетонных конструкций является одной из наиболее актуальных проблем! Это она определяет эффективность капиталовложений в строительство.

Исследования показали своевременность и целесообразность введения такого коэффициента, позволяющего учитывать комплексные воздействия климатических условий при оценке стойкости бетона. Знание такого коэффициента позволит значительно повысить качество и долговечность конструкций и сооружений в районах с сухим жарким климатом.

Главные вредители для железобетона — химически агрессивные среды, вызывающие коррозию. В результате их «дружной» работы конструкция разрушается, арматура оголяется, и стальные стержни покрываются ржавчиной. Такая железобетонная конструкция оказывается ослабленной и негодной к эксплуатации.

Чтобы бороться с этими врагами, надо знать эти химические вещества, как они могут попасть в бетон и какие меры защиты существуют.

В условиях сухого и жаркого климата интенсифицируется протекание физико-химических процессов в тверде-

ющем бетоне, особенно в начальный период его структурообразования. В это время происходит формирование основных физико-механических свойств бетона, определяющих качество и долговечность монолитных конструкций.

При производстве бетонных работ при температуре воздуха выше 25°C в 13 часов дня и относительной влажности менее 50% наблюдаются увеличение водопотребности бетонной смеси при повышении ее температуры, быстрая потеря смеси подвижности в процессе ее транспортировки или при выдерживании до укладки, интенсивное обезвоживание уложенного бетона, значительная начальная усадка бетона, формирование неравномерного температурного поля в конструкциях под действием солнечной радиации.

В 28-суточном возрасте прочность на сжатие бетона, твердеющего без ухода, составляет менее 50%, а глубина проникания деструктивных процессов достигает 30 см. Технологическим мероприятием, в значительной степени предотвращающим развитие деструктивных процессов в свежее уложенном бетоне, является уход за ним. Бетоны должны готовиться на быстротвердеющих цементах. Для приготовления бетонной смеси не рекомендуется применять глиноземистые и пуццолановые цементы, шлакопортландцементы марок ниже М400. Для сохранения вязкости бетонной смеси в нее вводят водоудерживающие и пластифицирующие добавки.

Учет вышеприведенных особенностей при производстве дорожных покрытий, позволит значительно повысить их эксплуатационные качества.

#### Литература:

1. С. А. Миронов «Руководство по производству бетонных работ в условиях сухого жаркого климата» М., 1977.
2. 43—2008. Инструкция по строительству цементобетонных покрытий автомобильных дорог.

## Применение макросов при проектировании несущих конструкций в SolidWorks

Тодоров Алексей Николаевич, старший преподаватель;

Дятлов Максим Николаевич, старший преподаватель;

Брагин Дмитрий Юрьевич, магистрант;

Дена Эммануэль Саха, магистрант;

Ислямгалиев Арстан Игоревич, магистрант

Волгоградский государственный технический университет

За последние годы системы автоматизированного проектирования CAD/CAM/CAE технологий прошли путь от сравнительно простых чертежных приложений до интегрированных программных комплексов, обеспечивающих единую поддержку всего жизненного цикла изделия (CALS-технологии), начиная с эскизного проектирования и заканчивая технологической подготовкой производства,

испытаниями и сопровождением. В последнее время появилось несколько трактовок понятия CALS, одной из них, которая в своем определении включает процессы создания, преобразования и передачи больших объемов технической информации это: Continuous Acquisition and Life cycle Support — непрерывная информационная поддержка поставок и жизненного цикла.

К системам проектирования CAD (Computer Aided Design) относят программные комплексы, основное предназначение которых это решение конструкторских задач и оформление конструкторской документации.

Системы CAE (Computer Aided Engineering) представлены классом программных модулей, каждый из которых позволяет решать определенную расчетную задачу.

Для проектирования обработки изделий на станках с числовым программным управлением (ЧПУ) применяются системы CAM (Computer Aided Manufacturing) — системы автоматизированной подготовки производства.

Современные CAD/CAM/CAE системы позволяют значительно сократить срок внедрения новых изделий, оказывают существенное влияние на технологию производства, обеспечивая высокое качество и надежность выпускаемой продукции, а также позволяют уменьшить финансовые расходы на этапе испытаний изделий за счет применения имитационных технологий.

Продолжает возрастать интерес к системе автоматизированного проектирования (САПР) SolidWorks как к базовой платформе для разработки собственных прикладных программных продуктов, автоматизирующих различные этапы проектных и конструкторских работ.

SolidWorks API (Application Programming Interface) — это интерфейс, позволяющий разрабатывать пользовательские приложения для системы SolidWorks. API — интерфейс содержит множество функций, которые можно вызывать из программ Microsoft Visual Basic, Microsoft Visual C++, Microsoft Visual Studio или из файлов-макросов SolidWorks. Эти функции предоставляют программисту прямой доступ к функциональным возможностям SolidWorks. С помощью API — приложений можно решать множество различных задач, например такие как: интеграция SolidWorks с другими программными пакетами, разработка специализированных модулей, добавляющих к базовым возможностям SolidWorks дополнительную функциональность и различные другие задачи. API — приложения позволяют получить множество конфигураций одной детали или сборки, тем самым выиграть огромное количество времени при принятии конструкторских решений [1].

Наиболее распространенными сферами применения интерфейса прикладного программирования SolidWorks являются:

- интеграция SolidWorks с различными CAD/CAM/CAE/PDM/ERP программами и Windows-приложениями (MS Office, Windows API и других), подразумевающая создание интерфейсов передачи данных, вызова сервисных утилит, преобразования данных и тому подобных действий;

- разработка прикладных модулей, добавляющих к базовым возможностям САПР SolidWorks дополнительный функционал в какой-либо специальной предметной области, например решение задач оптики, акустики и других подобных задач [2].

Задача автоматизации проектирования уникальных изделий усложняется значительной долей нестандартных элементов. Поэтому представляется рациональным разбить все элементы на группы, отличающиеся по степени возможной автоматизации.

Возможные группы:

1. Стандартные и типовые изделия, отличающиеся только размерами. Возможно и рационально использование макросов, полностью формирующих элемент.

2. Частично стандартные изделия. Рационально использование макросов и «заготовок», дорабатываемых далее вручную в той или иной системе САПР.

3. Уникальные изделия. Формируются конструктором в ручном режиме в системе САПР на основе своего опыта, а также с привлечением экспертных систем и баз знаний.

Предложенная концепция реализуется при проектировании несущих конструкций специальных машин.

За основу приняты системы SolidWorks и AutoCAD, позволяющие создавать, обрабатывать, анализировать 3D модели. Обе системы имеют развитые языки программирования и написания макросов: SolidWorks и AutoCAD — Visual Basic for Applications а AutoCAD — ещё и AutoLISP. К тому же SolidWorks имеет встроенные средства инженерного анализа (CAE) — SolidWorks Simulation, SolidWorks Motion и другие.

Для стандартных и типовых изделий, отличающихся только размерами, написан макрос на VBA (рис. 1)

Далее показаны этапы построения листового элемента рамы коробчатого сечения с помощью макроса (рис. 2) и (рис. 3).

Автоматизация начальных этапов проектирования носит комплексный характер с сегментацией элементов по группам и использованием соответствующих средств [3–5].

SolidWorks API — это достаточно дешевый и удобный способ гибко настроить информационную систему на решение задач конкретного производства и это одна из самых популярных систем проектирования на отечественных машиностроительных предприятиях, так и на предприятиях всего мира.

Но чтобы достаточно умело пользоваться всем этим многообразием возможностей необходимо обладать базовыми знаниями программирования. Эти знания помогут самостоятельно освоить и использовать API для разработки приложений.

Документация по работе с API включена в дистрибутив SolidWorks, где подробно описываются функциональные возможности с примерами возможных решений задач.

Таким образом, с помощью современных систем проектирования можно создавать многовариантные параметрические и динамические модели, проверять их свойства и поведение на компьютере до запуска в опытную партию и производство, что позволяет существенно сократить количество ошибок проектирования и ускорить реализацию проекта.

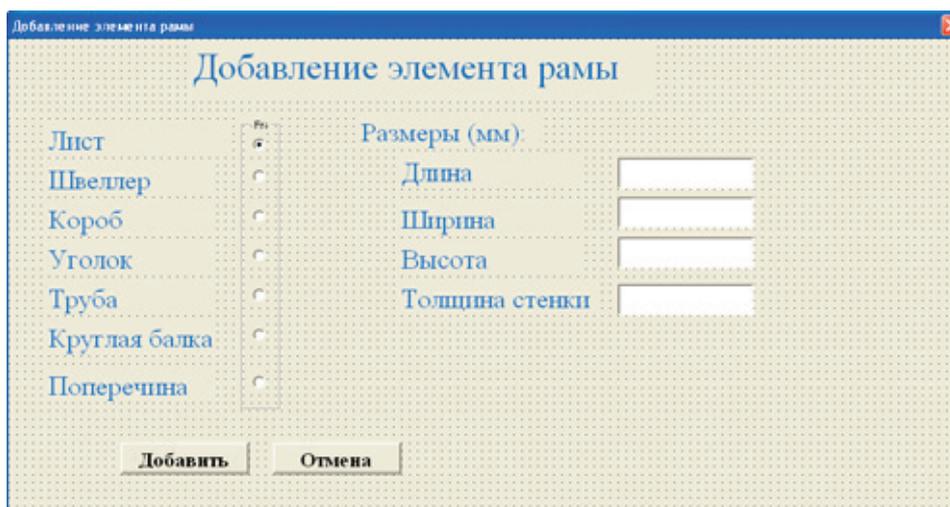


Рис. 1. Экранная форма

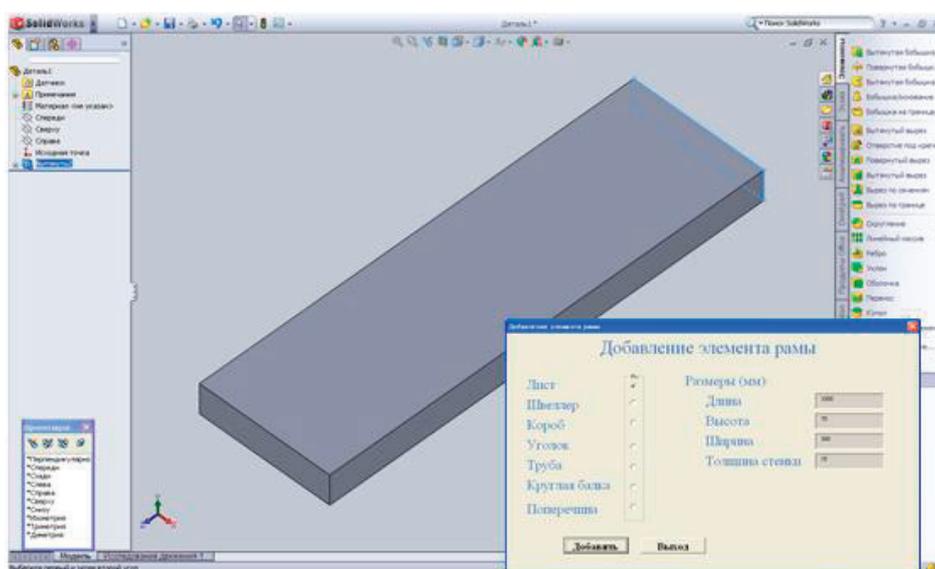


Рис. 2. Добавление листового элемента рамы с помощью макроса

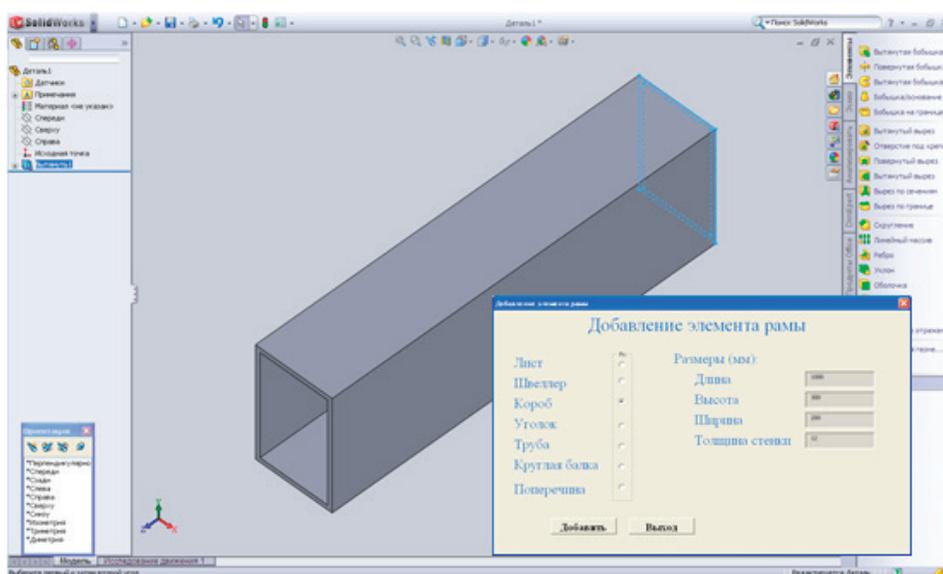


Рис. 3. Добавление элемента рамы коробчатого сечения с помощью макроса

Литература:

1. Разработка API-приложения для программного пакета SolidWorks 2012. Часть 1 [Электронный ресурс] URL: <https://habrahabr.ru/post/201700/> (дата обращения: 01.03.2016).
2. SolidWorks API — универсальная платформа для интеграции инженерных и бизнес-приложений [Электронный ресурс] URL: <http://www.sapr.ru/Article.aspx?id=15929> (дата обращения: 01.03.2016).
3. Проектирование несущих конструкций транспортных средств в SolidWorks с применением макросов / Г. В. Ханов, А. Н. Тодоров, К. О. Долгов, М. Н. Дятлов // Известия ВолгГТУ. Сер. Прогрессивные технологии в машиностроении. — Волгоград, 2015. — № 11 (173). — С. 34–36.
4. Ханов, Г. В. Повышение качества проектирования несущих конструкций за счёт расширения возможностей САПР / Г. В. Ханов, А. Н. Тодоров, М. Н. Дятлов // Главный механик. — 2014. — № 11. — С. 39–42.
5. Ханов, Г. В. Автоматизация проектирования несущих конструкций специальных машин на начальном этапе проектирования / Г. В. Ханов, А. Н. Тодоров, М. Н. Дятлов // Известия ВолгГТУ. Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении». Вып. 10: межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. — Волгоград, 2013. — № 20 (123). — С. 71–73.

## Конструктивный анализ механизма челнока современных швейных машин

Тухтаева Зебо Шарифовна, доцент;  
Абдуллаева Дилнавоз Хусниддиновна, магистр  
Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

*В данной статье приведены материалы определения основных параметров челночного механизма, роль челночного механизма в обеспечении долговечности и качества швейных машин.*

**Ключевые слова:** швейная машина, челночные механизмы, челнок, челночная строчка.

Одной из основных предпосылок роста производительности труда на предприятиях швейной промышленности является оснащение их новой, более совершенной техникой, соответствующей передовым достижениям мировой науки и техники.

Успешное внедрение в производство прогрессивной технологии создало предпосылки для проектирования специальных и специализированных швейных машин, предназначенных для выполнения определенных работ и даже для достаточно четко очерченных операций. Применение различных приспособлений малой механизации позволило увеличить коэффициент использования машин и их скорости. Наметились условия для создания и успешного использования высокопроизводительных машин-полуавтоматов, агрегатов поузловой обработки и автоматических линий для изготовления отдельных узлов и некоторых изделий.

В швейном производстве для изготовления одежды применяется около 300 типоразмеров машин. Машинный парк в связи с проведенной специализацией производственных процессов не только увеличился, но и значительно обновился. С целью повышения качества изделия некоторые машины усовершенствованы или заменены новыми, созданы машины, выполняющие одновременно несколько операций. Проектируются новые машины-автоматы для выполнения отдельных технологических операций (машины поузловой обработки изделий и многооперационные автоматические машины).

На швейных предприятиях широко пользуются технологической классификацией швейных машин. По этой классификации все швейные машины делятся на следующие типы:

1) универсальные, выполняющие большое количество операций (одноигольные стачечные);

2) специализированные, предназначенные для выполнения одной или нескольких операций (двухигольные, машины зигзагообразной строчки, потайной строчки, с регулируемой посадкой, вышивальные машины);

3) машины полуавтоматического действия для пришивания пуговиц, для обметки петель, а также закрепочные полуавтоматы;

4) машины поузловой обработки полуавтоматического действия.

Каждая швейная машина имеет четыре основных рабочих инструмента:

— иглу, челнок или петлитель, нитепритягиватель или нитеподатчик, продвигатель материала; в процессе шитья образуются стежки и строчки;

— скрепление материалов осуществляется в виде швов различного вида.

Все швейные машины можно классифицировать по виду выполняемой строчки и условно разделить их на три группы: машины челночной строчки; однопетельной цепной строчки; многониточной цепной строчки. Машины челночной строчки можно разделить на стачечные ма-

шины; машины потайной строчки; машины специальной строчки; машины-полуавтоматы.

Улучшение динамики, системы смазки, подбора материалов; создание машин с останком главного вала в заданном положении иглы, автоматическим подъемом прижимной лапки, обрезкой нити; установка устройств и приспособлений, облегчающих направление материала относительно иглы, ориентацию обрабатываемых деталей относительно друг друга и рабочих органов машины в процессе шитья, т.е. установка различных линеек, направляющих, рубильников, устройств для собаривания тканей, устройств для автоматической смены шпуль и другие пути развития является характерными для универсальных машин.

Челночные механизмы является одним из основных механизмов швейных машин. Челнок служит для захвата игольной нити и обведения ее вокруг шпули или шпулдержателя с помещенной в нем челночной ниткой. От конструкции челночного устройства и приводного механизма во многом зависит качество строчки, производительность и долговечность машины. Так, размеры челнока оказывают влияние на частоту смены шпуль и потерю прочности игольной нити из-за многократного перетирания ее об ушко иглы. Челночные механизмы часто вызывают повышенный шум, износ основных деталей и разладку машины.

Существует большое разнообразие конструкций и схем челночных устройств и механизмов. Все челноки условно можно классифицировать по их расположению, по виду движения, по форме и конструкции шпульки. По расположению применяются челноки, расположенные в вертикальной плоскости, ось вращения горизонтальна; расположенные в горизонтальной плоскости, ось вращения вертикальна; расположенные под платформой.

А по виду движения применяются поступательно-движущиеся челноки с прямолинейным возвратно-поступательным движением и с криволинейным возвратно-поступательным движением, качающиеся челноки с возвратно-поворотным движением челнока вокруг неподвижной оси, а также вращающиеся челноки (ротационные) с равномерным вращением челнока (с передаточным отношением  $i = 2:1$ ).

По конструкции шпульки челноки бывают центрально-шпульные и нецентрально-шпульные. В центрально-шпульных челноках ось шпульки совпадает с осью челнока. В нецентрально-шпульных челноках ось шпульки смещена относительно оси челнока в сторону его вращения или рабочего хода. Это смещение шпульки уменьшает рабочий угол поворота челнока при обводе вокруг него нитки и увеличивает объем шпульки.

При проектировании челночных устройств необходимо, с одной стороны, стремиться к увеличению емкости шпули для повышения производительности машины, с другой стороны, при увеличении размеров челнока увеличивается периметр петли, обводимой вокруг шпулдержателя, что влияет на износ игольной нити из-за

многократного перетирания ее об ушко иглы. Это ведет к увеличению затрат времени на заправку нити в иглу и в конечном итоге снижает производительность машины.

Как выше упоминалась, увеличение размеров челнока увеличивает периметр петли, обводимой вокруг шпулдержателя, что влияет на износ игольной нити. А увеличение размера челнока по высоте, то есть ширину шпули  $b_{шп}$ , сохраняя диаметра шпули  $D_{шп}$ , по нашему мнению, не влияет на износ игольной нити. Но при этом надо сохранять периметра петли игольной нити, обводимой вокруг шпулдержателя. При увеличении емкости шпули за счет увеличения размера челнока по высоте, сохраняя диаметра шпули  $D_{шп}$ , производительности машины повышается. Однако, увеличение размера челнока по высоте принуждает изменению размеров корпуса челночного устройства.

