

ISSN 2072-0297



# МОЛОДОЙ<sup>®</sup> УЧЁНЫЙ

международный научный журнал



**28**  
2016  
Часть II

16+

ISSN 2072-0297

# МОЛОДОЙ УЧЁНЫЙ

Международный научный журнал

Выходит еженедельно

№ 28 (132) / 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

Абдрасилов Турганбай Курманбаевич, доктор философии (PhD) по философским наукам

Авдюк 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

Калдыбай Кайнар Калдыбайулы, доктор философии (PhD) по философским наукам

Кенесов Асхат Алмасович, кандидат политических наук

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

Курпаяниди Константин Иванович, доктор философии (PhD) по экономическим наукам

Кучерявенко Светлана Алексеевна, кандидат экономических наук

Лескова Екатерина Викторовна, кандидат физико-математических наук

Макеева Ирина Александровна, кандидат педагогических наук

Матвиенко Евгений Владимирович, кандидат биологических 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

Паридинова Ботагоз Жаппаровна, магистр философии

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

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».

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.

#### **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)

Ахмеденов Кажмурат Максutowич, кандидат географических наук, ассоциированный профессор (Казахстан)

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)

Курпаяниди Константин Иванович, доктор философии (PhD) по экономическим наукам (Узбекистан)

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, доктор 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, Майер Ольга Вячеславовна

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; http://www.moluch.ru/.

Учредитель и издатель: ООО «Издательство Молодой ученый».

Тираж 500 экз. Дата выхода в свет: 04.01.2017. Цена свободная.

Материалы публикуются в авторской редакции. Все права защищены.

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

---

---

**Н**а обложке изображен *Филип Джордж Зимбардо*, известный американский социальный психолог, известный как автор Стэнфордского эксперимента.

Зимбардо родился в 1933 году в Южном Бронксе (США). По окончании Монгое High School он поступил в Бруклинский колледж и получил в нем степень бакалавра, затем защитил магистерскую и докторскую диссертации и получил степень доктора философии в Йельском университете.

В 1971 году в Стэнфордском университете в должности профессора Филип Зимбардо провел психологический эксперимент, в ходе которого 24 студента были разделены на группу «тюремных заключенных» и группу «тюремных надзирателей». В подвале факультета была оборудована «тюрьма», где и проводился эксперимент, который должен был продлиться две недели. Однако по этическим соображениям через шесть дней после начала эксперимент был прерван.

Стэнфордский тюремный эксперимент показал, что у людей, помещенных в определенные условия, не только

происходит «вживание» в роль, но и меняются психологические характеристики. Например, в группе «надзирателей» студенты начали испытывать, а затем и проявлять садистские эмоции. В психологическом состоянии участников группы «заключенных» преобладали депрессия и отчаяние. Результаты этого эксперимента привели к возникновению теории значимости социума в индивидуальной психологии. Подробное описание этого эксперимента вышло в свет только 35 лет спустя.

Используя полученные результаты, Филип Зимбардо начал разрабатывать новые приемы и методы, чтобы помочь людям преодолевать психологические барьеры и лечить различные расстройства. К примеру, успешными были работы Зимбардо по преодолению застенчивости как у детей, так и у взрослых, которые привели к основанию «Стэнфордской клиники застенчивости».