Установлено, что прочность нити зависит от отношения длины нити  $L_q$ , обводимой вокруг челнока или шпулдержателя, к длине игольной нити  $l_{ст}$ , расходуемой на один стежок, т.е.

$$K_n = L_q / l_{ст} \quad (1)$$

Длина игольной нити в стежке

$$l_{ст} = (s + \Delta) \eta_{ут} \quad (2)$$

где  $s$  — шаг строчки;  $\Delta$  — толщина сшиваемых материалов;  $\eta_{ут}$  — коэффициент утяжки стежка, зависящий от плотности и жесткости сшиваемых материалов ( $\eta_{ут} = 0,70 \div 0,85$ ).

Длину нити  $L_q$  найдем из диаметрального сечения челнока (рис.1)

$$L_q = 2K_0(D_q + b_q + h); \quad (3)$$

$$D_q + b_q = p = \frac{L_q - 2K_0h}{2K_0}$$

где  $K_0$  — коэффициент, учитывающий отклонение действительной формы петли от принятой;  $h$  — расстояние от игольной пластины до траектории носика челнока;  $p$  — полупериметр челнока или шпулдержателя.

Объем шпули определяется по формуле

$$V_{шп} = \frac{\pi}{4}(D_{шп}^2 - d_{шп}^2)b_{шп} \quad (4)$$

где  $D_{шп}$  и  $b_{шп}$  — диаметр и ширина шпули;  $d_{шп}$  — диаметр стержня шпули.

Для упрощения дальнейших расчетов диаметром стержня шпули можно пренебречь ввиду его малости. Тогда  $V_{шп} \approx \frac{\pi}{4}D_{шп}^2b_{шп}$  (5)

Учитывая толщину стенок челнока, запишем:

$$D_q = C_1 D_{шп}; b_q = C_2 b_{шп},$$

где  $C_1$  и  $C_2$  — постоянные коэффициенты, учитывающие толщину стенок челнока.

Рациональный объем шпули можно установить, приравняв нулю производную от производительности машины  $dQ$  по объему шпули:

$$\frac{dQ}{dV_{шп}} = 0$$

Зависимость  $Q = F(V_{шп})$  очень сложна, поэтому в первом приближении определим рациональные размеры челнока, обеспечивающие наибольший объем шпули при некотором постоянном периметре петли, необходимой для переплетения нитей.

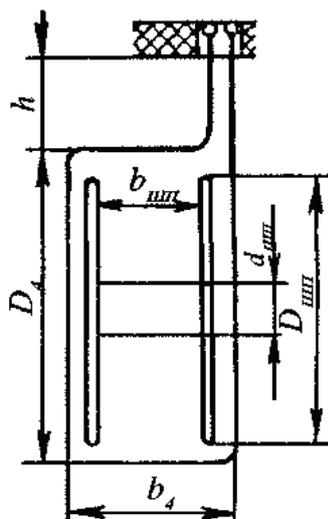


Рис. 1. Диаметральное сечение челнока

В формуле (5) ширину шпули  $b_{шп}$  выразим через диаметр  $D_{шп}$ :

$$V_{шп} = \frac{\pi}{4} D_{шп}^2 \left( \frac{p}{c_2} - \frac{c_1}{c_2} D_{шп} \right) \quad (6)$$

где  $p = const$ .

Исследуем функцию (6) на  $max$  и  $min$ , т. е. приравняем нулю производную  $\frac{dV_{шп}}{dD_{шп}}$ :

$$\frac{dV_{шп}}{dD_{шп}} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{D_{шп}}{c_2} (2p - 3c_1 D_{шп}) = 0$$

После некоторых подстановок находим, что  $2b_ч = D_ч$ . Емкость челноков  $V_ч$  оказывает влияние на длину нити,

охватывающую челноки. Критерием при изменении размеров челнока является отношение

$$K_1 = V_ч / p_ч^3 \quad (7)$$

где  $p_ч = 2K_0(D_ч + b_ч)$  — периметр петли, обводимой вокруг челнока.

С учетом потери прочности игольной нити из-за многократного перетирания ее об ушко иглы рациональные размеры челнока характеризуются коэффициентом

#### Литература:

1. Вальщиков, Н. М. и др. «Расчет и проектирование машин швейного производства». Л., «Машиностроение», 1973 г.
2. Комиссаров, А. И., Сторожев В. В. «Челночные устройства и механизмы швейных машин». М., МТИЛП, 1964. 20 с.

## Стабильность, надёжность и качество электроэнергии в электрических сетях

Файзиев Махманазар Мансурович, кандидат технических наук, доцент;  
 Курбонов Нажмиддин Абдихамидович, соискатель, старший преподаватель;  
 Каримов Илхом Нормаматович, соискатель, ассистент  
 Каршинский инженерно-экономический институт (Узбекистан)

В электрических сетях широко применяются однофазные и трехфазные силовые трансформаторы различных уровней мощности, типов и марок. Основными видами повреждений в силовых трансформаторах и автотрансформаторах являются:

— замыкания между фазами внутри кожуха трансформатора (трехфазного) и наружных выводах обмоток;

— замыкания в обмотках между витками одной фазы (витковые замыкания); замыкания на землю обмоток или их наружных выводов;

— повреждения магнитопровода трансформатора, приводящие к появлению местного нагрева и «пожару стали».

Опыт показывает, что короткие замыкания на выводах и витковые замыкания в обмотках происходят наиболее

часто. Междофазные повреждения внутри трансформаторов возникают значительно реже. В трехфазных трансформаторах они, хотя и не исключены, но маловероятны вследствие большой прочности междофазной изоляции. В трансформаторных группах, составленных из трех однофазных трансформаторов, замыкания между обмотками фаз практически невозможны.

Для ограничения размера разрушения релейная защита от повреждений в трансформаторе должна действовать быстро ( $t=0,05-0,1$ сек). Защита от повреждений. В качестве таких релейных защит применяются токовая отсечка, дифференциальная и газовая защиты.

Основные принципы выполнения РЗ на ЛЭП с ответвлениями, трансформаторы которых подключены к ЛЭП без выключателей. Широкое распространение получили схемы с короткозамыкателями и отделителями. При этом важной частью РЗ трансформаторов является схема действия на короткозамыкатель и отделитель. Действие РЗ на короткозамыкатель и отделитель должно происходить в определенной последовательности, обеспечивающей работу отделителя в бестоковую паузу АПВ ЛЭП, в тот момент, когда по отделителю не проходит ток. Схема управления отделителя выполняется таким образом, чтобы импульс на его отключение подавался после срабатывания короткозамыкателя при условии, что питающая ЛЭП отключилась и ток короткого замыкания прекратился.

Отключение отделителя 110–220 кВ (рис. 1) производится контактами промежуточного реле **KL1** при условии срабатывания следующих реле:

- выходного промежуточного реле РЗ трансформатора **KL3.1**, фиксирующего его повреждение; реле, контролирующего факт отключения ЛЭП с питающих сторон (реле тока трехфазного **KA1** в цепи выводов ВН трансформатора и **KA2** в цепи короткозамыкателя);
- реле напряжения **KV1** и **KV2**, подключенных к трансформатору напряжения ТН и выводов НН трансформатора **TV1**.

Выходное промежуточное реле РЗ трансформатора самоудерживается для обеспечения отключения отделителя после отключения питающей ЛЭП, когда РЗ, действовавшая на отключение трансформатора, может вернуться в исходное положение. Снятие самоудерживания выходных промежуточных реле РЗ трансформатора осуществляется контактом реле положения «включено» **KQC1** отделителя.

Наличие токового реле **KA1** предотвращает возможность неправильного действия схемы (отключения отделителя под током), которое могло бы иметь место при трехфазном КЗ в трансформаторе, сопровождающемся снижением напряжения ниже уставки срабатывания реле **KV1** и **KV2**. Реле **KA1** принято трехфазным, а не однофазным для предотвращения отключения отделителя под током, которое может иметь место при указанном трехфазном КЗ из-за одновременности отключения фаз выключателя на питающем конце ЛЭП или отказе в отклю-

чении одной или двух фаз этого выключателя. Уставка реле **KA1** принимается минимальной. Токовое реле **KA2**, установленное в цепи короткозамыкателя **QK1**, используется при установке на питающей ЛЭП выключателя с пофазным приводом. Наличие этого реле предотвращает отключение отделителя под током при отказе той фазы выключателя, питающей ЛЭП, на которой установлен короткозамыкатель.

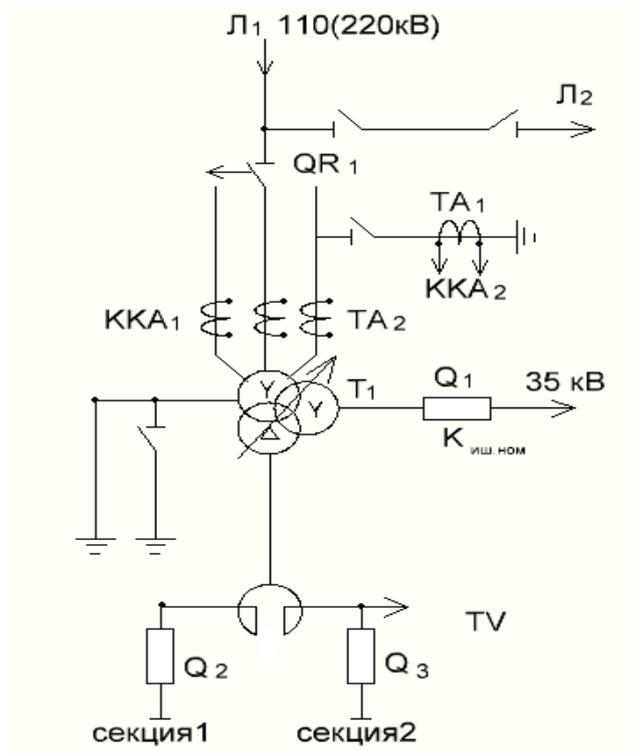
Реле напряжения **KV1** и **KV2**, уставка срабатывания которых принимается минимальной (около 15В), включены на междофазные напряжения и предотвращают отключение отделителя под током до отключения питающей ЛЭП в случае, если повреждение трансформатора сопровождается токами, меньшими уставки срабатывания реле **KA1** (например, при действии газовой защиты) [1].

Реле напряжения типа РН-50 применяется в устройствах релейной защиты и противоаварийной автоматики. Реле напряжения реагирует на повышение напряжения в контролируемой цепи. В реле РН-50 использована одна из разновидностей электромагнитных систем, называемая системой с поперечным якорем (рис. 2). Магнитная система реле состоит из «П»-образного шихтованного магнитопровода 5 и «Г»-образного стального якоря 3, вращающегося на двух осях 6. Якорь реле удерживается в начальном положении с помощью противодействующей спиральной пружины 7, один конец которой связан с якорем, а другой с указателем 8. При повороте указателя уставки изменяется противодействующий момент пружины и соответственно напряжения срабатывания реле. Уставки напряжения срабатывания нанесены на шкале 9. На якоре закреплена пластмассовая колодка 10 с подвижным контактным мостиком 11. В верхней части скобы 2, связанной с якорем, закреплен полый барабанчик 1. Барабанчик 1 имеет внутри радиальные перегородки и заполнен кварцевым песком. При любом ускорении подвижной системы песчинки приходят в движение, часть сообщенной якорю энергии тратится на преодоление трения между песчинками. Это приводит к значительному снижению вибрации подвижной системы от переменной составляющей тяговой силы электромагнита и уменьшает вибрацию контактов при их соударении.

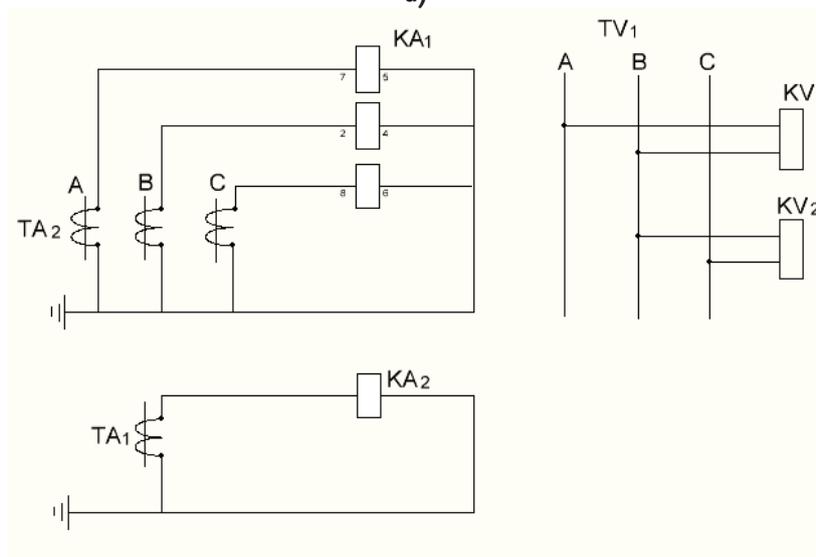
На магнитопроводе расположены катушки 4, концы которых выведены на зажимы цоколя реле. Перестановкой перемычек на этих зажимах можно осуществить параллельное и последовательное соединение катушек и, соответственно, изменить величину уставок срабатывания в два раза.

Цифры, нанесены на шкале, соответствуют последовательному соединению катушек. Все элементы смонтированы на рамке из алюминиевого сплава, укрепленной на пластмассовом цоколе и закрыты прозрачным кожухом.

У реле напряжения отсутствует барабанчик, гасящий вибрацию, так как обмотка реле подключается к контролируемой цепи через выпрямительный мост и добавочные резисторы «R1» и «R2». Тем самым исключается переменная составляющая в потоке. Схема внутренних соеди-



а)



б)

Рис. 1. Принципиальная схема отключения отделителя 110–220 кВ:  
а — поясняющая схема; б — цепи переменного тока и напряжения

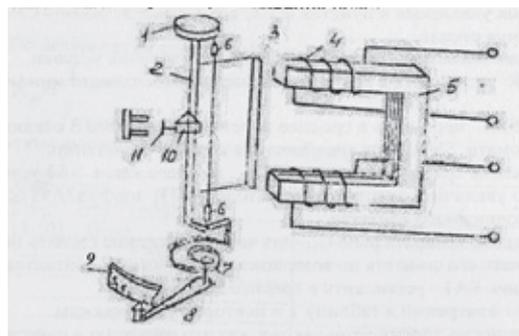


Рис. 2. Электромагнитная система реле напряжения РН-50

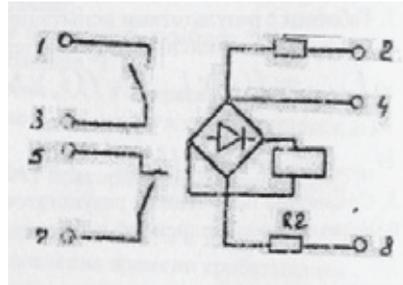


Рис. 3. Схема внутренних соединений реле напряжения

нений реле напряжения приведена на рис.3. Реле имеет два диапазона уставок. В диапазоне меньших уставок обмотка реле подключается к контролируемой цепи через добавочный резистор «R1», а в диапазоне больших уставок через последовательное соединение резисторов «R1» и «R2».

Нами предлагается в цепях релейных защит силового трансформатора более экономичных и энергосберегающих устройств, бесконтактное реле напряжения переменного тока, имеющее надежную и простую схему соединения. Потери электроэнергии при включении и отключении в цепях уменьшаются более чем в 2,5 раза, чем в предыдущих устройствах.

На чертеже (рис.4.) представлена принципиальная электрическая схема бесконтактного реле напряжения переменного тока. Реле содержит диодный мост 1, подключенный к сети последовательно с нагрузкой 3, в диа-

гональ моста включен силовой тиристор 2, к управляющему электроду силового тиристора сигналы управления подаются через резистор 13 и тиристорную часть оптопары 8. Диодная часть оптопары 8 включается через резистор 4 на обкладку конденсатора 5, который подключается к сети через резистор 12 и два последовательно включенных маломощных управляемых тиристора 6,7. Управляющий электрод маломощного тиристора 7 через последовательное соединение резистор 11 и диод 10 подключен к сети, а управляющий электрод маломощного тиристора 6 через резистор 9 подсоединен к первой обкладке конденсатора.

Бесконтактное реле напряжения работает следующим образом. При достижении определенного значения входного напряжения отпирающий сигнал на управляющем электроде будет достаточен для открывания тиристора 7. Рабочий ток тиристора открывает скачком тиристор 6 при

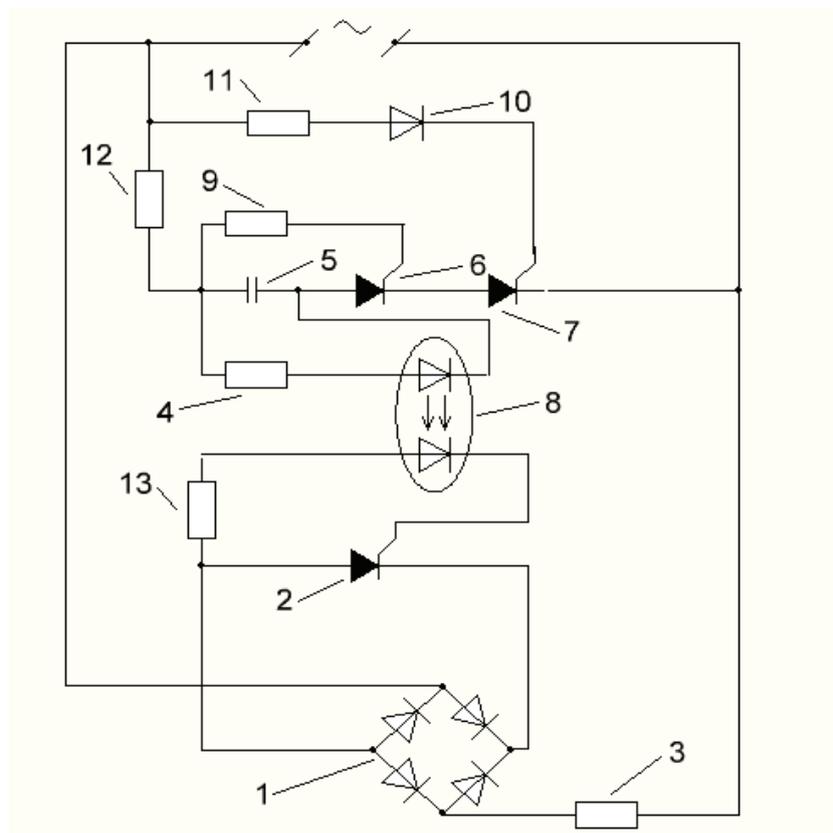


Рис. 4. Принципиальная схема бесконтактное реле напряжения переменного тока

угле  $90^{\circ}$ . После открытия тиристоры 6, 7 конденсатор 5 заряжается. С обкладок конденсатора 5 через резистор 4 подается отпирающий сигнал на диодную цепь оптопары 8, который открывает тиристорную цепь оптопары 8, и подается сигнал на управляющий электрод силового тиристора

2. Так как на управляющий электрод 2 подается сигнал постоянного тока, то он остается постоянно открытым и по нагрузке 3 будет протекать ток синусоидальной формы. Момент срабатывания тиристоры 6, 7 регулируется при помощи подбора параметров резистора 11.

Литература:

1. Н. В. Чернобровов, В. А. Семенов. Релейная защита энергетических систем. М.: Энергоатомиздат. 1998, 798с.
2. А. С. Дорофеюка., А. П. Хечумяна. Справочник по наладке электроустановок. М.: Энергия, 1977.
3. Д. В. Шопен. Бесконтактные электрические аппараты автоматики. М.: Энергоатомиздат, 1986.
4. А.с. UZ IAP 03954 30.06.2009, Бюл., № 6

## Тепловой износ изоляции силового трансформатора

Файзиев Махманазар Мансурович, кандидат технических наук, доцент;  
 Мавланов Бахром Байпулатович, старший преподаватель;  
 Курбонов Нажмиддин Абдухамидович, соискатель, старший преподаватель;  
 Йулдашев Сухраб Рустамович, студент  
 Каршинский инженерно-экономический институт (Узбекистан)  
 Мансуров Максуд Махманазарович, магистрант  
 Ташкентский государственный технический университет (Узбекистан)

Постоянная времени нагрева трансформатора (Т) равна отношению его полной теплоемкости ( $C_{\Sigma}$ ) к полной теплоотдаче ( $Q_{отд}$ ). Отношению суммарных потерь в трансформаторе к установившемуся превышению масла в верхних слоях,

$$T = \frac{C_{\Sigma}}{Q_{отд}} = \frac{\sum_{i=1}^n c_i \cdot G_i}{\frac{P_{x,x} + P_{к,з}}{\theta_{м.уст.ном}}} = \frac{C_{\Sigma} \cdot \theta_{м.уст.ном}}{P_{x,x} + P_{к,з}}, \quad (1)$$

Для трансформаторов с медной обмоткой  
 $C_{Cu} = 132 \cdot G_o + 108 \cdot G_{б.р} + 545 \cdot G_m + 133 \cdot G_{магнт}$  ;

Для трансформаторов с алюминиевой обмоткой  
 $C_{AL} = 288 \cdot G_o + 108 \cdot G_{б.р} + 545 \cdot G_m + 133 \cdot G_{магнт}$  .