*Людмила Вейса, ответственный редактор*

---

---

## СОДЕРЖАНИЕ

### ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Кузин Д. А.**  
Создание приложений «Генератор» и «Осциллограф» для работы со звуковыми сигналами ..... 107
- Леонов В. С.**  
Часы на газоразрядных индикаторах ..... 110
- Макеева Е. А.**  
Анализ температурного профиля пайки оплавлением ..... 116
- Медведева М. С., Семенченко И. Ю.**  
Новые технологии в строительстве частных домов ..... 119
- Минин Д. С.**  
Разработка защитной схемы для датчика давления, установленного на корабле ..... 121
- Михайлов В. М., Колмакова Т. Г., Устинов Н. Н.**  
Алгоритм проектирования гибких трубчатых элементов рабочих органов почвообрабатывающих машин ..... 124
- Nguyen Thanh Hoa**  
Use of Moringa oleifera seeds as natural coagulant for water purification in Viet Nam ..... 127
- Никулин С. И., Наумов Н. А., Махлин М. Ю.**  
Мероприятия, направленные на развитие сети автомагистралей в России ..... 130
- Оладько В. С.**  
Риски систем управления и контроля доступа ..... 133
- Павлушкина Ю. Е., Павлушкин М. Е.**  
Навесной вентилируемый фасад и его характеристики ..... 136
- Патраков Е. С., Пехтерев В. И.**  
Асимптотические свойства частотных характеристик исполнительной системы ..... 140
- Патраков Е. С., Пехтерев В. И.**  
Математическая модель многосвязной исполнительной системы манипуляционного робота ..... 142
- Патраков Е. С.**  
Связь между характеристиками многосвязной исполнительной системы и систем управления отдельными степенями подвижности ..... 145
- Певченко С. С., Блужин В. А.**  
Сравнительный анализ алгоритмов нейронной сети и деревьев принятия решений модели интеллектуального анализа данных ..... 148
- Пехтерев В. И.**  
Исследование движения транспортного робота по произвольной поверхности методом цифрового моделирования ..... 154
- Пехтерев В. И.**  
Возможности предварительной ориентации деталей в робототехнических комплексах ..... 158
- Пинчукова К. В., Глазкова Я. В., Кужугалдинова З.**  
Анализ химических аспектов модификации волокон целлюлозы ..... 161
- Пинчукова К. В., Глазкова Я. В., Кужугалдинова З.**  
Перспективы использования модифицированного крахмала для улучшения эксплуатационных свойств бумаги и картона ..... 163
- Пираматов У. А.**  
Повышение производительности автогрейдера путем установки на него системы позиционирования ..... 166
- Пираматов У. А.**  
Обзор процесса установки системы позиционирования 3D ГНСС на автогрейдер... 168
- Поезжаева Е. В., Кладова Д. Ю., Попова А. М.**  
Улучшение качества уборки в кузове вагона железнодорожного транспорта путём внедрения робота GES ..... 170
- Поликарпова К. Н.**  
Роботизация диагностики загазованности шахт и рудников ..... 173
- Прилепская О. А., Родкина А. А.**  
Архитектоника объемных структур в проектной деятельности художника по костюму ..... 175

<b>Рязанов А. В.</b> О некоторых результатах лабораторных исследований для сокращения выноса песка при эксплуатации газовых скважин ..... 177	<b>Файфер Л. А.</b> Особенности расчётов реактивной мощности в несинусоидальных режимах..... 203
<b>Стебакова Т. Г., Родкина А. А.</b> К вопросу о влиянии свойств текстильных материалов на формообразование одежды ... 180	<b>Хамзаев А. А.</b> Внедрение современной техники и технологии для регулирования скорости высокоомощного двух скоростного электромотора в автоматическом режиме ..... 207
<b>Султанов И. А.</b> Исследование элементов троичной логики на примере троичного инвертора ..... 182	<b>Шацкий О. Е., Ямбаев Р. К., Шевченко В. В.</b> Перспективы использования ядерно-электрической ракетной двигательной установки для исследования дальнего космоса ..... 209
<b>Тюрюмина А. В., Батрак А. П., Секацкий В. С.</b> Анализ применения метода акустической эмиссии для диагностики силового оборудования в России и за рубежом ..... 194	<b>Ямпилев С. С., Потемкина Т. Ф., Воскресенская М. Л., Батоцыренов Т. Э.</b> Изучение воздействия наркоза на биологический объект аппаратом биоимпедансной диагностики ..... 212
<b>Файфер Л. А.</b> Методики расчёта составляющих мощности при синусоидальных и несинусоидальных режимах ..... 197	<b>Яшкова С. С., Бобков Н. В.</b> Повышение прочностных характеристик титановых сплавов ..... 215
<b>Файфер Л. А.</b> Практическое применение вейвлет-преобразования для исследования нестационарных несинусоидальных сигналов и расчёта мощности..... 200	