где  $G_o$  - масса обмоток, т;  $G_{б.р}$  - масса бака с радиаторами или охладителями, т;  $G_m$  - масса масла;  $G_{магнт}$  - масса магнитопровода, т.

Определения температуры трансформаторного масла позволяет найти начальное превышение температуры масла. **Постоянные времени нагрева  $\theta_o$  и превышение температуры масла  $\theta_x$**  в конце любой ступени  $x$ :

$$\theta_o = \frac{1}{K_n - 1} \sum_{i=1}^n \theta_{iy} (K_i - K_{i-1}); \quad (2)$$

$$\theta_x = \frac{1}{K_x} \left[ \theta_o + \sum_{i=1}^x \theta_{iy} (K_i - K_{i-1}) \right], \quad (3)$$

где  $K_i = e^{\frac{t_i}{T}}$ ;  $t_i$  - интервал времен от начала графика нагрузки до конца  $i$  - й ступени;  $\theta_{iy}$  - установившееся превышение температуры масла в верхних слоях при неизменной нагрузке, равной  $i$  -го интервала;  $n$  - число ступеней графика нагрузки.

Постоянная времени нагрева обмотки значительно меньше постоянной времени нагрева трансформатора и составляет величину порядка нескольких минут. При ступенчатом изменении нагрузки температура обмотки в наиболее нагретой точке в момент изменения нагрузки меняется скачком от одного установившегося значения к другому, а далее изменяется соответственно изменению температуры масла.

Величина  $\theta_{обм.н.н.т}$  определяется по следующему формулой:

$$\theta_{обм.н.н.т} = \theta_m + (g + \varepsilon) \cdot S^2_{(н)} \quad (4)$$

В процессе эксплуатации силовых трансформаторов ввиду происходящих химических реакций механическая прочность изоляции снижается и изоляция изнашивается. Исследователь **Монтзингер** показал, что для изоляции **класса А** в диапазоне изменения температур от 80 до 140°C в следующем соотношении определяется:

$$V = A \cdot e^{-\alpha \vartheta}, \quad (5)$$

где **A** — постоянная;  $\alpha$  - коэффициент;  $\vartheta$  - температура изоляции в наиболее нагретой точке (для трансформаторов численно равна температуре обмотки в наиболее нагретой точке)

Для изоляции **класса А** принимать шесть градусное правило старения изоляции. При этом  $\alpha = 0,115$ . Согласно срок службы изоляции трансформаторов при номинальной температуре в наиболее нагретой точке (+98°C)

$$V_n = A \cdot e^{-\alpha \vartheta_n}, \quad (6)$$

выражением для относительного износа изоляции:

$$L = \frac{1}{V} = \frac{V_n}{V} = e^{\alpha(\vartheta - \vartheta_n)}, \quad (7)$$

Выражение (7) после некоторых математических преобразований получим более удобном для использования виде. Полученное равенство запишем в следующее:

$$e^{\alpha(\vartheta - \vartheta_n)} = 2^{\beta(\vartheta - \vartheta_n)}, \quad (8)$$

Левую и правые части формулы (8) прологарифмировав, найдем в следующее соотношение:

$$\beta = \frac{\alpha}{0,69}. \quad (9)$$

$$L = e^{\alpha(\vartheta - \vartheta_n)} = 2^{\frac{\alpha(\vartheta - \vartheta_n)}{0,69}} = 2^{\frac{\vartheta - \vartheta_n}{6}}, \quad (10)$$

Относительный износ изоляции является нелинейной функцией от температуры изоляции. Износ изоляции **H** за времени **t** оцениваются по числу отжитых часов или суток,

$$H = L \cdot t, \quad (11)$$

Влияние некоторых факторов на изоляцию трансформатора и примесей и воздействие температуры. Наиболее вредными примесями являются:

- 1) избыточная влага, оставшаяся в изоляции при некачественной сушке трансформатора;
- 2) остатки растворителя пропиточного лака, не удаленного при «запекании» пропитанных обмоток или при сушке трансформатора;
- 3) воздушные или газовые включения в изоляции, оставшиеся при заполнении трансформатора маслом;
- 4) загрязнение посторонними механическими примесями твердой и жидкой изоляции.

Существенное значение для качества изоляции обмоток, пропитанных лаками, имеют полное удаление из лака растворителей и хорошая полимеризация. Недостаточное удаление растворителей или неполная полимеризация лака после пропитки повышает диэлектрические потери и снижает электрическую прочность изоляции обмоток, а также вызывает ускоренное окисление и старение изоляционного масла в процессе эксплуатации трансформатора.

В трансформаторном масле содержание влаги также существенно влияет на его электрические характеристики. Присутствие в масле воды в сильно дисперсированном состоянии приводит к резкому снижению пробивного напряжения и повышению диэлектрических потерь в масле. При повышении температуры наступает испарение влаги и отдельных фракций масла, вызывающее снижение пробивного напряжения. При повышении температуры возрастают диэлектрические потери в твердой изоляции и снижается ее электрическая прочность при 50Гц. При этом падает также сопротивление изоляции. Срок службы целлюлозной бумаги значительно сокращается уже при увеличении содержания влаги в сухой изоляции до 0,5% ее сухого веса.

После теоретического анализа по тепловой износа изоляции силового трансформатора, соблюдать качественный нормативный параметры по правилам технической эксплуатации и мы пришли к выводу в следующее:

- очень осторожно работать над изоляцией во время перемотки обмотки;
- очень осторожно работать над сборкой электротехнического листа силового трансформатора;
- поддержания характеристик масла и изоляции в нормированных пределах;
- полученного положительных результатов химико-технического лабораторного анализа трансформаторного масла доливать на баке;
- нормальной транспортировки и складирование силового трансформатора при объектном складе;
- соблюдать нормативный параметры при сборке, установке, наладке и эксплуатации силового трансформатора на объекте;

- при срабатывании газового реле на сигнал должен быть произведен наружный осмотр трансформатора, отобран газ из реле для анализа и проверки на горючесть. В случае, газ горючей или в нем обнаружены продукты разложения изоляции, трансформатор должен быть немедленно отключен;
- не допускать загрязнение посторонними механическими примесями твердой и жидкой изоляции силового трансформатора.

Литература:

1. А. А. Васильев. Электрическая часть станций и подстанций. М.: «Энергия». 1980, 608с.
2. Б. Н. Неклепаев. Электрическая часть электростанции. М.: Энергия. 1976, 551с.
3. Н. В. Чернобровов, В. А. Семенов. Релейная защита энергетических систем. М.: Энергоатомиздат. 1998, 798с.
4. А. С. Дорофеюка., А. П. Хечумяна. Справочник по наладке электроустановок. М.: Энергия, 1977.

## Применение теории накапливания повреждений в условиях пластичности асфальтобетона для расчета дорожных покрытий по сопротивлению сдвигу

Чусов Василий Владимирович, аспирант  
Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия

*В статье выполнен обзор и анализ условий работы асфальтобетонных покрытий при высоких температурах. Установлено, что в таких условиях асфальтобетон испытывают пластические деформации сдвига. Деформации сдвига происходят вследствие потери асфальтобетоном способности работать на изгиб, из-за чего по всей толщине слоя материал испытывает трехосное сжатие. Для расчета покрытия по критерию сопротивления сдвигу предлагается использовать модифицированный критерий Кулона — Мора, включающий в себя три параметра материала и одну из мер теории поврежденности (сплошность или поврежденность). Применением интегральных уравнений наследственных теорий получены математические модели изменения поврежденности при воздействии повторных нагрузок.*

**Ключевые слова:** критерий прочности, условие пластичности, поврежденность Ю. Н. Работнова, сплошность Л. М. Качанова.

### Постановка научной задачи

Результаты диагностики автомобильных дорог показывают, что в процессе эксплуатации на асфальтобетонных покрытиях образуются различные дефекты, являющиеся следствием разрушения (поперечные и продольные трещины, сетки трещин, выбоины и т.п.) и пластического деформирования (колеиность, просадки, сдвиги и т.д.). Такие дефекты негативно влияют на потребительские свойства дороги, например, ухудшение ровности, приводит к снижению средней скорости движения [1–3]. В неровностях скапливается вода от атмосферных осадков, что обуславливает уменьшение коэффициента сцепления шины с покрытием [4], а значит, приводит к ухудшению безопасности движения [5]. Кроме того, при пониженных скоростях движения увеличивается объем вредных веществ, выбрасываемых с выхлопными газами в атмосферу и оседающих в пределах придорожной полосы. В этом случае ухудшается экологическая безопасность [6].

Поэтому работы направленные на прогнозирование накапливания пластических деформаций материалами дорожных конструкций и их последующее применение при разработке методов расчета дорожных конструкций по критериям ровности является актуальной задачей дорожной отрасли. Решение этой задачи и проектирование дорожной одежды по критериям ровности позволит обеспечивать требуемый уровень потребительских свойств на протяжении всего срока службы дорожной конструкции.

Колея, образующаяся на поверхности асфальтобетонных покрытий подразделяется на поверхностную и глубинную. Глубинная колея образуется в результате пластического деформирования оснований дорожной одежды, выполненной из дискретных материалов, и грунтов земляного полотна. При такой колее асфальтобетонное покрытие не имеет выporов по краям колеи, хотя ее глубина может достигать нескольких десятков миллиметров. В этом случае асфальтобетон практически не накапливает повреждений и работает на изгиб, испытывая горизонтальные растягивающие напряжения. Подтверждение этого предположения автор проиллюстрирует опытными данными [7, 8], представленными на рис. 1, полученными при шурфовании дорожных одежд.



**Рис. 1. Иллюстрация пластического деформирования слоев оснований дорожной одежды: а — копирование песчаным слоем пластического смещения поверхности земляного полотна [7]; б — копирование деформации щебеночного основания асфальтобетонным тонкослойным покрытием [8]**

При разработке методов расчета дорожных конструкций по критерию глубинной колейности особое внимание уделяют математическому моделированию пластических деформаций, накапливаемых щебеночными основаниями (см. рис. 1, а) [9–12] и грунтами земляного полотна [1, 13–15]. Такие модели могут быть, как аналитическими [3, 9, 11, 13–15], так и эмпирическими [10, 12]. Кроме того, важным моментом обеспечения отсутствия в дискретных материалах и грунтах деформаций сдвига и обусловленной ими глубокой колейности является расчет грунтов земляного полотна по сопротивлению сдвигу. Такой расчет может выполняться по ограничению величины давлений, передаваемых дорожной одеждой на земляное полотно [16–18], или по критерию возникающих в них касательных напряжений [19–24]. Для расчета касательных напряжений важно правильно выполнить расчет главных напряжений, которые содержатся в любом условии пластичности. Для этого применяют традиционные формулы механики сплошной среды [25, 26] или современные модели, основанные на вводе в известную формулу механики грунтов, применяемую для расчета минимальных функции глубины Александра — Долгих [27, 28] Федоровского — Безволева [29] или. Ввод функции Александра — Долгих [28, 29] позволяет преобразовать коэффициент бокового давления в функцию глубины. При этом коэффициент бокового давления можно определить по К. Терцаги через коэффициент Пуассона или через угол внутреннего трения [30]. Этот способ позволяет модифицировать любое решение, полученное применением методов механики сплошной и зернистой среды, а так же инженерных способов расчета. В настоящее время известно множество таких моделей [31–36].

Таким образом, в области разработки методов расчета глубинной колеи работают целые научные коллективы, добившиеся значительных успехов.

Вместе с тем диаметрально противоположная картина наблюдается в области разработки методов прогнозирования поверхностной колеи, формирующейся за счет возникновения и последующего развития деформаций сдвига в асфальтобетоне. Такая колея сопровождается боковым выпором (рис. 2), наличие которого свидетельствует о недостаточном сопротивлении сдвигу асфальтобетона для данных условий эксплуатации.

Поверхностная колея может сопровождаться более тяжкими дефектами, к которым относят просадки и сетку трещин. Поверхностная колея сопровождаемая такими дефектами проиллюстрирована на рис. 3.

Одной из причин возникновения просадки асфальтобетонного покрытия так же является его недостаточное сопротивление сдвигу. Поэтому при проектировании дорожной одежды необходимо выполнять проверку асфальтобетона по критерию сопротивления сдвигу. Действующие нормативные документы не регламентируют расчета асфальтобетонного покрытия на сопротивление сдвигу. Поэтому работы, выполняемые в этой области, приобретают особую значимость.

Особенность асфальтобетонных покрытий состоит в том то, что в летний период с повышением температуры воздуха асфальтобетон нагревается и приобретает температуру, существенно превышающую температуру воздуха. В результате асфальтобетон испытывает трехосное сжатие по всей глубине покрытия, которое приводит к возникновению деформаций сдвига.

Отсюда следует, что в зависимости от толщины покрытия и температуры асфальтобетона в нем, оно может работать в условиях одного из трех напряженных состояний:

1. Чистый изгиб, при возникновении которого напряженное состояние асфальтобетонной плиты подобно тому, как это имеет место в пластине, которая изгибается без возникновения вертикальных деформаций и напряжений. В этом случае для расчета напряжений в сжатой и растянутой зонах покрытия, расположенных соответственно ниже и выше



Рис. 2. Поверхностная колея на покрытии, сопровождаемая боковым выпором асфальтобетона



Рис. 3. Поверхностная колея на покрытии, сопровождаемая просадкой асфальтобетона и сеткой трещин

нейтральной линии напряжения могут быть вычислены по традиционным формулам М. Б. Корсунского. Однако при таком расчете, регламентируемый нормативными документами критерий прочности, целесообразно заменить на более совершенный, учитывающий возникновение сложного напряженного состояния и учитывающий эффект накопления в структуре материала повреждений. Такие критерии и способы расчета поврежденности асфальтобетона можно принять по работам [37–42].

2. Изгиб толстых плит, отличающийся от изгиба пластины возникновение вертикальных деформаций по всей толщине асфальтобетонного покрытия.

3. Трехосное сжатие, характеризуемое тем, что по всей толщине асфальтобетонного покрытия возникают только сжимающие напряжения, подобно тому, как это происходит в грунтах и дискретных материалах.

На рис. 4 представлен общий вид асфальтобетонного покрытия из траншеи, устроенной в дорожной одежде. Из этого рисунка видно, что в колее толщина асфальтобетона существенно меньше, чем в боковом выпоре. Это подтверждает гипотезу, выдвинутую автором и состоящую в том, что при достаточно высоких температурах и большой толщине покрытия в его материале возникает сдвиг, обусловленный трехосным сжатием.

При разработке метода расчета асфальтобетонного покрытия по критерию сопротивления сдвигу в первую очередь необходимо принять условие пластичности. Учитывая, что в процессе эксплуатации асфальтобетон накапливает повреждение, то такое условие можно получить только модификацией известных критериев или разработкой нового. Поэтому в качестве исходного, то есть принятого для модификации, автор принял трехпараметрический критерий Кулона — Мора [7, 24]. Уравнение предельного состояния по этому критерию записывается в виде



Рис. 4. Измерение глубины поверхностной колеи в верхнем и нижнем слое покрытия, сопровождаемой выпором асфальтобетона [2]

$$\frac{1}{2} \cdot \left( \sigma_1 \cdot \left( \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \right)^d - \left( \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \right)^d \cdot \sigma_3 \right) = c, \tag{1}$$

где  $\varphi$  — угол внутреннего трения, °;  $c$  — сцепление, МПа;  $d$  — параметр материала, зависящий от величины деформации, принимаемой за предельную при выполнении трехосных испытаний.

Особенностью уравнение (1) является его способность принимать вид различных условий пластичности. Эта особенность обусловлена наличием третьего параметра материала  $d$ . В зависимости от величины параметра  $d$  касательные напряжения, определяемые левой частью уравнения (1) принимают различные значения. Например, при  $d=0,5$  условие пластичности (1) превращается в критерий Кулона — Мора, а при  $d=0$  эта зависимость преобразуется в уравнение предельного состояния третьей теории прочности. Для в ввода в уравнении (1) функции поврежденности и модификации этого условия пластичности рассмотрим принцип эквивалентности напряжений в поврежденном и сплошном теле. Согласно этому принципу любая компонента тензора напряжений поврежденного тела  $\sigma_{ij\omega}$  определяется через поврежденность и аналогичную характеристику тензора напряжений неповрежденной среды. Расчет производят по формуле:

$$\sigma_{ij\omega} = \frac{\sigma_{ij}}{1 - \omega} = \frac{\sigma_{ij}}{\psi}, \tag{2}$$

где  $\sigma_{ij}$  компоненты тензора напряжений сплошного тела;  $\omega$  — поврежденность Ю. Н. Работнова,  $\psi$  — сплошность Л. М. Качанова.

В соответствии с зависимостью (2) вычисляется любая компонента тензора напряжений, в том числе главные напряжения в поврежденной среде  $\sigma_{1\omega}$ ,  $\sigma_{2\omega}$  и  $\sigma_{3\omega}$ . Их расчет производится по формуле:

$$\sigma_{1\omega} = \frac{\sigma_1}{1 - \omega} = \frac{\sigma_1}{\psi}; \sigma_{2\omega} = \frac{\sigma_2}{1 - \omega} = \frac{\sigma_2}{\psi}; \sigma_{3\omega} = \frac{\sigma_3}{1 - \omega} = \frac{\sigma_3}{\psi}, \tag{3}$$

где  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  и  $\sigma_3$  — главные напряжения в неповрежденном теле

Подставив зависимости (3) в формулу (1), получим модифицированное условие пластичности, по которому предельное состояние описывается уравнением:

$$\frac{1}{2 \cdot (1 - \omega)} \cdot \left( \sigma_1 \cdot \left( \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \right)^d - \left( \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \right)^d \cdot \sigma_3 \right) = c. \tag{4}$$

Для применения этого уравнения при проектировании асфальтобетонных покрытий необходимо получить зависимость поврежденности от числа повторных нагрузок.

Для этого рассмотрим правила определение поврежденности с позиции принципа эквивалентности деформаций поврежденной и неповрежденной среды. В соответствии с этим принципом деформацию поврежденного тела  $\epsilon_D$  можно вычислить по формулам

$$\epsilon_D = \frac{\sigma}{(1 - \omega)} \cdot \frac{1}{E}; \epsilon_D = \frac{\sigma}{E_D}. \tag{5}$$

где  $E$  и  $E_D$  — модули упругости неповрежденного тела и поврежденной среды, МПа.

Если зависимости (5) приравнять друг к другу и выполнить преобразования, состоящие в решении уравнения относительно модуля упругости поврежденной среды, то получим формулу:

$$E_D = E \cdot (1 - \omega). \quad (6)$$

Решив уравнение (6) относительно поврежденности получим:

$$\omega = 1 - \frac{E_D}{E}. \quad (7)$$

Из анализа зависимости (7) следует, что при воздействии повторных нагрузок, то есть увеличении числа приложения нагрузки, увеличение поврежденности связано с уменьшением модуля упругости поврежденного тела. В условиях воздействия повторной нагрузки этот процесс непрерывен и имеет наследственный характер. Тогда для математического моделирования изменения модуля упругости от числа нагрузок можно воспользоваться принципами наследственных теорий, а именно их интегральные уравнения. Предположим, что подынтегральная функция, связывающая отрицательное приращение модуля упругости с нагрузкой, имеющей порядковый номер  $n$ , описывается степенным уравнением:

$$\Delta E_D = -a \cdot n^b, \quad (8)$$

где  $a$  и  $b$  — параметры материалы, причем  $b \neq 1$ .

В этом случае интегральное уравнение следует дать в виде:

$$E_{DN} = E \cdot \left( 1 - a \cdot \int_1^N n^b dn \right), \quad (9)$$

Уравнение предельного состояния (12) представляет собой окончательную модификацию критерия (1).

В заключение целесообразно дать рекомендации о путях развития дальнейших исследований. По мнению автора, дальнейшие исследования должны заключаться в разработке методики экспериментального определения поврежденности асфальтобетона при трехосном сжатии в условиях воздействия многократно прикладываемых нагрузок.