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

### Создание приложений «Генератор» и «Осциллограф» для работы со звуковыми сигналами

Кузин Денис Александрович, студент  
Дальневосточный федеральный университет (г. Владивосток)

*Для проведения лабораторной работы по акустике и звуковому вещанию необходимо использовать определенно программно-аппаратное обеспечение: линейка микрофонов, генератор синусоидального сигнала, звуковой динамик, осциллограф. Стояла задача минимизировать количество оборудования и время, затрачиваемое на подключение приборов и подготовку студии к лабораторной работе.*

**Ключевые слова:** генератор, осциллограф, микрофон, анализ звука, лабораторная работа

Лабораторная работа подразумевает подключение сразу три довольно крупных устройства:

1. Линейка микрофонов (рисунок 1) — штатив с коробом, включающим в себя 4 микрофона, которые соединены в горизонтальной плоскости. С помощью кнопок на верхней части короба осуществляется включение и выключение необходимых микрофонов. Питание осуществляется от сети 220 В. Звуковой кабель, объединяющий микрофоны и несущий сигнал на осциллограф, имеет разъем BNC (коаксиальный радиочастотный разъем).

2. Генератор, используемый в данной работе необходим для создания синусоидального сигнала определенной частоты и уровня. Имеет довольно большие размеры и немалый вес (рисунок 2), что усложняет перенос данного устройства в необходимое место.

3. Звуковой динамик — требуется для преобразования электромагнитного сигнала с генератора в звуковой сигнал.

4. Осциллограф необходим для анализа сигнала, который создается генератором и воспроизводится ко-



Рис. 1. Реализация линейки микрофонов



Рис. 2. Генератор сигналов

лонкой. Используется для определения уровня сигнала в зависимости от направленности линейки микрофонов и различных вариаций подключений микрофонов (1-й и 4-й, 2-й и 3-й, все четыре активны). Так же, как и генератор имеет довольно крупные размеры (рисунок 3), что осложняет его перенос и подключение.

Для упрощения исполнения лабораторной работы было принято решение реализовать генератор и осциллограф с помощью звуковой карты ноутбука. Данное устройство имеет компактные размеры, что позволяет его с легкостью переносить и устанавливать в любом удобном месте. Также удалось освободить генератор и осциллограф для использования их в других лабораторных работах. На компьютере с помощью среды разработки LabVIEW удалось реализовать программу, позволяющую генерировать сигнал необходимой частоты, а управление частотой осуществляется в удобном интерфейсе пользователя (рисунок 4).

Графический код программы «Генератор» написанный на LabVIEW преведен на рисунке 5.

Для улучшения качества передачи звукового сигнала лучше использовать внешний динамик (колонку), а не встроенные динамики ноутбука. Кабель, который раньше имел разъем BNC теперь заменен кабелем со стандартным разъемом 3.5 mm (TRC). Теперь гораздо проще, в случае повреждения кабеля, заменить его, т.к. кабели с разъемами 3.5 mm mini-jack более распространены в настоящее время и их легче найти. Также можно использовать качественные звуковые кабели для уменьшения влияния фидерного тракта.

Далее я приведу пример приложения «Осциллограф», которое было также написано на LabVIEW. Оно позволяет отслеживать характеристики звукового сигнала, снимаемого с линейки микрофонов, как в реальном времени, так и обрабатывать сигнал, сохраненный в памяти



Рис. 3. Осциллограф



Рис. 4. Реализация интерфейса пользователя приложения «Генератор»

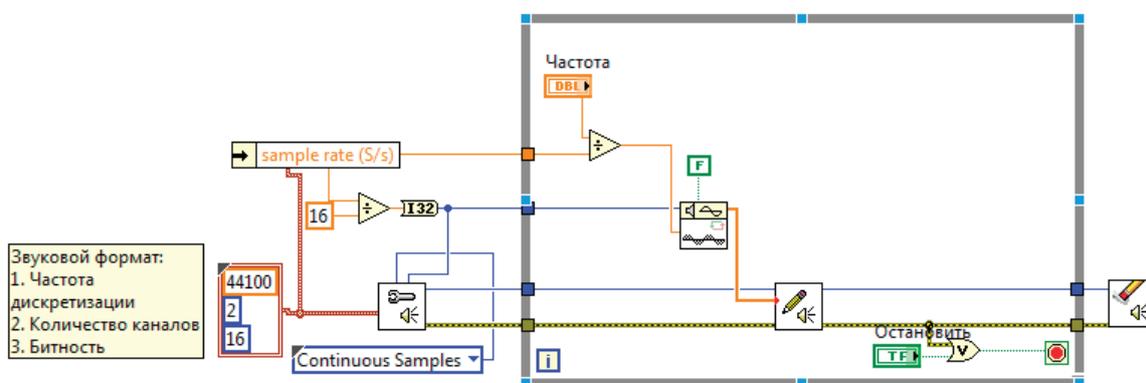


Рис. 5. Реализация приложения «Генератор» в среде программирования LabVIEW

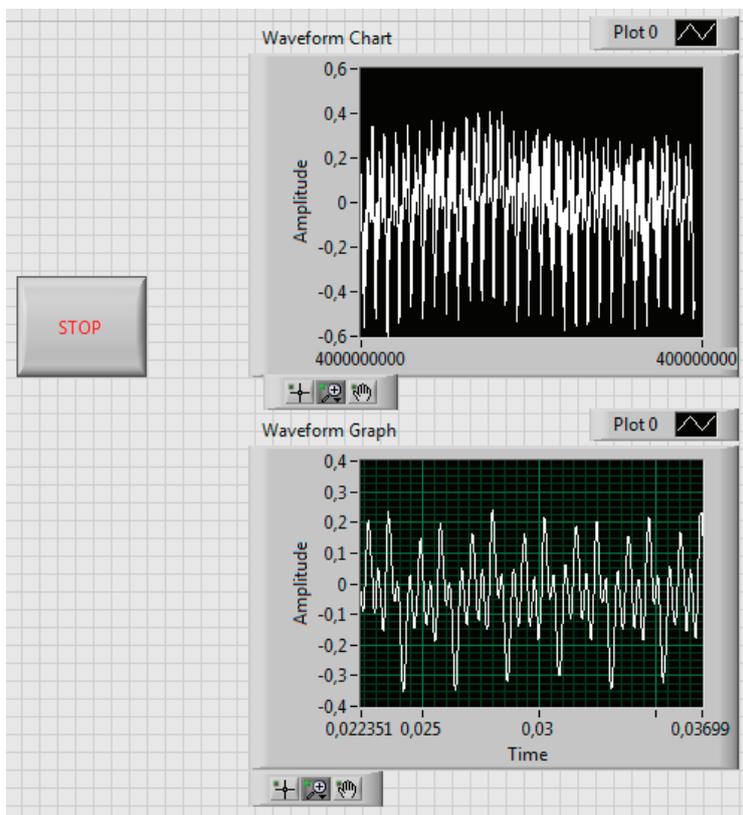


Рис. 6. Реализация интерфейса пользователя приложения «Осциллограф»