#### Литература:

1. Александров, А. С. Учет упруговязкопластических свойств связных грунтов при проектировании дорожных одежд: // Автореферат ... канд. техн. Наук — Омск: СибАДИ, 2001, — 24 с.
2. Герцог, В. Н., Долгих Г. В., Кузин В. Н. Расчет дорожных одежд по критериям ровности. Часть 1. Обоснование норм ровности асфальтобетонных покрытий // Инженерно-строительный журнал. — 2015. — № 5 (57) — с. 45–57.
3. Александров, А. С. Применение теории наследственной ползучести к расчету деформаций при воздействии повторных нагрузок: монография. — Омск: СибАДИ, 2014. — 152 с.
4. Александров, А. С., Александрова Н. П., Семенова Т. В. О проектировании шероховатости дорожных покрытий и дождевой канализации по условиям безопасности движения // Автомобильная промышленность. — 2008. — № 8. — с. 36–38. (30%).
5. Александров, А. С. Критерии расчета дорожных конструкций по ровности, допускаемые и предельные неровности // Вестник гражданских инженеров. — 2008. — № 4. — с. 97–104.
6. Васильев, А. П., Коганзон М. С., Яковлев Ю. М. Предложения по учету остаточных деформаций при расчете дорожных одежд нежесткого типа // Наука и техника в дорожной отрасли. — 1997. — № 1. — с. 5–6.
7. Александров, А. С. Совершенствование расчета дорожных конструкций по сопротивлению сдвигу. Ч. 2. Предложения: монография. — Омск: СибАДИ, 2015. — 262 с.
8. Balay, J. M., Kerzreho J. P. Assessment of French design method for flexible pavement by mean of the LCPC.s ALT facility // 3rd International Conference APT'08. — Madrid, Spain, 1–3 Octobre. — 2008.
9. Александров, А. С., Киселева Н. Ю. Пластическое деформирование гнейс- и диабаз материалов при воздействии повторяющихся нагрузок // Известия высших учебных заведений. строительство. — 2012. — № 6. — с. 49–59.
10. Семенова, Т. В., Гордеева С. А., Герцог В. Н. Определение пластических деформаций материалов, используемых в дорожных конструкциях // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. — 2012. — № 4 (37). — с. 247–254.
11. Александров, А. С. Пластическое деформирование гранодиоритового щебня и песчано-гравийной смеси при воздействии трехосной циклической нагрузки // Инженерно-строительный журнал. — 2013. — № 4 (39) — с. 22–34.
12. Семенова, Т. В., Герцог В. Н. Пластическое деформирование материалов с дискретной структурой в условиях трехосного сжатия при воздействии циклических нагрузок // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. — 2013. — № 1 (29). — с. 68–73.

13. Александров, А. С. Моделирование деформационных процессов, протекающих в связных грунтах // Наука и техника в дорожной отрасли. — 2002. — № 4. — с. 16–19.
14. Александров, А. С. Расчет пластических деформаций материалов и грунтов дорожных конструкций при воздействии транспортной нагрузки // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. — 2009. — № 2. — с. 3–11.
15. Александров, А. С. Нелинейное пластическое деформирование материалов при воздействии повторных кратковременных нагрузок // известия высших учебных заведений. Строительство. — 2008. — № 10. — с. 74–84.
16. Калинин, А. Л. Применение модифицированных условий пластичности для расчета безопасных давлений на грунты земляного полотна. // Инженерно-строительный журнал — 2013. № 4 (39). — с. 35–45.
17. Александров, А. С., Долгих Г. В., Калинин А. Л. О допускаемых давлениях на грунты земляного полотна и слои дорожной одежды // Наука и техника в дорожной отрасли. — 2012. № 2. — с. 10–13.
18. Долгих, Г. В. Расчет грунтов земляного полотна по критерию безопасных давлений // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. — 2013. — № 6 (34). — с. 43–49.
19. Александров, А. С. Совершенствование расчета дорожных конструкций по сопротивлению сдвигу. Ч. 1. Состояние вопроса: монография. — Омск: СибАДИ, 2015. — 292 с.
20. Чусов, В. В. Перспективы применения эмпирических условий пластичности грунтов и определение их параметров при трехосных испытаниях грунтов Вестник ВолГАСУ. — 2015. № 4 (61). — с. 49–57.
21. Александров, А. С., Долгих Г. В., Калинин А. Л. Применение критерия Друкера — Прагера для модификации условий пластичности // Наука и техника в дорожной отрасли. — 2013. № 2. — с. 26–29.
22. Александров, А. С., Долгих Г. В. Калинин А. Л. Один из путей совершенствования расчета дорожных одежд по условию сопротивления сдвигу в грунте земляного полотна // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. — Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2013. — с. 9–22.
23. Александров, А. С., Долгих Г. В. Калинин А. Л. Модификация критериев прочности сплошной среды для расчета грунтов земляного полотна по сопротивлению сдвигу // В сборнике: Архитектура. Строительство. Транспорт. Технологии. Инновации Материалы Международного конгресса ФГБОУ ВПО «СибАДИ». — Омск: СибАДИ, 2013. — с. 228–235.
24. Александров, А. С., Калинин А. Л. Совершенствование расчета дорожных конструкций по сопротивлению сдвигу. Часть 1. Учет деформаций в условии пластичности Кулона — Мора // Инженерно-строительный журнал. — 2015. № 7 (59). — с. 4–17.
25. Ahlvin, R. G., Ulery H. H. Tabulated Values for Determining the Complete Pattern of Stresses, Strains and Deflections Beneath a Uniform Load on a Homogeneous Half Space, Bull. 342, Highway Research Record, pp. 1–13, 1962.
26. Foster, C.R., Ahlvin R. G. Stresses and deflections induced by a uniform circular load. // Proc. Highway Research Board. — 1954. — Vol. 33. — P. 236–246.
27. Александров, А. С. Один из путей расчета минимальных главных напряжений в грунтах земляного полотна / А. С. Александров // В сборнике: Архитектура. Строительство. Транспорт. Технологии. Инновации Материалы Международного конгресса ФГБОУ ВПО «СибАДИ». — Омск, СибАДИ, 2013. — с. 217–228.
28. Александров, А. С., Долгих Г. В. Юрьев Д. В. Расчет главных напряжений в слоях дорожной одежды из дискретных материалов // Транспортное строительство. — 2011. — № 7. — с. 17–22.
29. Федоровский, В. Г., Безволев С. Г. Расчет осадок фундаментов мелкого заложения и выбор модели основания для расчета плит // Основания, фундаменты и механика грунтов. — 2000. — № 4. — с. 10–18.
30. Строкова, Л. А. Учет переуплотнения грунтов в расчетах оседания земной поверхности при сооружении туннелей // Известия Томского политехнического университета. — 2010. — Т. 316. — № 1. — с. 147–151.
31. Александрова, Н. П. Модифицированные модели для расчета главных напряжений в грунте земляного полотна // В сборнике: Архитектура. Строительство. Транспорт. Технологии. Инновации Материалы Международного конгресса ФГБОУ ВПО «СибАДИ». Омск, 2013. — с. 236–246.
32. Александров, А. С., Александрова Н. П., Долгих Г. В. Модифицированные модели для расчета главных напряжений в дорожных конструкциях из дискретных материалов // Строительные материалы. — 2012. — № 10. — с. 14–17.
33. Александрова, Н. П. Совершенствование моделей расчета главных напряжений и девиатора в грунте земляного полотна / Н. П. Александрова, Т. В. Семенова, Г. В. Долгих // Вестник СИБАДИ. — 2014. — № 2 (36). — с. 49–54.
34. Александров, А. С. Изменение напряжений вертикального сжатия от транспортной нагрузки по глубине слоев жестких дорожных конструкций // Известия высших учебных заведений. Строительство. — 2009. — № 7. — с. 58–69.

35. Кузин, В. Н., Александров А. С. Об изменении напряжения вертикального сжатия в дорожных конструкциях // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Строительство и транспорт. — 2007. № 4 (16). — с. 221–225.
36. Александров, А. С. Исследование вертикальных напряжений в земляном полотне с учетом распределяющей способности грунтов // Транспортное строительство. — 2010. — № 8. — с. 18–21.
37. Углова, Е. В., Илиополов С. К., Селезнев М. Г. Усталостная долговечность эксплуатируемых асфальтобетонных покрытий — Ростов на Дону: РГСУ, 2009. — 244 с.
38. Александрова, Н. П., Александров А. С., Чусов В. В. Модификация критериев прочности и условий пластичности при расчетах дорожных одежд // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. — 2015. № 1 (41). — с. 47–54.
39. Manson, S. S., Freche J. C., Ensign, C. R. Application of a double linear damage rule to cumulative fatigue // ASTM STP 415. Washington: ASTM, 1967. — Pp. 384–412.
40. Александрова, Н. П., Александров А. С., Чусов В. В. Учет поврежденности структуры асфальтобетона в критериях прочности и условиях пластичности // В сборнике: Политранспортные системы материалы VIII Международной научно-технической конференции в рамках года науки Россия — ЕС. Новосибирск: СГУПС, 2015. — с. 219–225.
41. Richart Jr., F. E. Newmark, N. M. An hypothesis for determination of cumulative damage in fatigue // Proc. ASTM. 48. Washington: ASTM, 1948. — Pp. 767–800.
42. Александрова, Н. П., Александров А. С., Андреева Е. В. Проверка толщины монолитных слоев покрытий по модифицированному критерию Кулона — Мора, учитывающему микроповреждения структуры // Стандарт организации. Расчет дорожных одежд нежесткого типа дорог газовых промыслов Ямало-Ненецкого автономного округа по критериям прочности. — Омск: СибАДИ, 2014. — с. 49–51.

## **Интенсификация процесса сушки сельхозпродуктов комбинированным методом подвода энергии**

Шарипова Матлюба Файзуллаевна, ассистент  
Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

*В статье обсуждается применение акустического воздействия возможности интенсифицировать процесс сушки, возможности сокращения продолжительности процесса, увеличения производительности аппарата и снижения энергетических затрат.*

*In article is discussed using the acoustic influence of the possibility intensity process of the drying, possibility reduction spread of time, device capacity increase and reduction of the energy expenses.*

Известно, что плоды и овощи, а также продукты их переработки, пользуются устойчивым спросом как на внутреннем, так и на внешнем рынках.

Улучшение продовольственного обеспечения населения основывается на производстве качественных консервированных продуктов путём совершенствования переработки сельскохозяйственного сырья, интенсификации производства, разработки и внедрения новых высокоэффективных установок и сбережения энергетических ресурсов.

Одним из основных способов переработки продуктов является сушка, которая относится к энергоёмким процессам. Анализ показывает, что существующие сушильные установки весьма дорогостоящи, энергоёмки и иногда малоэффективны. [1,2,3] Овощи и фрукты, подвергаемые сушке, являются незаменимым источником

важнейших биологически активных веществ — витаминов, углеводов и минералов, необходимых для нормальной жизнедеятельности человека.

Решение же проблемы интенсификации процесса сушки требует разработки и внедрения новых высокоэффективных методов обработки установок и технологий с оптимальным техническим воплощением.

Комбинированный метод сушки плодов и овощей является перспективным методом обезвоживания, включает в себя импульсно-акустическую обработку влажного материала в процессе ИК конвективной сушки.

Повышение эффективности и интенсификация процесса сушки может быть успешно решена путем применения акустического воздействия на продукт, позволяющий создавать рациональные схемы аппаратурного оформления и использования энергии.

Преимуществом комбинированного метода сушки является интенсификация процесса, повышение производительности аппарата за счет сокращения продолжительности процесса.

При сушке продукт подвергается внешней диффузии влаги с поверхности высушиваемого продукта. Чем больше поверхность продукта и скорость горячего воздуха, тем быстрее идет испарение влаги с пограничного слоя продукта. Дальнейший ход сушки зависит от перемещения влаги внутри продукта, то есть влага устремляется во внешние слои продукта. Этим концентрация влаги во внутренних и внешних слоях стремится к выравниванию.

Одновременно с этими процессами происходит и обратное явление — движение влаги или термодиффузия влаги, вызываемая разностью температур периферии

и центра. В процессе сушки большое значение имеет соразмерность процессов внешней и внутренней диффузии влаги. Если внешняя диффузия влаги будет намного опережать внутреннюю диффузию, то поверхность продукта будет пересыхать до образования твердой корочки и трещин.

Когда влажность на поверхности продукта понизится, тогда начнется второй период сушки, происходящий с убывающей ее скоростью. Скорость сушки в этот период будет определяться влажностью поверхности продукта, зависящей от интенсивности внутренней диффузии влаги.

Сушка продукта с акустической обработкой при ИК-конвективном воздействии проведена на лабораторно-экспериментальной сушильной установке, схема которой приведена на рис 1.

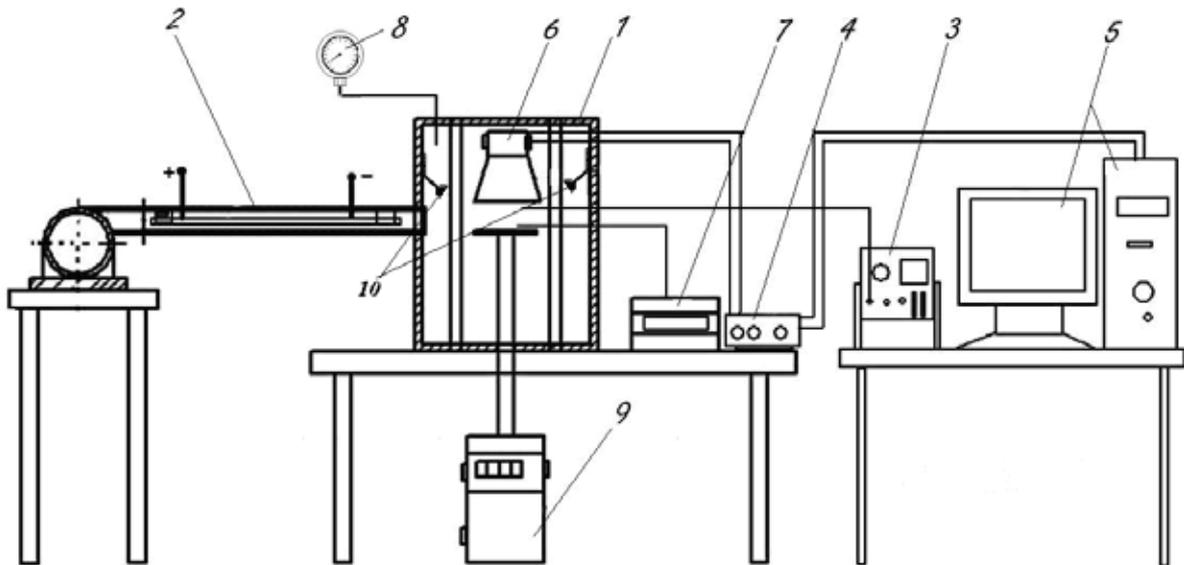


Рис. 1. Схема лабораторно-экспериментальной установки комбинированной сушки: 1—камера; 2—калорифер; 3—измеритель параметра акустического излучения осциллограф; 4—усилитель; 5—компьютер; 6—акустический излучатель; 7—потенциометр КСП для измерения температуры продукта; 8—манометрический термометр; 9—весы ВЛКТ-500; 10—инфракрасные излучатели.

#### Литература:

1. Аминов, А. Ф., Сафаров О. Ф. Процесс сушки плодов и винограда нагретым ионизированным воздухом. // Теоретический журнал. Хранение и переработка сельхозсырья. — Москва. 1999. — № 8. — с. 39–41
2. Искандаров, З. С. Повышение эффективности комбинированных солнечно-топливных сушильных установок для сельскохозяйственных продуктов.: Автопепф. дисс... докт. техн. наук. — Ташкент. 2001. — 32с.
3. Алламбергенов, Б. Выравнивание неравномерности влажности продукта сушки // Эффективное использование энергоресурсов в сельскохозяйственном производстве: Тез. докл. Респ. науч. техн. конф. ТИИИМСХ, — Ташкент, 1993. 68 с.

## Передача тепла через стенки бытовой печи

Шевяков Владимир Викторович, кандидат технических наук (г. Москва)

В статье рассмотрен вопрос нагрева однослойной и двухслойной стенки бытовой печи, которая может быть выполнена из красного керамического и из шамотного кирпичей различной толщины. Расчет температур на кирпичах проведен для установившегося теплового режима. Анализ полученных результатов показал, что изменение температур на поверхностях кирпичей происходит практически по линейному закону с приведенной погрешностью не более 5,0% для однослойной стенки и не более 2,0% для двухслойной стенки. Построены графики и получены математические выражения для расчета температур для различных случаев применения кирпичей. Построен итоговый сравнительный график распределения температур на кирпичах стенки. Даны рекомендации по применению кирпичей в топке печи.

**Ключевые слова:** нагрев кирпичей в бытовой печи, тепловой режим, потери тепла, однослойная и многослойная стенка.

### 1. Постановка задачи

Существует два режима передачи тепла из печи через стенки наружу: установившийся тепловой режим и неустановившийся тепловой режим. Установившийся режим характерен для стационарных промышленных печей и для котельных установок. В бытовых печах, в которых паузы между топками печи обычно составляют 12 часов и более, а сама печь топится примерно 1,0–1,5 часа, режим может быть или чисто неустановившимся для не теплоемких и мало

теплоемких печей или какой-то промежуточный для теплоемких печей. Надо отметить, что банные печи при прогреве парилки топятся 4–6 часов, и там тепловой режим печи приближается к установившемуся. Рассмотрение установившегося теплового режима позволит оценить и сравнить между собой тепловые свойства различных типов кирпичей и определить их возможность применения в печи.

В таблице 1 приведены характеристики различных типов кирпичей, применяемых при строительстве бытовых печей.

Таблица 1. Характеристики кирпичей для бытовой печи

Наименов.	Средняя плотность кг/м <sup>3</sup>	Коэфф. теплопроводн. $\lambda$ ккал/(ч*м*град)	Удельная теплоемкость С ккал/(кг*град)	Допускаемая температура °С	Масса кирпича (кг) (25*12*6,5) (см)
Шамотный кирпич	1,8-1,9	0,72+0,0005t	0,21+0,000055t	1200-1400	3,8
Легкий шамот ШЛ-1,3	1,3	0,49+0,00033t	0,21+0,000055t	1300	2,6
Красный кирпич (керамический полнотельный)	1,6	0,4+0,00044t	0,21+0,000055t	700-750	(25*12*6,5)см 3,2
Кирпич клинкерный	1,9-2,1	1,16	0,21+0,000055t	700-750	4,0

Из таблицы 1 видно, что шамотный кирпич рассчитан на более высокие температуры, чем красный кирпич. При нагреве кирпичей теплопроводность легкого шамота ШЛ-1,3 примерно равна теплопроводности красного кирпича и почти в два раза ниже обычного шамотного кирпича.

Клинкерный кирпич, у которого высокая теплопроводность, не желательно применять для дымовых труб. Т. к. это приводит к увеличению потерь тепла через трубу, что снижает температуру газов на выходе из трубы и может привести к образованию конденсата.

**2. Установившийся режим**

При установившемся режиме количество тепла, передаваемого от внутреннего пространства печи (нагретых продуктов сгорания) через стенку печи к окружающему воздуху и окружающим предметам одно и то же. Для этого случая можно записать:

$$q = \frac{t_{вн} - t_{нар}}{\frac{1}{\alpha_{вн}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{нар}}} \tag{1}$$

где  $q = \frac{Q}{F \cdot Z}$  — плотность теплового потока (количество тепла, протекающего в 1,0 час через 1,0 м<sup>2</sup> стены)

$$\left( \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{час}} \right) \tag{2};$$

$Q$  — передаваемое тепло (ккал);

$F$  — площадь, через которую передается тепло (м<sup>2</sup>);

$Z$  — время, за которое передается тепло (час);

$t_{вн}$  и  $t_{нар}$  — температура продуктов сгорания и наружного воздуха (°C);

$\tau_{вн}$  и  $\tau_{нар}$  — температура внутренней и внешней поверхностей печи (°C);

$\alpha_{вн}$  и  $\alpha_{нар}$  — суммарные коэффициенты теплоотдачи от греющих продуктов сгорания к внутренней стенке печи и от наружной стенки печи к нагреваемой среде  $\left( \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{град}} \right)$ ;

$$\alpha_{вн} = \alpha_{квн} + \alpha_{лвн} \tag{3};$$

$$\alpha_{нар} = \alpha_{квнеш} + \alpha_{лвнеш} \tag{4};$$

где  $\alpha_{квн}$   $\alpha_{лвн}$   $\alpha_{квнеш}$   $\alpha_{лвнеш}$  — коэффициенты теплоотдачи конвекцией и лучеиспусканием;

$\delta$  — толщина стенки печи (м);

$\lambda$  — коэффициент теплопроводности материала стенки  $\left( \frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{час} \cdot \text{град}} \right)$ ;

$$q = k \cdot (t_{вн} - t_{нар}) \tag{5}$$

$$\text{где } k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{вн}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{нар}}} \text{ — коэффициент теплопрохождения } \left( \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{град}} \right) \tag{6}$$

В формуле коэффициента теплопрохождения через стену (6) знаменатель представляет собой сумму коэффициентов сопротивления при прохождении тепла через данную стенку, состоящую из трех величин:

Коэффициент сопротивления при переходе тепла от горячей среды к внутренней поверхности стенки:

$$\frac{1}{\alpha_{вн}} \tag{7}$$

Коэффициент сопротивления при переходе тепла через самую стенку:

$$\frac{\delta}{\lambda} \tag{8}$$

Коэффициент сопротивления при переходе тепла от наружной поверхности стенки к окружающей среде:

$$\frac{1}{\alpha_{нар}} \tag{9}$$

Приведенные выше коэффициенты сопротивления при переходе тепла от одной среды к другой называют также тепловым сопротивлением [2].