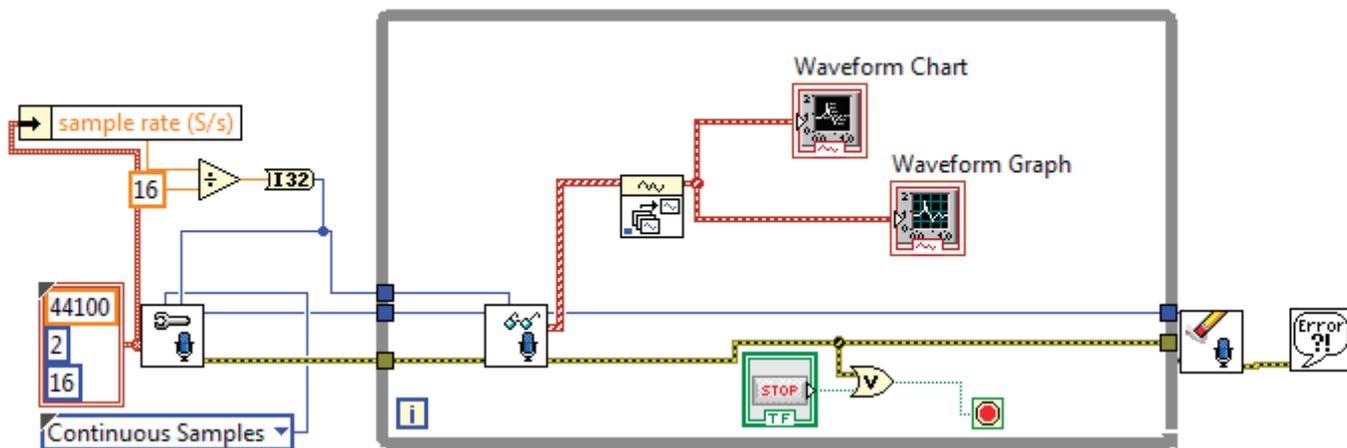


Рис. 7. Приложение «Осциллограф» в среде разработки LabVIEW

программы. На рисунке 6 изображен интерфейс пользователя приложения «Осциллограф».

Сверху мы видим график звукового сигнала в памяти устройства, снизу изображен график сигнала в реальном времени. Практическую реализацию приложения «Осциллограф» в графической среде разработки LabVIEW можно увидеть на рисунке 7.

Таким образом удалось полностью заменить генератор и осциллограф для исследования звуковых сигналов в некоторых лабораторных работах по акустике. Упрощение работы с осциллографом и генератором, написанными на LabVIEW, позволяют уделять больше времени на иссле-

дование звукового сигнала, а не тратить его на перенос, установку, и подключение устаревших осциллографов и генераторов. Также данные приложения, в случае необходимости, позволяют автоматизировать процесс измерения характеристик звукового сигнала. Но в данной статье этот код не приводится, т.к. задача лабораторной работы состоит в том, чтобы выработать у студентов навыки измерения характеристик направленности антенны, состоящей из  $n$ -микрофонов, позволить им получить практические навыки измерения параметров антенны. Полная автоматизация измерения в данном случае не требовалась.

## Часы на газоразрядных индикаторах

Леонов Вадим Станиславович, студент

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

*В данной статье представлен обзор разработки устройства «Часы на газоразрядных индикаторах». В работе представлено краткое схемотехническое, конструкторское и технологическое проектирование данного устройства. Представлены следующие разработанные схемы: схема электрическая структурная, схема электрическая принципиальная, чертежи печатных плат, схема сборки устройства с описаниями к каждой схеме. По результатам проектирования представлен внешний вид часов на газоразрядных индикаторах.*

### Введение

Электронные часы основаны на подсчете периодов колебаний от задающего генератора с помощью электронной схемы и выводе на индикатор. [1] Газоразрядный индикатор (далее ГРИ) — ионный прибор для отображения информации, использующий тлеющий разряд.

За последние годы популярность газоразрядных индикаторов возросла из-за их необычного антикварного вида. В отличие от ЖК, они излучают мягкий неоновый оранжевый или фиолетовый свет. Как правило, часы на газо-

разрядных индикаторах обладают небольшим функционалом и несут чисто эстетическую функцию.

Актуальность темы обусловлена тем, что такие часы являются хорошей альтернативой обычным цифровым часам с дисплеем или стрелками из-за их внешнего вида. Часы обладают светодиодной подсветкой, что делает их более оригинальными. Также питание часов осуществляется от напряжения 5 В с использованием разъема  $\mu$ сго-USB, что позволяет использовать в качестве источника питания часов любой современный адаптер для телефона. Возможно питание от порта компьютера USB2.0.

### 1. Схемотехническое проектирование часов на газоразрядных индикаторах

Разработанная схема электрическая структурная часов на газоразрядных индикаторах представлена на рисунке 1. Схема электрическая структурная была разработана согласно требованиям ГОСТ 2.702–75 [2].

В качестве управления часами на ГРИ был выбран микроконтроллер, поскольку управление только на логических элементах занимало бы много места на плате. Для настройки времени и включения декоративной подсветки светодиодами используются кнопки управления. Комбинация цифр на газоразрядных индикаторах устанавливается микроконтроллером. Для отображения цифр и работы микроконтроллера, следует обеспечить необходимое питание как микроконтроллеру, так и ГРИ.