Обозначение этих величин, как тепловое сопротивление данных участков, более логично и правильно. Поэтому обозначим как:

$$R_{вн}^t = \frac{1}{\alpha_{вн}} \text{ — } \left( \frac{\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{град}}{\text{ккал}} \right) \text{ внутреннее тепловое сопротивление} \tag{10};$$

$$R_{ст}^t = \frac{\delta}{\lambda} \text{ — } \left( \frac{\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{град}}{\text{ккал}} \right) \text{ — тепловое сопротивление стенки} \tag{11};$$

$$R_{нар}^t = \frac{1}{\alpha_{нар}} \text{ — } \left( \frac{\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{град}}{\text{ккал}} \right) \text{ наружное тепловое сопротивление} \tag{12};$$

Тогда суммарное сопротивление будет равно:

$$R_{\Sigma}^t = R_{вн}^t + R_{ст}^t + R_{нар}^t = \frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_{вн}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{нар}} \tag{13}$$

В случае многослойной стенки тепловое сопротивление  $R_{ст}^t$  будет состоять из нескольких тепловых сопротивлений для каждого слоя:

$$R_{ст}^t = R_{ст1}^t + R_{ст2}^t + R_{ст3}^t \tag{14}$$

Тогда выражение (5) можно записать:

$$q = k \cdot (t_{вн} - t_{нар}) = \frac{(t_{вн} - t_{нар})}{R_{\Sigma}^t} \quad (15)$$

Данное выражение (15) логически соответствует закону Ома для электрических цепей. Где плотность теплового потока  $q$  — эквивалентна электрическому току, а перепад температур  $(t_{вн} - t_{нар})$  — эквивалентен напряжению.

Температуры внутренней поверхности стены печи и наружной можно записать [2]:

$$\tau_{вн} = t_{вн} - q \cdot \frac{1}{\alpha_{вн}} = t_{вн} - q \cdot R_{вн}^t \quad (16);$$

$$\tau_{нар} = t_{нар} + q \cdot \frac{1}{\alpha_{нар}} = t_{нар} + q \cdot R_{нар}^t \quad (17).$$

Перепад температур на каждом тепловом участке можно записать как:

$$\Delta\tau_{вн} = t_{вн} - \tau_{вн} = q \cdot R_{вн}^t = \frac{(t_{вн} - t_{нар}) \cdot R_{вн}^t}{R_{\Sigma}^t} \quad (18)$$

$$\Delta\tau_{ст} = \tau_{вн} - \tau_{нар} = q \cdot R_{ст}^t = \frac{(t_{вн} - t_{нар}) \cdot R_{ст}^t}{R_{\Sigma}^t} \quad (19)$$

$$\Delta\tau_{нар} = \tau_{нар} - t_{нар} = q \cdot R_{нар}^t = \frac{(t_{вн} - t_{нар}) \cdot R_{нар}^t}{R_{\Sigma}^t} \quad (20)$$

Для многослойной стенки:

$$\tau_{вн} - \tau_1 = q \cdot R_{ст1}^t = q \cdot \frac{\delta_1}{\lambda_1} \quad (21)$$

$$\tau_1 = \tau_{вн} - q \cdot \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \tau_{вн} - q \cdot R_{ст1}^t$$

$$\tau_2 = \tau_1 - q \cdot \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \tau_1 - q \cdot R_{ст2}^t \quad (22)$$

$$\tau_{нар} = \tau_2 - q \cdot \frac{\delta_3}{\lambda_3} = \tau_2 - q \cdot R_{ст3}^t \quad (23)$$

На рисунке 1 приведена картина распределения температур для многослойной стенки бытовой печи с воздушной прослойкой между кирпичами.

Для определения температур на поверхностях стенки печи с шамотным и красным кирпичом в установившемся режиме определим значения суммарных внутренних и внешних коэффициентов теплоотдачи.

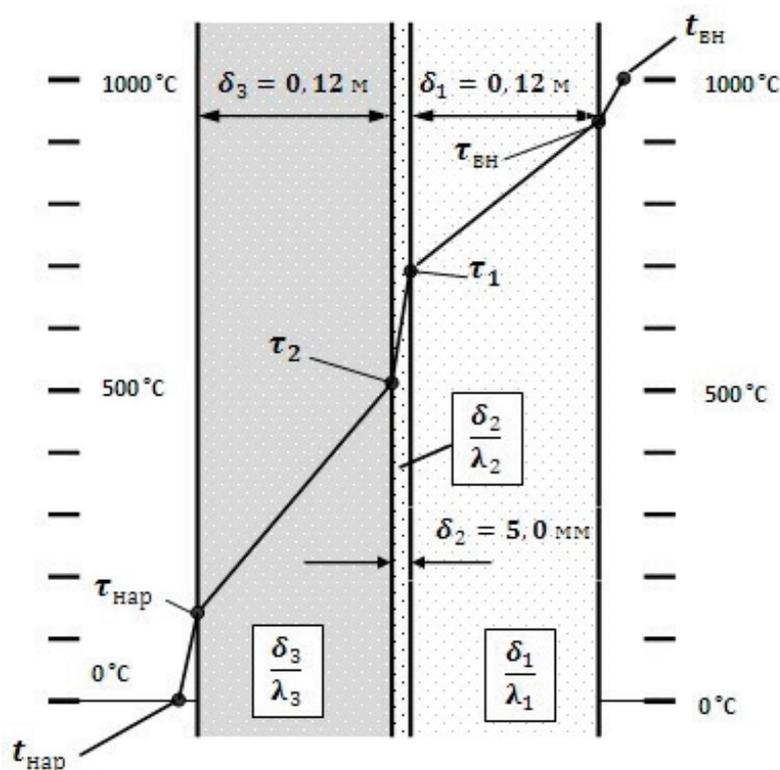


Рис. 1. Многослойная стенка с воздушной прослойкой

### 3. Теплоотдача плоской наружной поверхности

Для данного участка из выражения (17) можно записать:

$$q = \alpha_{нар} * (t_{нар} - t_{нар})$$

При этом:  $\alpha_{нар} = \alpha_{кнар} + \alpha_{лнар}$

#### 3.1. Коэффициент теплоотдачи конвекцией ( $\alpha_{кнар}$ )

Для плоских поверхностей при естественной циркуляции воздуха значения коэффициентов конвекции можно взять из [2 табл.2]. Ниже приведена данная таблица.

Таблица 2. Коэффициенты конвекции для плоских поверхностей при естественной циркуляции воздуха

Температура поверхности °С	Вертикальная поверхность	Горизонтальная поверхность		Температура поверхности °С	Вертикальная поверхность	Горизонтальная поверхность	
		Обращенная вверх	Обращенная вниз			Обращенная вверх	Обращенная вниз
10	3,9	4,3	3,5	250	8,5	9,5	7,6
25	4,7	5,2	4,2	300	9,1	10,0	8,2
50	5,3	5,8	4,8	400	10,1	11,1	9,1
75	5,8	6,4	5,2	500	11,0	12,1	9,9
100	6,3	7,0	5,7	600	11,8	13,0	10,6
150	7,1	7,8	6,4	700	12,6	13,9	11,3
200	7,8	8,6	7,0	800	13,3	14,6	12,0

Из таблицы 2 видно, что для горизонтальной поверхности, обращенной вниз, теплоотдача на 10 % ниже, а для поверхности, обращенной вверх, на 10 % больше, чем для вертикальной поверхности.

#### 3.2. Коэффициент теплоотдачи лучеиспусканием ( $\alpha_{лнар}$ ) (Теплоизлучение поверхностью)

Наружная теплоотдача стенки печи лучеиспусканием осуществляется согласно закону Стефана-Больцмана:

$$Q_{л} = \sigma * F \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \quad (24),$$

где  $Q_{л}$  — количество тепла, излученного или поглощенного телом в 1 час (ккал);

$F$  — поверхность тела ( $m^2$ );

$T_1$  — абсолютная температура поверхности тела ( $^{\circ}K$ );

$T_2$  — абсолютная температура окружающих предметов ( $^{\circ}K$ );

$\sigma$  — константа лучеиспускания.

В [2 табл. 4] приведены значения константы лучеиспускания, применяемых в печных расчетах:

Таблица 3. Константа лучеиспускания

Материал	Характер поверхности	Температура исследования ( $^{\circ}C$ )	$\sigma$
Кирпич красный	Шероховатая	22	4,60
Огнеупорный кирпич	Оплавленная	До 1100	3,5-4,3

Железо	Окисленная гладкая	130	3,80
	Окисленная гладкая	530	4,12
	Ржавая	20	3,40
	Шероховатое литое железо	23-24	3,98-4,06
Чугун	Шероховатая, окисленная	-	4,81

При расчетах теплотерь печами через лучеиспускание можно принять среднюю константу для внешних поверхностей печей  $\sigma = 4,0 - 3,8$  [2].

Из выражения (24) плотность теплового потока при лучеиспускании будет иметь вид:

$$q = \frac{Q_l}{F \cdot \tau} = \sigma \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \tag{25}$$

Тогда из выражения (1) и (25) коэффициент лучеиспускания  $\alpha_{лнар}$  согласно закону Стефана-Больцмана будет иметь вид [2]:

$$\alpha_{лнар} = \frac{\sigma \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right]}{T_1 - T_2} \tag{26}$$

В таблице 4 приведены расчетные коэффициенты лучеиспускания для внешних поверхностей печей с разной температурой при температуре наружных предметов 0 °С и  $\sigma=4,0$  из [2 табл. 5].

Таблица 4. Расчетные коэффициенты лучеиспускания  $\alpha_{лнар}$  свободными поверхностями при  $\sigma = 4,0$

Температура (°С)	$\alpha_l$	Температура (°С)	$\alpha_l$	Температура (°С)	$\alpha_l$
25	3,7	250	11,10	700	50,74
50	4,27	300	13,64	800	66,50
100	5,60	400	19,95	900	84,20
150	7,18	500	28,50	1000	105,20
200	8,92	600	38,22	1200	153,30
				1500	266,00

### 3.3. Суммарный коэффициент теплоотдачи плоской наружной поверхности ( $\alpha_{нар}$ )

На рисунке 2 приведен график изменения коэффициентов конвекции и лучеиспускания для плоской поверхности в зависимости от температуры поверхности, построенные по данным таблицы 2 и 4.

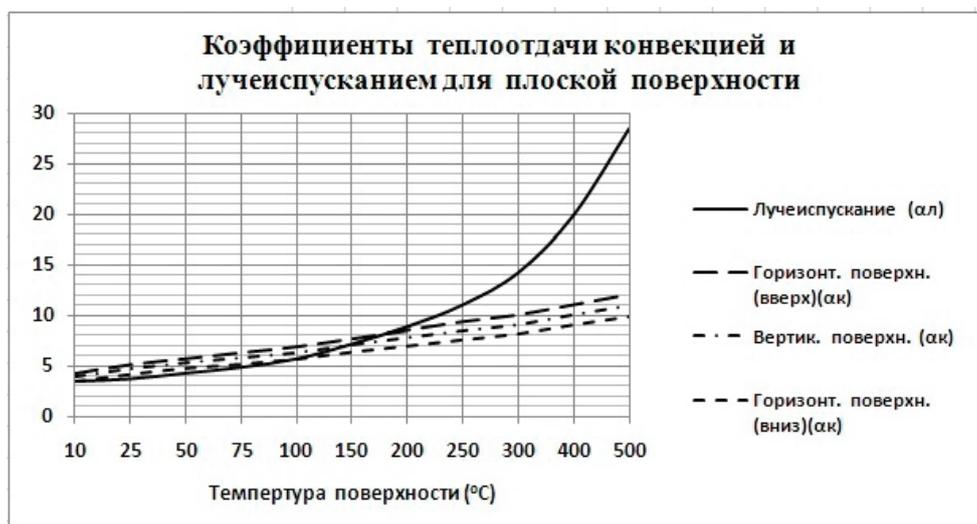


Рис. 2. Изменение коэффициентов конвекции и лучеиспускания для плоской поверхности от температуры

Из рисунка видно, что при температуре поверхности печи больше 150 °С теплоотдача лучеиспусканием начинает превышать теплоотдачу конвекцией.

На рисунке 3 показано изменение суммарного коэффициента теплоотдачи  $\alpha_{нар}$  в зависимости от температуры поверхности.

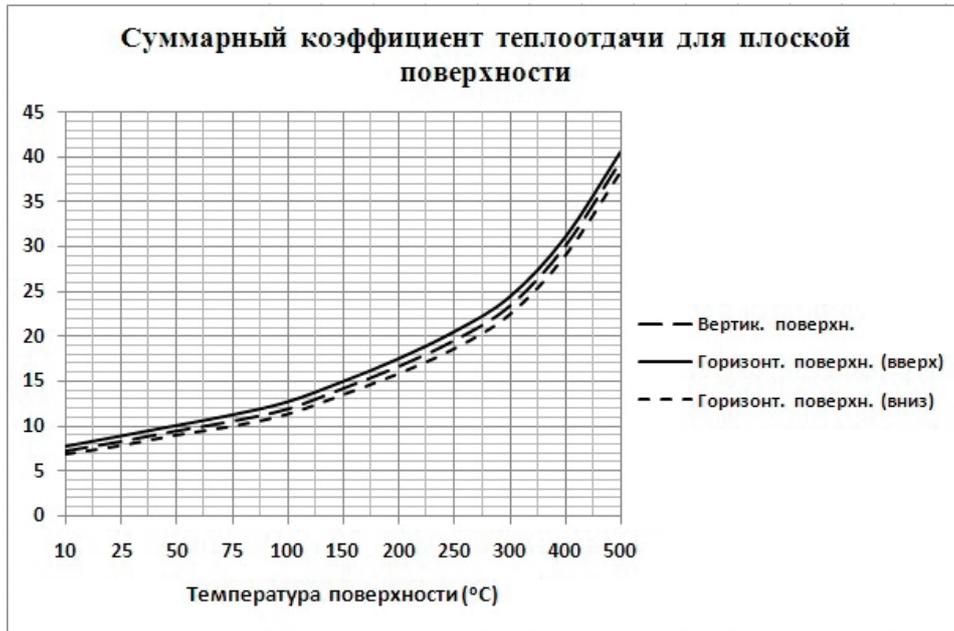


Рис. 3. Изменение суммарного коэффициента теплоотдачи плоской поверхности от температуры поверхности

Из графиков рисунка 3 видно, что с достаточной точностью можно вести расчеты теплоотдачи поверхностей печи, принимая их все как вертикальные.

На рисунке 4 приведены значения теплоотдачи печи для площади поверхности 1 м<sup>2</sup> в течении 1,0 часа, полученные согласно выражения (17).

$$q = \alpha_{нар} (\tau_{нар} - t_{нар}) \left( \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{час}} \right),$$

где  $\tau_{нар}$  — температура наружной стенки печи (°C);

$t_{нар}$  — температура наружного воздуха ( $t_{нар} = 0$  °C);



Рис. 4. Теплоотдача плоской поверхности

#### 4. Теплопередача от продуктов сгорания к внутренней стенке печи

Для данного участка тепло передается согласно выражения (16)

$$q = \alpha_{вн} * (t_{вн} - \tau_{вн})$$

При этом:  $\alpha_{вн} = \alpha_{к_{вн}} + \alpha_{л_{вн}}$

##### 4.1. Коэффициент теплоотдачи конвекцией ( $\alpha_{к_{вн}}$ )

Для случая принудительного движения воздуха или дыма вдоль плоских поверхностей в [2] приведены значения коэффициентов конвекции.

Таблица 5. Коэффициенты конвекции для движения воздуха или дыма при искусственном побуждении вдоль плоских поверхностей.

Скорость, отнесенная к 0 °С $V_0$ (м/с)	$\alpha_k$	Скорость, отнесенная к 0 °С $V_0$ (м/с)	$\alpha_k$	Скорость, отнесенная к 0 °С $V_0$ (м/с)	$\alpha_k$
0,1	5,68	1,0	9,10	4,00	20,50
0,2	6,06	1,25	10,05	4,50	22,80
0,3	6,44	1,50	11,00	5,00	24,30
0,4	6,82	1,75	11,95	6,00	27,40
0,5	7,20	2,00	12,90	7,00	30,90
0,6	7,58	2,25	13,85	8,00	34,40
0,7	7,96	2,50	14,80	9,00	37,80
0,8	8,34	3,00	16,70	10,00	41,20
0,9	8,72	3,50	18,60	11,00	44,60

Из таблицы видно, что коэффициент конвекции значительно возрастает с ростом скорости движения газов. Реальные скорости движения горячих газов в бытовой печи, приведенные к температуре 0 °С, не велики. В топке примерно 0,1 м/с — 0,5 м/с, в каналах 1,0 м/с — 2,0 м/с.

##### 4.2. Коэффициент теплоотдачи лучеиспусканием ( $\alpha_{л_{вн}}$ )

**Теплоизлучение газов.** Разные газы обладают различной интенсивностью лучеиспускания. Воздух и азот практически теплопрозрачны. В печных газах значительной способностью лучеиспускания обладают углекислый газ и пары воды. Аналитические расчеты лучеиспускания газами очень сложны [2]. Но в случае, когда тепло передается через стенку из кирпича, где сопротивление при передаче тепла теплопроводностью  $\frac{\delta}{\lambda}$  в выражении (1) во много раз превосходит сопротивление  $\frac{1}{\alpha_l}$ , то для таких случаев можно воспользоваться значениями средних величин коэффициентов лучеиспускания [2 табл. 16]. Поскольку в данной таблице в [2] толщина слоя продуктов горения дана от 0,1 м до 2,0 м, а в бытовых печах эти значения несколько иные, от 0,06 до 0,5 м, и избыток воздуха чаще всего другой, то на рисунке 5 приведены графики коэффициентов лучеиспускания при горении древесины с влажностью  $W=20\%$  для разных избытков воздуха, построенный по значениям [2 табл. 16].