Разработанная схема электрическая принципиальная часов на газоразрядных индикаторах представлена на рисунке 2, схема блока питания — на рисунке 3. Схема электрическая принципиальная была разработана согласно требованиям ГОСТ 2.702–75 [2], ГОСТ 2.701–84 [3], ГОСТ 2.708–81 [4], ГОСТ 2.728–74 [5], ГОСТ 2.730–73 [6].

Исходя из данных, полученных от производителя газоразрядных индикаторов, максимальная долговечность

ГРИ достигается при постоянном токе меньшим или равным 2,5 мА. Однако отображение цифр на ГРИ на данном устройстве осуществляется со скважностью 6, и производитель при заданной скважности и частоте 200 Гц гарантирует максимальную долговечность при токе не большим 10 мА. Чтобы человеческий глаз не замечал переменное отображение цифр, была выбрана частота индикации каждого индикатора в 1000 Гц. Опытным путем было установлено, что при напряжении между анодом и катодом ГРИ при напряжении в 160 В ток, протекающий через него равен 4,5 мА. Данное напряжение подходит для обеспечения питания ГРИ. На рисунке 2.3 — схема электрическая принципиальная блока питания, который обеспечивает данное напряжение. Для того чтобы управлять напряжением на анодах ГРИ, был разработан транзисторный ключ, состоящий из 2 транзисторов. Если на базу подать такое напряжение, чтобы открылся ррп транзистор, откроется и ррп транзистор, через него пройдет ток на ГРИ. При закрытом состоянии ррп транзистора напряжение коллектор — эмиттер равен 160 В, следовательно, подберем транзистор MPSA92, у которого максимальное падение напряжения коллектор — эмиттер равно 300 В. Максимальная рассеиваемая мощность 625 мВт.

За управление катодами ГРИ отвечает дешифратор, который в зависимости от двоичного кода на входе при-



Рис. 1. Схема электрическая структурная часов

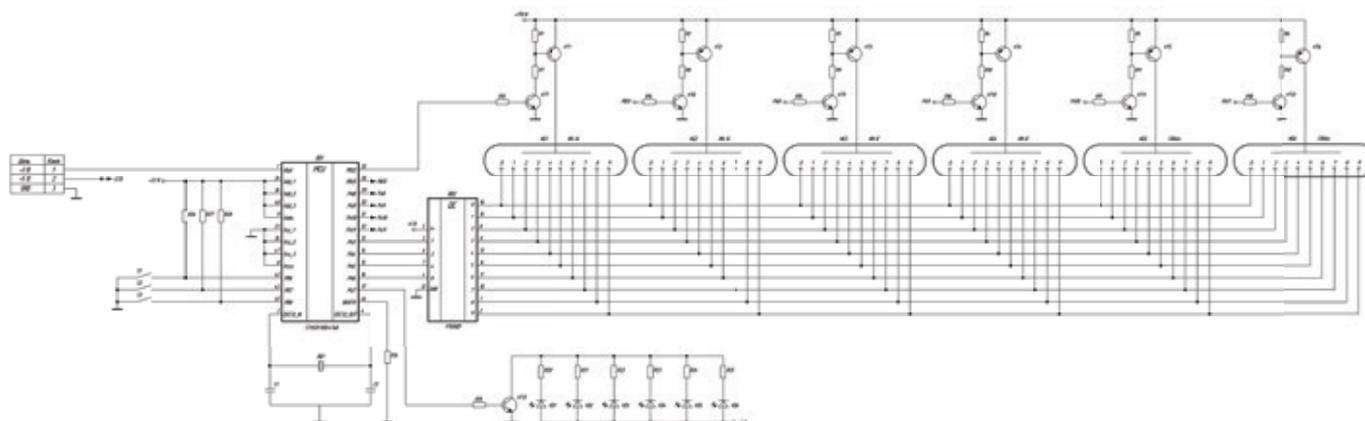


Рис. 2. Схема электрическая принципиальная часов

тягивает к земле десятичный вывод. Резисторы R26, R27, R28, подключенные параллельно к кнопкам, ограничивают ток, протекающий на землю. Если их не будет, при замыкании цепи произойдет короткое замыкание источника питания. Резисторы R20... R25, подключенные последовательно светодиодам, тоже ограничивают ток,