##### 4.3. Суммарный коэффициент теплоотдачи от продуктов горения к внутренней поверхности ( $\alpha_{вн}$ )

Особенностью бытовой печи является то, что внутренние каналы (газоходы) имеют вполне конкретные размеры, определяемые размерами кирпичей. Топка имеет чаще всего внутреннее сечение 0,25\*0,25, 0,25\*0,375. Реже 0,25\*0,5. Каналы имеют внутренние размеры 0,125\*0,125, 0,125\*0,25, 0,0625\*0,25, 0,0625\*0,375. Все размеры в метрах. Соответственно толщина слоя продуктов горения (горячих газов) будет равна: 0,0625, 0,125, 0,25, 0,375, 0,5 (м). Поэтому на основе графиков рисунок 5 построены графики изменения коэффициентов лучеиспускания для этих сечений

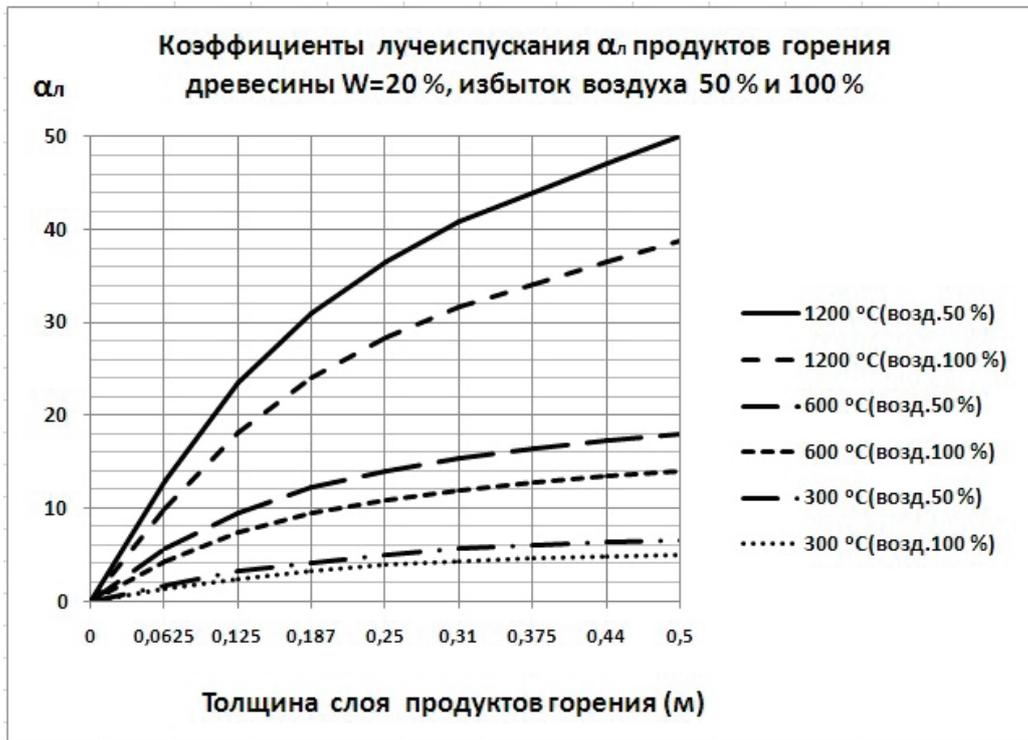


Рис. 5. Коэффициенты лучеиспускания продуктов горения древесины

в зависимости от температуры продуктов горения для избытка воздуха 100% (коэффициент избытка воздуха равен два) и графики коэффициентов конвекции при разных скоростях газов, приведенных к 0 °C.

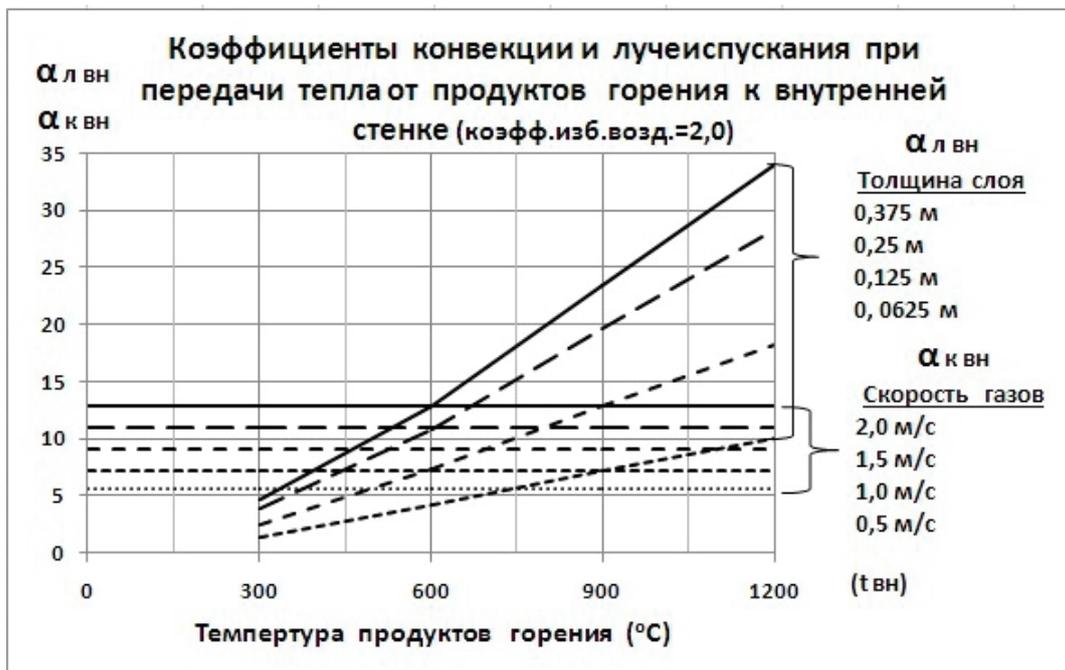


Рис. 6. Коэффициенты лучеиспускания и конвекции при передаче тепла от продуктов горения к внутренним стенкам печи

Из графиков рисунка 6 видно, что в топке печи, где скорости движения газов небольшие (0,1 м/с — 0,5 м/с) а температуры высокие (900 °C — 1200 °C), передача тепла осуществляется преимущественно за счет лучеиспускания газов ( $CO_2$  и  $H_2O$ ) а в каналах, где скорость газов возрастает (1,0 м/с — 2,0 м/с) а температура падает и толщина слоя газа уменьшается, то передача тепла начинает осуществляться преимущественно за счет конвекции.

### 5. Расчет распределения температур на кирпичах топки бытовой печи в установившемся режиме

Наиболее нагреваемым местом в печи является топочное пространство в печи. Поэтому именно для этого случая и будем в первую очередь определять температуры на внутренней и наружной поверхностях стенки печи для различных температур продуктов горения: 1200 °С, 900 °С, 600 °С, 300 °С.

Рассмотрим наиболее часто применяемый размер топки 25 см на 37,5 см. Скорость газов, приведенная к 0 °С, в топке составит 0,1 м/с — 0,5 м/с. Поскольку конструктивно стенки топки могут быть выполнены различным способом и из разного кирпича, то рассмотрим наиболее часто применяемые конструкции: **однослойные** (шамот или красный кирпич толщиной 12 см, шамот или красный кирпич толщиной 6 см) и **двухслойные** (красный кирпич 12 см + шамотный кирпич 12 см, красный кирпич 12 см + шамотный кирпич 6 см, красный кирпич 6 см + шамотный кирпич 6 см, красный кирпич 6 см + шамотный кирпич 12 см), причем, для двухслойной стенки шамотный кирпич находится внутри в зоне с максимальной температурой. При построении топки из двух слоев кирпичей, между кирпичами необходим воздушный зазор 5,0–10,0 мм, для компенсации расширения внутреннего шамотного слоя при его нагреве. Этот воздушный промежуток оказывает весьма заметное влияние на распределение температур на кирпичах. Поэтому этот случай также будет рассмотрен.

Для скорости газов в диапазоне 0,1 м/с — 0,5 м/с коэффициент теплоотдачи конвекцией из таблицы 5 будет иметь значения:

$$\alpha_{квн} = 5,68 - 7,2. \text{ Возьмем среднее значение } \alpha_{квн} = 6,44.$$

Значения коэффициентов лучеиспускания возьмем из графиков рисунок 6 для толщины слоя 0,25 м — 0,375 м.

По полученным значениям составим таблицу 6.

Таблица 6. Коэффициенты конвекции, лучеиспускания и теплопроводности

Температура продуктов горения (°С)	1200	900	600	300
$\alpha_{л_ен}$	28,5-34,0	19,5-23,5	11,0-13,0	4,0-4,7
$\alpha_{л_ен} (ср)$	31,25	21,5	12	4,35
$\alpha_{ен}$	37,7	28	18,44	10,8
$\frac{1}{\alpha_{ен}}$	0,0265	0,0357	0,0542	0,0925
Средняя температура кирпича (°С)	700	525	350	200
$\lambda_{ш}$	1,1	0,98	0,895	0,82
$\lambda_{кр}$	0,7	0,63	0,55	0,49

#### 5.1. Однослойная стенка

##### 5.1.1. Стенка топки из одинарного кирпича 0,12 м

Величина коэффициентов конвекции и лучеиспускания при передаче тепла от печной стены в окружающее пространство зависит от температуры внешней поверхности печи. Поэтому выбор этих коэффициентов изначально берется ориентировочно, а потом уточняется.

а. Для температуры  $t_{вн} = 1200$  °С. Для шамота 0,12 м.

Задаем температуру  $t_{нар} = 300$  °С по графику рис. 3  $\alpha_{нар} = 23$ .

Определяем температуру наружной поверхности стенки:

Из выражения (5):

$$q = k * (t_{вн} - t_{нар}) = 5,59 * (1200 - 0) = 6708 \text{ ккал.}$$

Из выражения (5) при  $t_{нар} = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$  получим:

$$t_{нар} = t_{нар} + q * \frac{1}{\alpha_{нар}} = k * t_{вн} * \frac{1}{\alpha_{нар}};$$

Тогда получаем  $t_{нар} = 292 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

Задаем температуру  $t_{нар} = 296 \text{ } ^\circ\text{C}$  по графику рис. 3  $\alpha_{нар} = 22,5$ .

Получаем:  $t_{нар} = 296,2 \text{ } ^\circ\text{C}$ , что очень точно.

Температуру внутренней поверхности определяем из выражения (16)

$$t_{вн} = (t_{нар} - k * t_{нар} * \frac{1}{\alpha_{нар}});$$

где  $k$  — коэффициент теплопрохождения.

Таким же способом подбираем значения  $\alpha_{нар}$  для других температур и для красного кирпича. Полученные результаты занесены в таблицу 7

Таблица 7. Однослойная стенка 0,12 м

Материал кирпича		Шамотный кирпич (0,12 м)				Красный кирпич (0,12 м) (Шл 1,3)				
Температура продуктов горения ( $^\circ\text{C}$ )		300	600	900	1200	300	600	900	1200	
Тепловое сопротивление	$R_{вн}^t$	$\frac{1}{\alpha_{кск} + \alpha_{лск}}$	0,0925	0,0542	0,0357	0,0265	0,0925	0,0542	0,0357	0,0265
	$R_{ст}^t$	$\frac{\delta}{\lambda}$	0,146	0,134	0,122	0,109	0,245	0,218	0,190	0,171
	$R_{нар}^t$	$\frac{1}{\alpha_{кнар} + \alpha_{лнар}}$	0,091	0,069	0,054	0,044	0,096	0,075	0,061	0,051
$R_{\Sigma}^t$	Общий коэффициент теплового сопротивления		0,33	0,26	0,21	0,18	0,43	0,35	0,29	0,25
Общий коэффициент теплопрохождения $k$		3,02	3,89	4,71	5,55	2,3	2,88	3,49	4,01	
Температура наружной поверхности ( $^\circ\text{C}$ )		82	161	229	296	66	130	192	246	
Температура внутренней поверхности ( $^\circ\text{C}$ )		216	473	748	1023	236	506	788	1072	

5.1.2. Стенка топки из одинарного кирпича 0,06 м

Аналогичным способом рассчитываются температуры для данного случая. Результаты занесены в таблицу 8.

Таблица 8. Однослойная стенка 0,06 м

Материал кирпича		Шамотный кирпич (0,06 м)				Красный кирпич (0,06 м) (Шл 1,3)			
Температура продуктов горения ( $^\circ\text{C}$ )		300	600	900	1200	300	600	900	1200

Тепловое сопротивление	$R_{вн}^t$	$\frac{1}{\alpha_{к_{сн}} + \alpha_{\lambda_{сн}}}$	0,0925	0,0542	0,0357	0,0265	0,0925	0,0542	0,0357	0,0265
	$R_{ст}^t$	$\frac{\delta}{\lambda}$	0,073	0,067	0,061	0,055	0,122	0,109	0,095	0,086
	$R_{нар}^t$	$\frac{1}{\alpha_{к_{нар}} + \alpha_{\lambda_{нар}}}$	0,083	0,061	0,045	0,036	0,088	0,066	0,05	0,04
$R_{\Sigma}^t$	Общий коэффициент теплового сопротивления		0,25	0,18	0,14	0,12	0,3	0,23	0,18	0,15
Общий коэффициент теплопрохождения k			4,0	5,5	7,02	8,56	3,29	4,37	5,53	6,57
Температура наружной поверхности (°C)			100	199	287	368	87	172	249	315
Температура внутренней поверхности (°C)			188	421	674	927	208	458	722	991

Анализ полученных результатов таблицы 7 и 8 показывает, что изменение температур на внутренней и наружной поверхностях кирпичной стенки практически линейно и с приведенной погрешностью не более 5,0 % может быть заменено линейными функциями.

В таблице 9 приведены окончательные результаты.

Таблица 9. Однослойная стенка

Однослойная стенка ( $t_{сн} = 0 \div 1200 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , $t_{нар} = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ )				
Кирпич	Ш – 0,12 м	Кр – 0,12 м	Ш – 0,06 м	Кр – 0,06 м
$\tau_{вн}$	$0,8 * t_{сн}$	$0,855 * t_{сн}$	$0,74 * t_{сн}$	$0,8 * t_{сн}$
$\tau_{нар}$	$0,25 * t_{сн}$	$0,21 * t_{сн}$	$0,31 * t_{сн}$	$0,27 * t_{сн}$

По результатам таблиц построены графики температур для однослойной стенки рисунки 7 и 8.

Из графиков видно, что при довольно значительной разнице в теплопроводности шамотного и красного кирпичей (60 %) разница температур как на внутренней так и на наружной поверхности кирпичной стенки не превышает 20 %.

### 5.2. Двухслойная стенка

При расчете температур для двухслойных стенок воспользуемся данными таблицы 6 и предыдущего раздела.

Для скорости газов в диапазоне 0,1 м/с – 0,5 м/с коэффициент теплоотдачи конвекцией из таблицы 5 будет иметь значения:

$\alpha_{к_{вн}} = 5,68 - 7,2$ . Возьмем среднее значение  $\alpha_{к_{вн}} = 6,44$ .

Значения коэффициентов лучеиспускания возьмем из графиков рисунок 6 для толщины слоя 0,25 м – 0,375 м.

Расчет таблицы 10 проводим по методике, приведенной в предыдущем разделе.

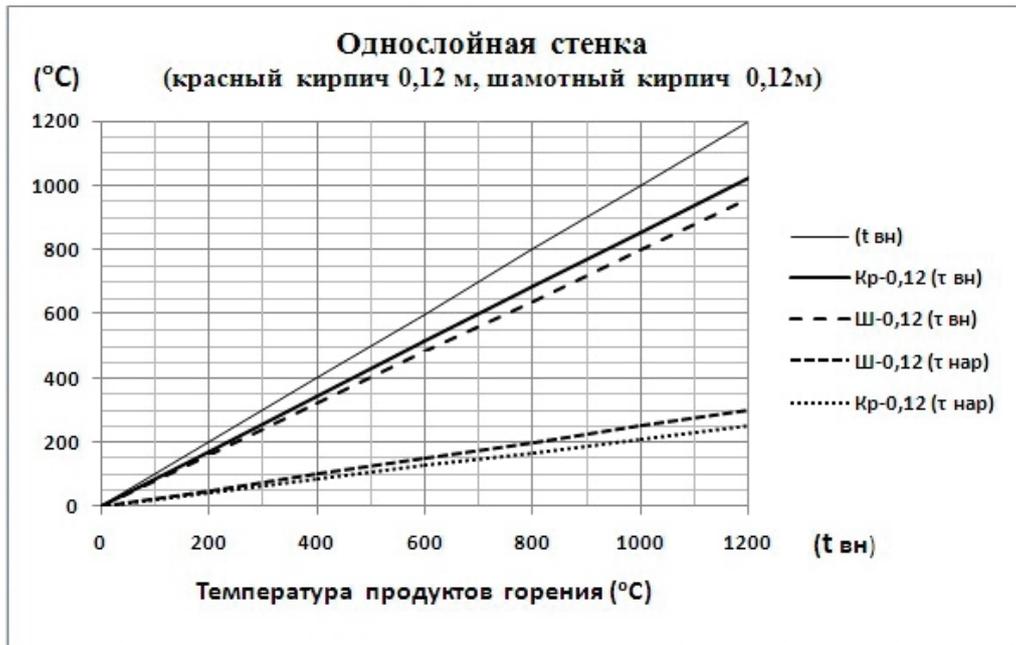


Рис. 7. График температур в топке на однослойной стенке 0,12 м

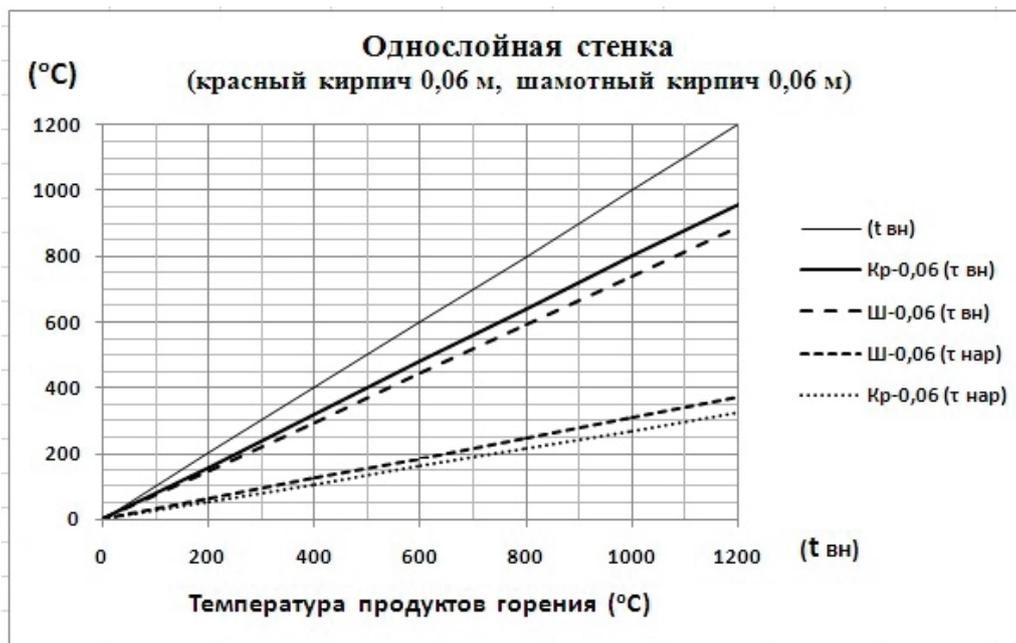


Рис. 8. График температур в топке на однослойной стенке 0,06 м

Таблица 10. Двухслойная стенка

Материал кирпича	Красный кирпич (ШЛ 1,3) (0,12 м) + шамотный кирпич (0,12 м)				Красный кирпич (ШЛ 1,3) (0,12 м) + шамотный кирпич (0,06 м)			
	300	600	900	1200	300	600	900	1200
Температура продуктов горения (°C)	300	600	900	1200	300	600	900	1200

Тепловое сопротивление	$R_{вн}^t$	$\frac{1}{\alpha_{квн} + \alpha_{лвн}}$		0,0935	0,0542	0,0357	0,0265	0,0935	0,0542	0,0357	0,0265
	$R_{ст}^t$	Шам	$\frac{\delta}{\lambda}$	0,146	0,134	0,122	0,109	0,073	0,067	0,061	0,055
	$R_{ст}^t$	Кр	$\frac{\delta}{\lambda}$	0,245	0,218	0,190	0,171	0,245	0,218	0,190	0,171
	$R_{нар}^t$	$\frac{1}{\alpha_{кнар} + \alpha_{лнар}}$		0,1031	0,0826	0,0704	0,061	0,09804	0,0781	0,0667	0,0565
$R_{\Sigma}^t$	Общий коэффициент теплового сопротивления			0,5876	0,4888	0,4181	0,3675	0,5095	0,4173	0,3534	0,309
Общий коэффициент теплопрохождения k				1,7	2,05	2,39	2,72	1,96	2,39	2,83	3,24
Температура наружной поверхности ( $\tau_{нар}$ ) (°C)				53	101	152	199	58	112	170	219
Температура между кирпичами $\tau_1$ (°C)				178	369	561	758	202	426	654	883
Температура внутренней поверхности $\tau_{вн}$ (°C)				252	533	823	1113	245	523	809	1097

Таблица 11. Двухслойная стенка

Материал кирпича		Красный кирпич (Шл 1,3) (0,06 м) + шамотный кирпич (0,06 м)				Красный кирпич (Шл 1,3) (0,06 м)+ шамотный кирпич (0,12 м)					
Температура продуктов горения (°C)		300	600	900	1200	300	600	900	1200		
Тепловое сопротивление	$R_{вн}^t$	$\frac{1}{\alpha_{квн} + \alpha_{лвн}}$		0,0935	0,0542	0,0357	0,0265	0,0935	0,0542	0,0357	0,0265
	$R_{ст}^t$	Шам	$\frac{\delta}{\lambda}$	0,073	0,067	0,061	0,055	0,146	0,134	0,122	0,109
	$R_{ст}^t$	Кр	$\frac{\delta}{\lambda}$	0,122	0,109	0,095	0,086	0,122	0,109	0,095	0,086
	$R_{нар}^t$	$\frac{1}{\alpha_{кнар} + \alpha_{лнар}}$		0,0952	0,0699	0,0585	0,0488	0,0980	0,0781	0,0637	0,0532
$R_{\Sigma}^t$	Общий коэффициент теплового сопротивления			0,3837	0,3001	0,2502	0,2163	0,4595	0,3753	0,3164	0,2747

Общий коэффициент теплопроводности $k$	2,6	3,3	4,0	4,6	2,2	2,7	3,2	3,6
Температура наружной поверхности ( $\tau_{нар}$ ) (°C)	75	140	210	271	64	125	182	233
Температура между кирпичами $\tau_1$ (°C)	169	358	552	748	144	299	451	608
Температура внутренней поверхности $\tau_{вн}$ (°C)	227	492	772	1053	239	514	798	1084

Анализ полученных результатов таблицы 10 и 11 показывает, что изменение температур на внутренней и наружной поверхностях кирпичной стенки практически линейно и с приведенной погрешностью не более 2,0 % может быть заменено линейными функциями.

В таблице 12 приведены окончательные результаты.

Таблица 12. Двухслойная стенка

Двухслойная стенка ( $t_{сн} = 0 \div 1200 \text{ } ^\circ\text{C}$ , $t_{нар} = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$ )				
Кирпич	Ш – 0,12 м + Кр – 0,12 м	Ш – 0,06 м + Кр – 0,12 м	Ш – 0,06 м + Кр – 0,06 м	Ш – 0,12 м + Кр – 0,06 м
$\tau_{вн}$	0,914 $t_{вн}$	0,92 $t_{вн}$	0,858 $t_{вн}$	0,887 $t_{вн}$
$\tau_1$	0,623 $t_{вн}$	0,727 $t_{вн}$	0,613 $t_{вн}$	0,501 $t_{вн}$
$\tau_{нар}$	0,168 $t_{вн}$	0,185 $t_{вн}$	0,233 $t_{вн}$	0,201 $t_{вн}$

По результатам таблиц построены графики температур для различных двухслойных стенок бытовой печи рисунки 9,10,11 и 12.

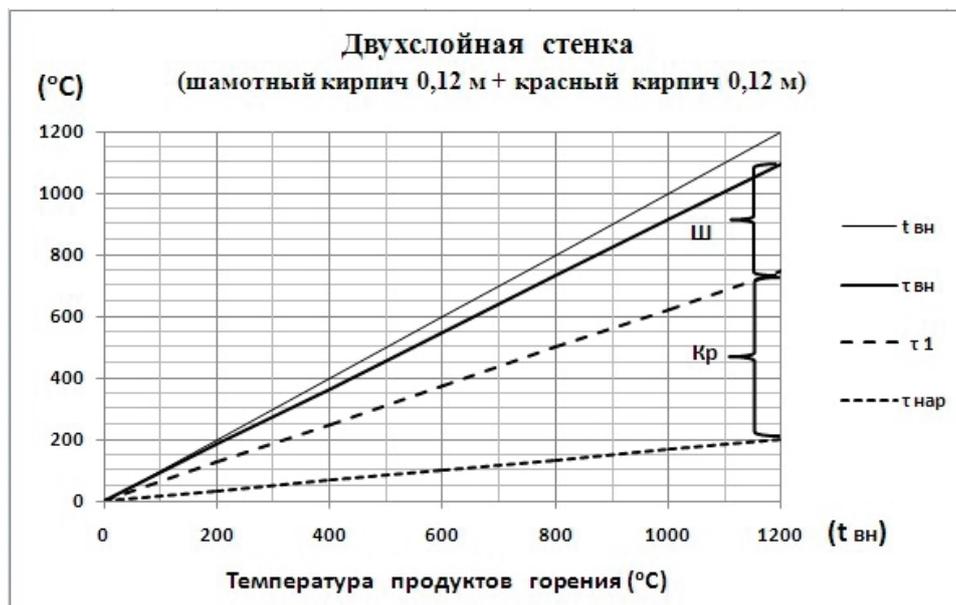


Рис. 9. График температур двухслойной стенки

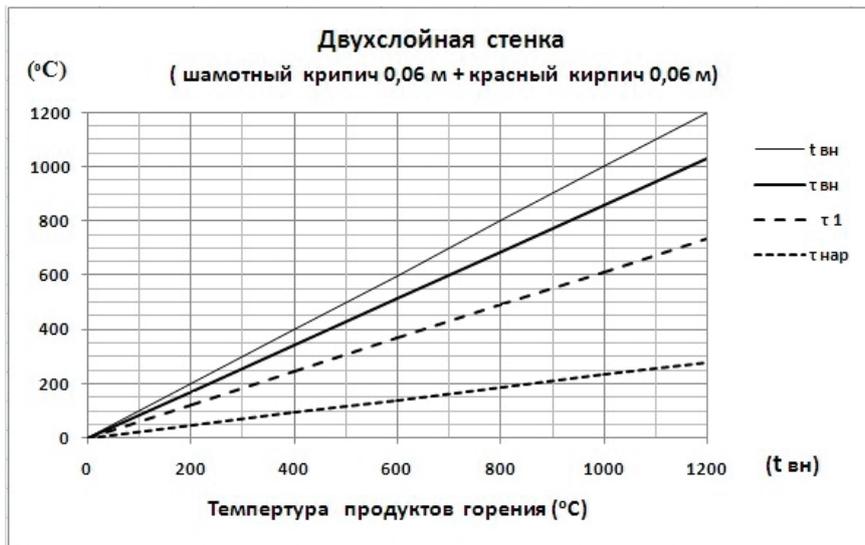


Рис. 10. График температур двухслойной стенки

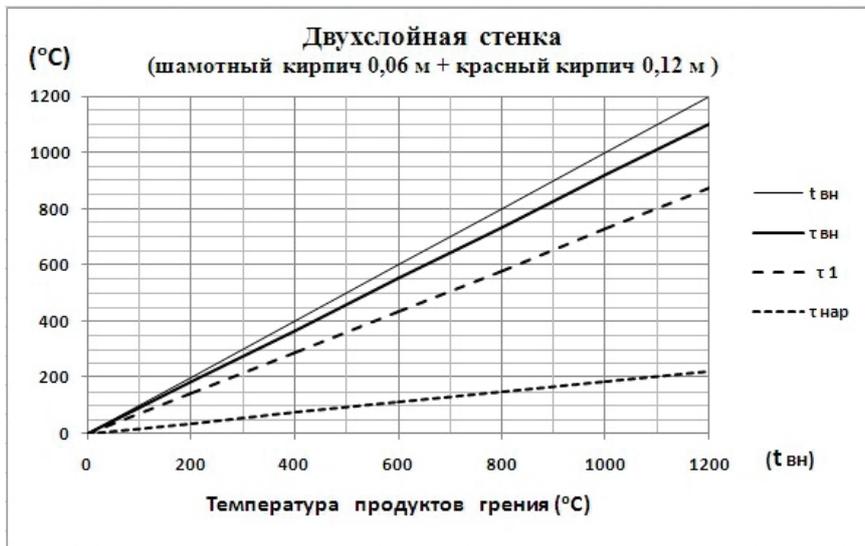


Рис. 11. График температур двухслойной стенки

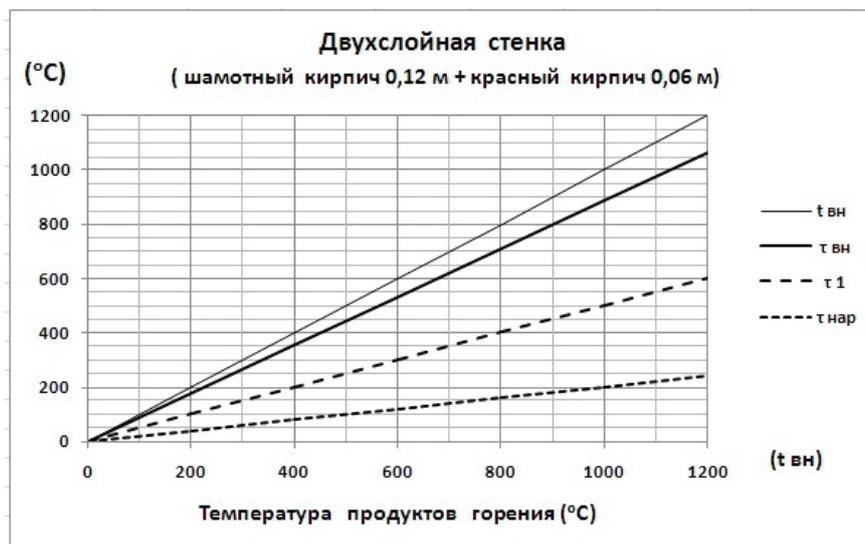


Рис. 12. График температур двухслойной стенки

### 5.3. Двухслойная стенка с воздушным промежутком

При расчете температур для двухслойных стенок воспользуемся данными таблицы 6.

Для скорости газов в диапазоне 0,1 м/с – 0,5 м/с коэффициент теплоотдачи конвекцией из таблицы 5 будет иметь значения:

$\alpha_{квн} = 5,68 - 7,2$ . Возьмем среднее значение  $\alpha_{квн} = 6,44$ .

Значения коэффициентов лучеиспускания возьмем из графиков рисунок 6 для толщины слоя 0,25 м – 0,375 м.

Расчет таблицы 13 проводим по методике, приведенной в предыдущем разделе.

Таблица 13. Двухслойная стенка с воздушным промежутком

Материал кирпича			Красн. кирпич (0,12 м)+ воздух (5,0 мм)+ шамотн. кирпич (0,12 м)				Красн. кирпич (0,12 м)+ воздух(5,0 мм)+ шамотн. кирпич (0,06 м)			
Температура продуктов горения (°С)			300	600	900	1200	300	600	900	1200
Тепловое сопротивление	$R_{вн}^t$	$\frac{1}{\alpha_{квн} + \alpha_{лвн}}$	0,0935	0,0542	0,0357	0,0265	0,0935	0,0542	0,0357	0,0265
	$R_{ст}^t$	Шам $\frac{\delta}{\lambda}$	0,146	0,134	0,122	0,109	0,073	0,067	0,061	0,055
	$R_{воз}^t$	Возд. $\frac{\delta}{\lambda}$	0,152	0,114	0,094	0,079	0,152	0,114	0,094	0,079
	$R_{ст}^t$	Кр $\frac{\delta}{\lambda}$	0,245	0,218	0,190	0,171	0,245	0,218	0,190	0,171
	$R_{нар}^t$	$\frac{1}{\alpha_{кнар} + \alpha_{лнар}}$	0,1075	0,0885	0,0741	0,0649	0,1053	0,0840	0,0704	0,0606
$R_{\Sigma}^t$	Общий коэффициент теплового сопротивления		0,7435	0,6083	0,5161	0,4508	0,6683	0,5369	0,4515	0,3925
Общий коэффициент теплопрохождения k			1,34	1,64	1,94	2,22	1,50	1,86	2,22	2,55
Температура наружной поверхности ( $\tau_{нар}$ ) (°С)			43,38	87,28	129,2	172,9	47,25	93,92	140,4	185,3
Температура между кирпичами $\tau_1$ (°С)			203	414	625	839	225	465	707	951
Температура между кирпичами $\tau_2$ (°С)			142	302	460	628	157	338	519	708
Температура внутренней поверхности $\tau_{вн}$ (°С)			262	547	838	1129	258	539	829	1119

Анализ полученных результатов таблицы 13 показывает, что изменение температур на внутренней и наружной поверхности кирпичной стенки практически линейно и с приведенной погрешностью не более 2,0 % может быть заменено линейными функциями.

В таблице 14 приведены окончательные результаты.

По полученным результатам построены графики рисунок 13 и 14.

Таблица 14. Двухслойная стенка с воздушным промежутком

Двухслойная стенка ( $t_{вн} = 0 \div 1200 \text{ }^\circ\text{C}$ , $t_{нар} = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ )		
Кирпич	Ш (0,12 м)+ возд (5,0 мм)+ Кр (0,12 м)	Ш (0,06 м)+ возд (5,0 мм)+ Кр (0,12 м)
$\tau_{вн}$	$0,93t_{вн}$	$0,968t_{вн}$
$\tau_1$	$0,69t_{вн}$	$0,833t_{вн}$
$\tau_1$	$0,51t_{вн}$	$0,624t_{вн}$
$\tau_{нар}$	$0,144t_{вн}$	$0,155t_{вн}$

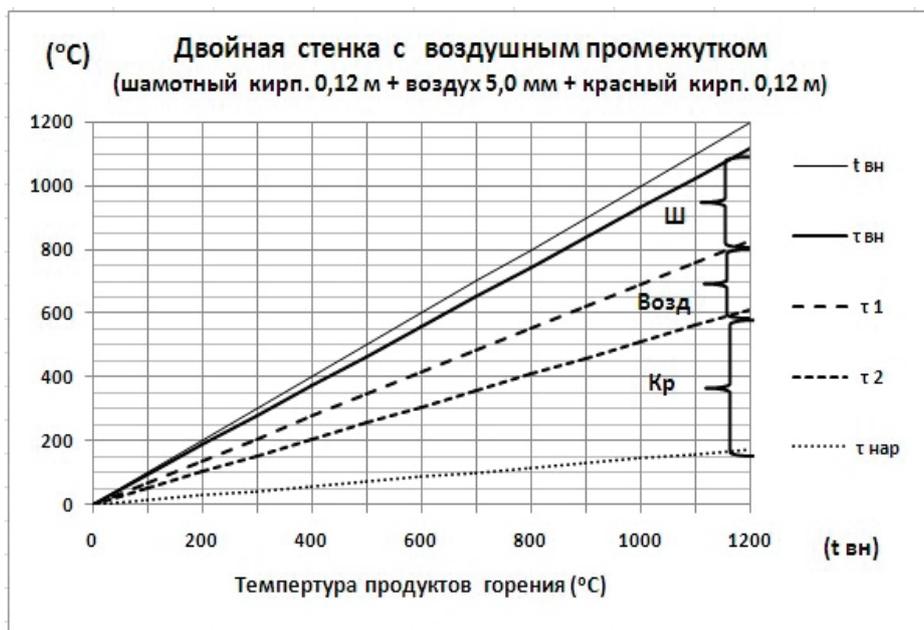


Рис. 13. График температур двухслойной стенки с воздушным промежутком

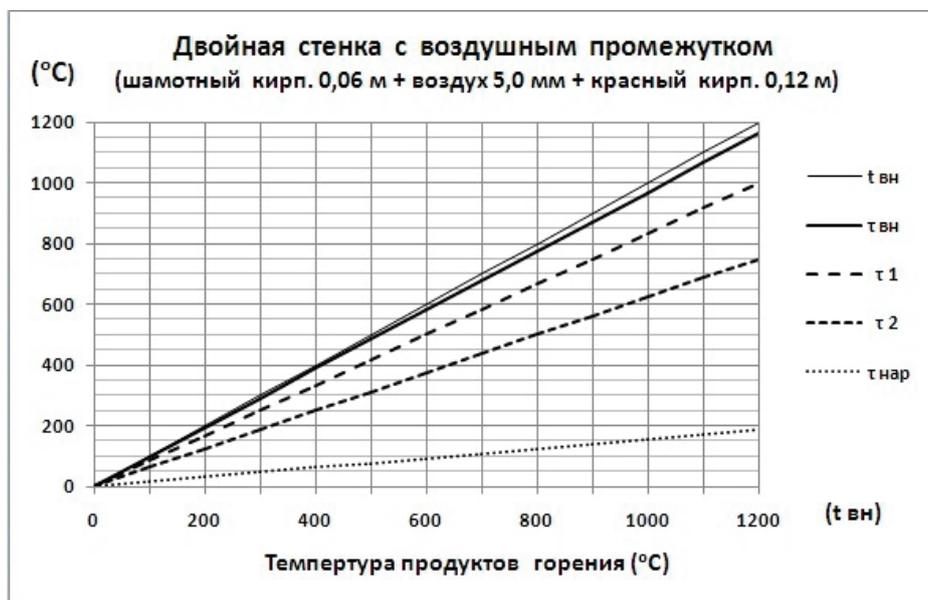


Рис. 14. График температур двухслойной стенки с воздушным промежутком

По полученным результатам данной работы построен итоговый сравнительный график температур для всех рассмотренных случаев стенок в бытовой печи рисунок 15.

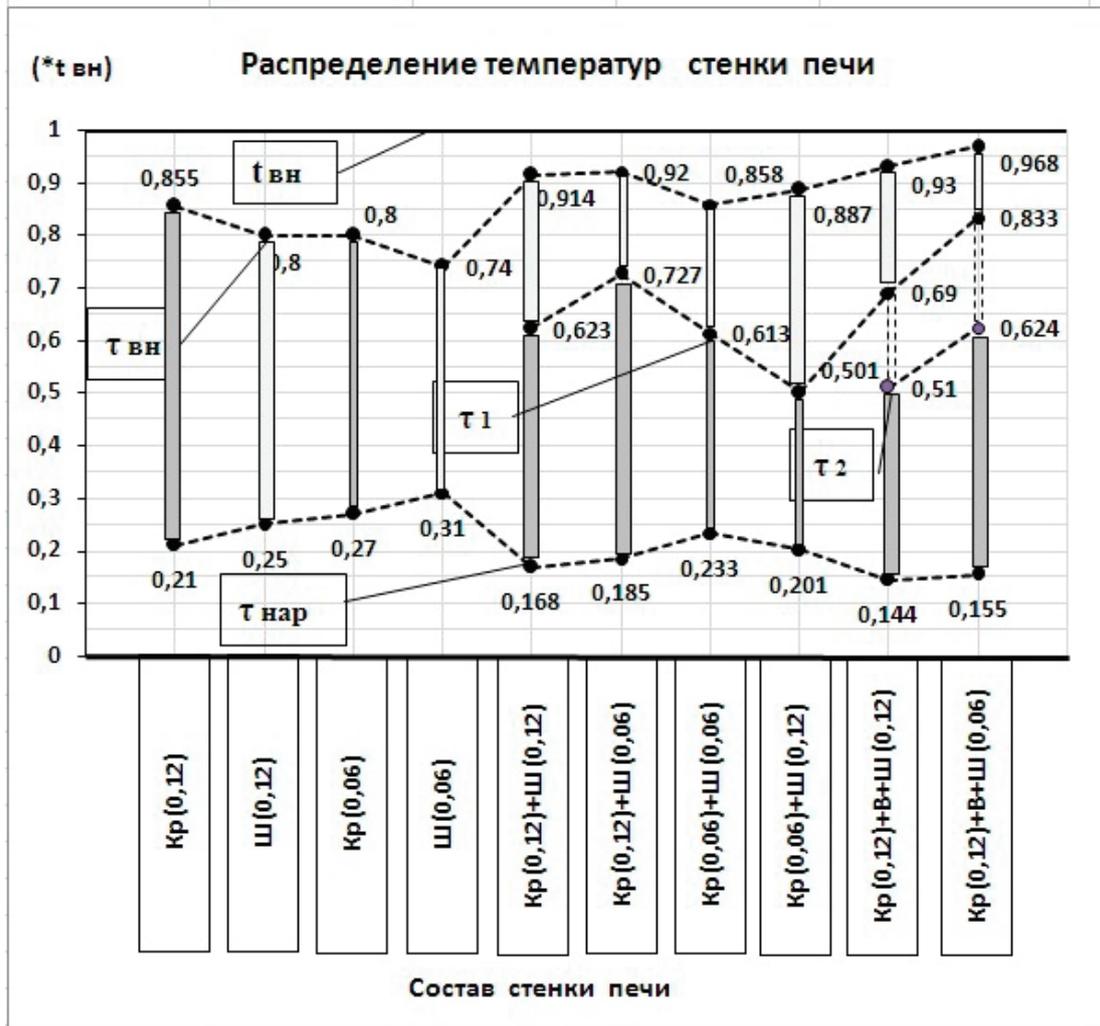


Рис. 15. Итоговый сравнительный график температур стенок бытовой печи

Полученный график рис. 15 позволяет рассчитать, сравнить и оценить влияние различных материалов кирпичей и из размеров на распределение температур на их поверхностях в установившемся режиме.