протекающий через них. Конденсаторы C1, C2 стабилизируют работу часового кварцевого резонатора. В качестве микроконтроллера был выбран STM32F1, у которого есть регистр резервных данных, с помощью которого можно хранить данные времени даже с отключенным питанием. Имеет низкое энергопотребление.

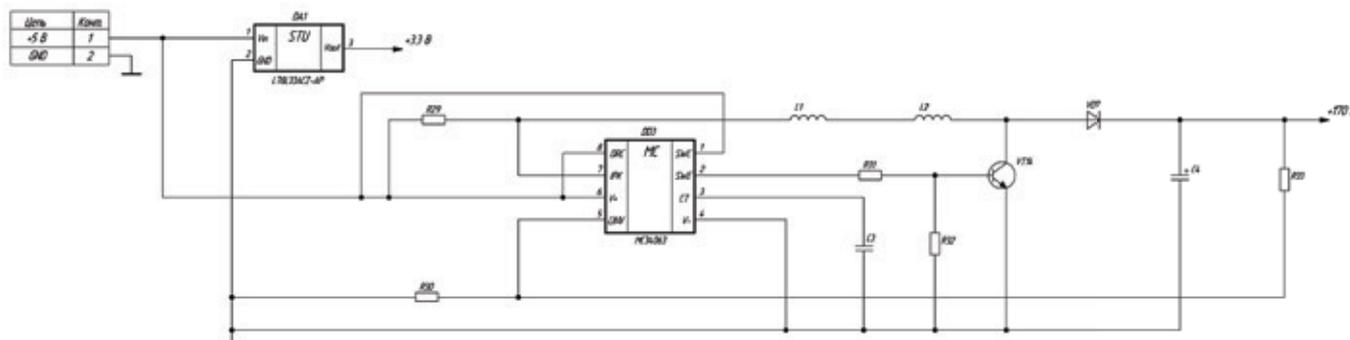


Рис. 3. Схема электрическая принципиальная блока питания

Для разработки повышающего преобразователя напряжения была взята за основу микросхема MC34063, генерирующая сигналы с определенной частотой, задаваемой конденсатором C3. Максимальное напряжение, которое может быть на выходе микросхемы 40 В. Для достижения 160 В на выходе была разработана схема, у которой на выходе напряжение достигает 160 В. Во время генерации импульсов микросхемы транзистор VT14 то открывается, то закрывается. В момент закрытия транзистора VT14 ток, протекающий через катушки L1 и L2, резко падает, и катушка генерирует мощный скачок напряжения. В момент открытия транзистора, ток снова протекает через катушку, и напряжение стабилизируется. Чтобы сгладить это напряжение, следует добавить в схему конденсатор C4. Чтобы напряжение держалось на одном уровне, в схему следует добавить диод VD7. При его отсутствии ток с конденсатора, при открытом транзисторе VT14 потечет на землю. Чтобы ограничить выходное напряжение, нужно прекратить подачу импульсов микросхемы MC34063. Чтобы это осуществить, вводится обратная связь с помощью резисторов R33 и R30, образующие делитель напряжения. Если на делителе напряжение пре-

вышает 1,25В, микросхема прекращает подачу импульсов на транзистор VT14. Частота импульсов задается конденсатором C3. Стабилизатор напряжения L78L33 обеспечивает напряжение в 3,3 В, после 5 В. Данный стабилизатор напряжения нужен для питания микроконтроллера STM32F1.

## 2. Разработка конструкции часов на газоразрядных индикаторах

Для часов на газоразрядных индикаторах были разработаны три печатные платы. Разработанные печатные платы реализуют коммутацию электрических компонентов согласно схеме электрической принципиальной (рисунок 2,3). Проводящие слои разработанных печатных плат, согласно требованиям ГОСТ 2.417–91 [7], представлены на рисунках 4–6.