### 6. Потери тепла через стенку

Потери тепла через 1 м<sup>2</sup> стены печи в час выражаются формулой (1) или (15)

$$q = \frac{t_{вн} - t_{нар}}{\frac{1}{\alpha_{вн}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{нар}}} \tag{1}$$

$$q = k * (t_{вн} - t_{нар}) = \frac{(t_{вн} - t_{нар})}{R_{\Sigma}^t} \tag{15}$$

Количество тепла, теряемого поверхностью данной печи в 1 час:

$$Q = F * k * (t_{вн} - t_{нар}) \text{ кал/час} \tag{27}$$

Где F — поверхность стены на данном участке (м<sup>2</sup>).

В тех случаях, когда величина внутренней F поверхности не совпадает с величиной наружной поверхности, берется средняя расчетная поверхность [2]:

$$F = \frac{F_1 + F_2}{2}$$

При значительной разнице между F<sub>1</sub> и F<sub>2</sub> лучше брать:

$$F = \sqrt{F_1 + F_2}$$

### Выводы

1. Изменение температур на поверхностях кирпичей происходит практически по линейному закону с приведенной погрешностью не более 5,0% для однослойной стенки и приведенной погрешностью не более 2,0% для двухслойной стенки.

2. С увеличением толщины стенки печи влияние конвекции и лучеиспускания на общую передачу тепла уменьшается.

3. При однослойной стенке, при разнице в теплопроводности красного и шамотного кирпичей примерно в 60%, разницы в температурах на поверхностях не превышает 20%.

4. При однослойной стенке применение красного керамического кирпича в топке не допустимо, из-за превы-

шения допустимой температуры на внутренней поверхности кирпича.

5. Сопротивление воздушного промежутка между кирпичами величиной 5,0 мм соизмеримо с толщиной шамотного кирпича 0,12 м.

6. Самым большим тепловым сопротивлением в рассмотренных вариантах обладает стенка, состоящая из шамотного кирпича толщиной 0,12 м, воздушного промежутка 0,5 мм и красного кирпича толщиной 0,12 м.

7. Двухслойная стенка с воздушным промежутком обеспечивает допустимые температуры на внутренней поверхности красного кирпича.

8. Увеличение теплового сопротивления стенки, например в двух контурных печах, может привести к слабому нагреву наружной стенки печи.

### Литература:

1. ГОСТ 2127–47. Печи отопительные теплоемкие. [Электронный ресурс] — Режим доступа: URL: <http://www.artdek.ru/template/txtgost/4.pdf> (дата обращения 15.02.2016)
2. Нагорский, Д. В. Общая методика расчета печей. Москва 1941г Ленинград.

## Автоматизация работы станции Находка-Восточная с целью решения проблемы простоя поездов. Предпосылки установки системы АСКИН

Широков Альберт Павлович, доцент;

Подкорытова Наталья Алексеевна, студент

Дальневосточный государственный университет путей сообщения

*Подразделение РЖД на Дальнем Востоке уже ввело конвенционные запреты на отправку грузов 16 адресатам, по большей части в Приморье. На станции «Находка-Восточная» стоят 34 поезда из 2024 вагонов. Убытки железной дороги от каждого из поездов составляют до 77 тыс. в сутки за состав.*

*Главная причина — отсутствие на инфраструктуре необходимых технических средств. Сложившаяся ситуация осложняет технологию работы станции, влечет за собой сдерживание поездопотока на железнодорожной магистрали, невыполнение компанией «Российские железные дороги» своих обязательств по срокам доставки грузов другим грузополучателям, угрожает безопасности движения поездов и может привести к сбоям в графике пассажирского движения.*

*Во избежание простоев необходимо увеличивать перерабатывающую способность станции. Помимо улучшения путевого развития, одним из решений является автоматизация работы станции.*

Участок от Уссурийска до Находки, а далее в порт Восточный называют Южным Транссибом. Грузовой поток ежедневно нарастает, число поездов увеличивается. Вследствие чего возникают большие простои.

Сегодня важным элементом технологии работы станций, является контроль соответствия инвентарных номеров вагонов принимаемого состава телеграмме — натурному листу (ТГНЛ). Для оптимизации этого процесса на станциях внедряется автоматизированная система контроля инвентарных номеров вагонов АСКИН.

Система АСКИН устанавливается с целью организации процесса формирования поездов. В состав системы

АСКИН входят: напольное оборудование постов считывания (ПСЧ); подсистема телевизионного наблюдения; подсистема освещения; подсистема счета вагонов; подсистема передачи информации; сервер распознавания; автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора.

Входными данными в системе АСКИН являются видеоизображения боковых поверхностей и рам вагонов проходящего состава с двух сторон, сформированные телекамерами из состава напольного оборудования постов считывания ПСЧ. Видеоизображения передаются на сервер распознавания, где с помощью специализированного программного обеспечения производится их

обработка и распознавание инвентарных номеров вагонов.

Результаты распознавания передаются в АСУ СТ (АСУ предприятия), на АРМ оператора производится их сравнение с данными телеграммы — натурального листа ТГНЛ и формируются списки рассогласования.

Основные функциональные возможности:

- Формирование видеоизображений, содержащих инвентарные номера вагонов;
- Распознавание по видеоизображениям восьмичисленных номеров вагонов;
- Подсчет числа вагонов в составе;
- Формирование полномерного списка поезда;
- Выделение в списке поезда нераспознанных номеров;
- Визуальный контроль оператором соответствия распознанных номеров видеоизображениям инвентарного номера;
- Редактирование перечня номеров вагонов, полученных в результате распознавания;
- Просмотр видеозаписи в различных режимах (прямой, обратный, покадровый);
- Поиск информации в базе данных по времени прохождения, номеру, направлению движения, номеру видеокамеры;
- Формирование различных отчетов о принятых составах;

– Экспорт отчетов в информационные системы предприятия

Одним из мероприятий по сокращению простоя поездов на станции является внедрение системы АСКИН для автоматизации технологических процессов, связанных с обработкой данных о проходящих грузовых составах.

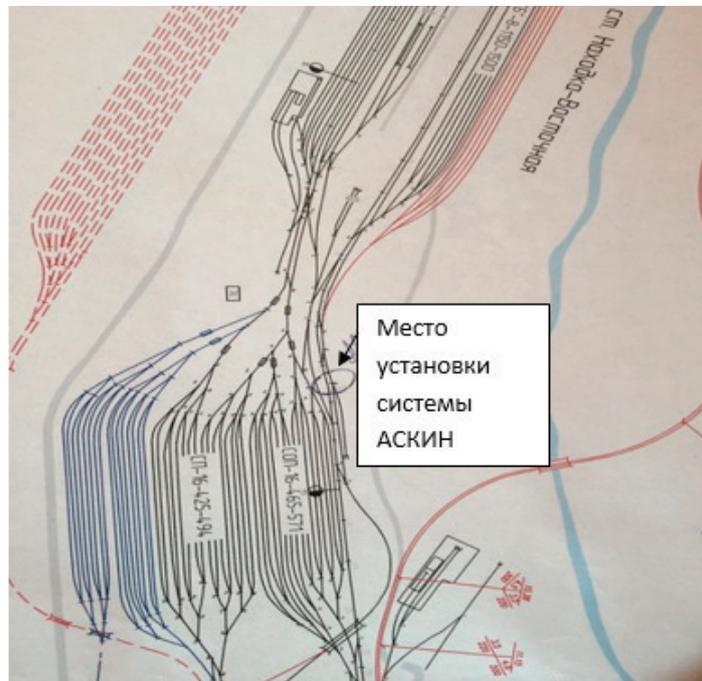
На станции Находка-Восточная регулярно происходят случаи простоя вагонов, которые приводят к нарушению графика движения поездов на Дальневосточной железной дороге, срыву контрактов и судебным искам железной дороги к операторам Восточного порта. За 2015 год простой вагонов от прибытия до подачи составил в среднем из расчета на один вагон 16,24 часа. А к 2020 году грузопоток в адрес Находки-Восточной может возрасти до 96 млн. тонн, а после 2025-го — до 114 млн.

Уже сегодня на станции необходимо автоматизировать технологические процессы, связанные с обработкой данных о проходящих грузовых составах.

Внедрение системы АСКИН на станции Находка-Восточная.

Одним из мероприятий по сокращению простоя поездов на станции является внедрение системы АСКИН.

«На станции Находка-Восточная в районе сигнала М77 планируется поставить два комплекта системы АСКИН. Они должны перекрыть 37 и главный пути. Также планируется установить в районе рельс счетчики осей».



Система будет установлена в рамках реализации третьей очереди Угольного комплекса за счет средств ОАО «Восточный порт». Стоимость установки системы составит около пяти миллионов рублей.

На данный момент проведен выбор места установки напольных устройств данной системы, они будут располагаться на посту ЭЦ рядом с помещением списчика.

Положительным примером применения системы АСКИН можно считать установку этой системы на станции Ярославль-Главный. Применение АСКИН помогло персоналу сократить в первом квартале нынешнего года простои поездов в ожидании расформирования более чем на полчаса. А максимальная скорость поездов, прибывающих на станцию со стороны столицы, увеличилась с 25 до 40 км/ч.

Литература:

1. Альфа-прибор/ АСКИН: считывание и распознавание номеров вагонов.
2. www.gudok.ru

## Прогнозирование уровня вибрации в грунтах, распространяющейся от тоннелей метрополитена круглого сечения

Юлдашев Шарафитдин Сайфитдинович, доктор технических наук, профессор;  
 Карабаева Мунира Усмановна, старший научный сотрудник-исследователь  
 Наманганский инженерно-педагогический институт (Узбекистан)

Увеличение провозной способности транспорта в современных крупных городах невозможно без развития наиболее совершенного вида массового транспорта — метрополитена. Однако требования к условиям проживания населения вблизи магистралей приводят к необходимости учитывать возможные воздействия поездов на окружающую среду.

Известно, что линии метрополитена, особенно мелкого заложения, являются источником повышенной вибрации зданий, расположенных в зоне их влияния [1, 3]. В связи с этим возникает ряд экологических проблем. Первая задача прогнозирования уровней вибрации в жилой застройке, прилегающей к проектируемым и строящимся линиям. Другой, не менее важной задачей является оценка эффективности различных мероприятий по защите зданий и сооружений как от проектируемых, так и существующих линий метрополитена. Ошибки в прогнозировании ожидаемых уровней вибрации и оценке эффективности виброзащитных мероприятий и конструкций могут привести к значительным материальным и финансовым потерям.

Для прогнозирования уровней вибрации в зоне, прилегающей к линиям метрополитена, а также для оценки эффективности мероприятий по виброизоляции зданий необходимо создание надежной методики расчета вибрационного поля, порождаемого поездами метрополитена.

В настоящее время в странах мира, эксплуатирующих подземные транспортные магистрали, придается большое значение исследованиям экологической обстановки, определяемой вибрацией, связанной с движением поездов метрополитена. Помимо вредного воздействия на людей, вибрации, порождаемые линиями метрополитена оказывают нежелательное воздействие на аппаратуру и оборудование и, в отдельных случаях, приводят к повреждению близлежащих зданий.

При изучении распространения колебаний грунты в различных моделях рассматриваются как однородная или неоднородная вязкоупругая среда. При этом вязкоупругие свойства среды будем учитывать с помощью комплексных значений ее упругих модулей. При этом необходим учет имеющихся границ — свободной поверхности, фундамента здания, а также коммуникаций и прочих техногенных неоднородностей. Участка тоннеля, возбуждающего колебания грунта, достаточно длинная что, как правило, превышает длину обычных зданий. Следовательно, можно принять, что задача плоская, т.е. колебания тоннеля по всей его длине происходит в одной фазе.

Выделенная прямоугольная область разбита на 980 треугольных конечных элементов 540 узлами. Размеры конечных элементов выбраны на основе выводов работы [2].

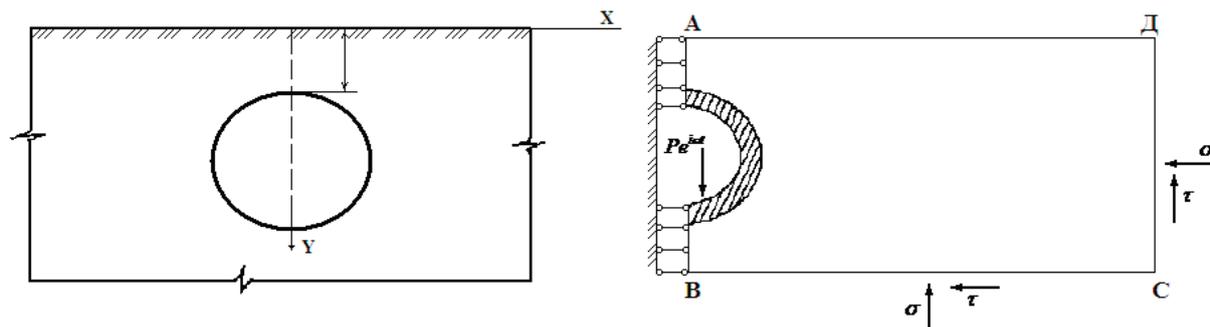


Рис. 1. Расчетная схема

Уравнения движения системы в матричной форме для треугольных конечных элементов, выделенной области.

$$[M]\{\ddot{u}(t)\} + (1 - R^*)[K]\{u(t)\} = \{P(t)\} - [G]\{\dot{u}\} \tag{1}$$

где  $R^*$  — интегральный оператор Вольтерра;  $[M]$  и  $[K]$  — матрицы масс и жесткости системы;  $\{u(t)\}$ ,  $\{P(t)\}$  — векторы перемещения узлов и внешней нагрузки.  $[G]$  — диагональная матрица, ненулевые элементы которой относятся к стандартной вязкой границе, т.е.

$$\begin{Bmatrix} \Gamma(i,i) \\ \Gamma(i+1,I+1) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} V_p \\ V_s \end{Bmatrix} b \Delta l_i \rho_i : \quad i = \bar{1}, \bar{N} \tag{2}$$

Здесь  $b$  — толщина элемента;  $\Delta l_i$  — средний размер элемента около  $i$ -й граничной точки;  $\rho_i$  — плотность материала около  $i$ -й граничной точки.

Реакция отброшенной части полуплоскости заменяется нормальными и касательными напряжениями на границах [2], т.е.

$$\begin{cases} \sigma = a \cdot \rho \cdot V_p \cdot \dot{U} \\ \tau = v \cdot \rho \cdot V_s \cdot \dot{V} \end{cases} \tag{3}$$

где  $\dot{U}$  и  $\dot{V}$  — нормальные и касательные скорости частиц на границе;  $V_p$  и  $V_s$  — скорости  $P$ - и  $S$ -волн;  $a$  и  $v$  — безразмерные параметры;  $\rho$  — плотность материала.

Учет неоднородности грунта позволяет учитывать и железобетонного материал тоннеля. Решая уравнение (1) получим значений перемещении дискретных точек выделенной области. На рис. 2. показаны смещения обделки тоннеля.

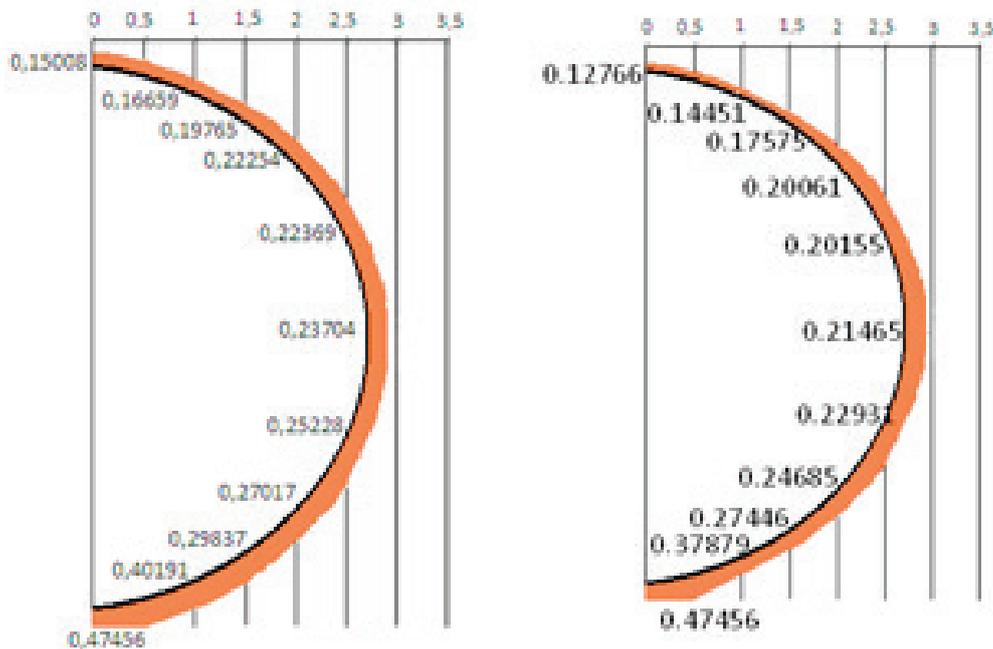


Рис. 2. Смещения обделки тоннеля и их численных значения для  $f = 30$  Гц,  $f = 50$  Гц

Рассматривается защита сооружений от вибрации, распространяющейся от внешнего источника. Под внешним источником подразумевается распространение вибрации от прохождения железнодорожного транспорта или трамваев, движущихся на близких расстояниях от сооружения. Решена задача о вынужденных колебаниях плоской однородной системы «сооружение-основание» с установленными преградами между источником возмущения и защищаемым объектом.

Исследования показывают, что траншеи и бетонные преграды имеют большую способность по снижению вибраций, возникающих от прохождения поездов метрополитена мелкого заложения. Изучение эффективности укрепленных виброзащитных систем, выбор их геометрических размеров являются предметом дальнейших исследований.

Литература:

1. Рашидов, Т. Р., Ишонходжаев А. А., Юлдашев Ш. С., «Рапространение в грунте вибраций, возникающих от прохождения поездов метрополитена при учёте перемещения тоннеля относительно грунта» Доклады, № 5, 1984 г.
2. Lysmer, J., Kuhlemeyer L. «Finite Dynamik Model for Infinite Media» Jour Engineering Mechanics Division, ASCE, Vol 95, № EM 4, August, 1969, p. 859–887.
3. С. А. Костарев, «Анализ вибраций, генерируемых линиями метрополитена, и разработка комплекса мероприятий по их снижению» автореферата, 2004 г. 270 с.

# Молодой ученый

Международный научный журнал

Выходит два раза в месяц

№ 6 (110) / 2016

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

**Главный редактор:**

Ахметов И. Г.

**Члены редакционной коллегии:**

Ахметова М. Н.  
Иванова Ю. В.  
Каленский А. В.  
Куташов В. А.  
Лактионов К. С.  
Сараева Н. М.  
Авдеюк О. А.  
Айдаров О. Т.  
Алиева Т. И.  
Ахметова В. В.  
Брезгин В. С.  
Данилов О. Е.  
Дёмин А. В.  
Дядюн К. В.  
Желнова К. В.  
Жуйкова Т. П.  
Жураев Х. О.  
Игнатова М. А.  
Коварда В. В.  
Комогорцев М. Г.  
Котляров А. В.  
Кузьмина В. М.  
Кучерявенко С. А.  
Лескова Е. В.  
Макеева И. А.  
Матроскина Т. В.  
Матусевич М. С.  
Мусаева У. А.  
Насимов М. О.  
Прончев Г. Б.  
Семахин А. М.  
Сенцов А. Э.  
Сенюшкин Н. С.  
Титова Е. И.  
Ткаченко И. Г.  
Фозилов С. Ф.  
Яхина А. С.  
Ячинова С. Н.

**Международный редакционный совет:**

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

**Руководитель редакционного отдела:** Кайнова Г. А.  
**Ответственные редакторы:** Осянина Е. И., Вейса Л. Н.

**Художник:** Шишков Е. А.

**Верстка:** Бурьянов П. Я., Голубцов М. В.

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:**

**почтовый:** 420126, г. Казань, ул. Амирхана, 10а, а/я 231;

**фактический:** 420029, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25.

E-mail: [info@moluch.ru](mailto:info@moluch.ru); <http://www.moluch.ru/>

**Учредитель и издатель:**

ООО «Издательство Молодой ученый»

ISSN 2072-0297

Подписано в печать 10.04.2016. Тираж 500 экз.

Отпечатано в типографии издательства «Молодой ученый», 420029, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, 25