Разработанные печатные платы для часов на газоразрядных индикаторах выполнены двухсторонними в целях уменьшения их габаритов. Плата управления индикаторами (рисунок 5) имеет четвертый класс точности, две другие — второй (рисунок 4, 6).

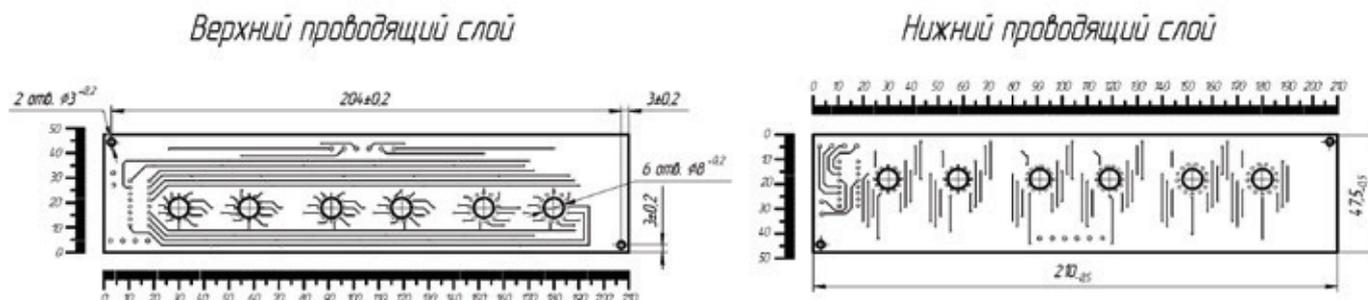


Рис. 4. Проводящие слои печатной платы с газоразрядными индикаторами

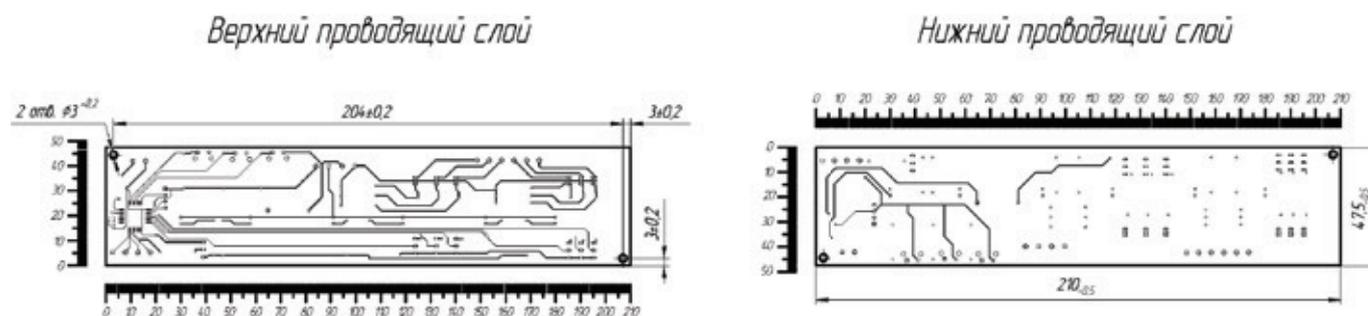


Рис. 5. Проводящие слои печатной платы управления индикаторами

Четвертый класс точности имеет следующие характеристики:

- ширина печатного проводника: не менее 0.15 мм;
- расстояние между краями соседних элементов проводящего рисунка: не менее 0.15 мм;
- ширина гарантийного пояса: не менее 0.05 мм;
- отношение номинального значения диаметра наименьшего из металлизированных отверстий к толщине ПП: не менее 0.25.

Второй класс точности имеет следующие характеристики:

- ширина печатного проводника: не менее 0.45 мм;
- расстояние между краями соседних элементов проводящего рисунка: не менее 0.45 мм;
- ширина гарантийного пояса: не менее 0.2 мм;
- отношение номинального значения диаметра наименьшего из металлизированных отверстий к толщине ПП: не менее 0.4.

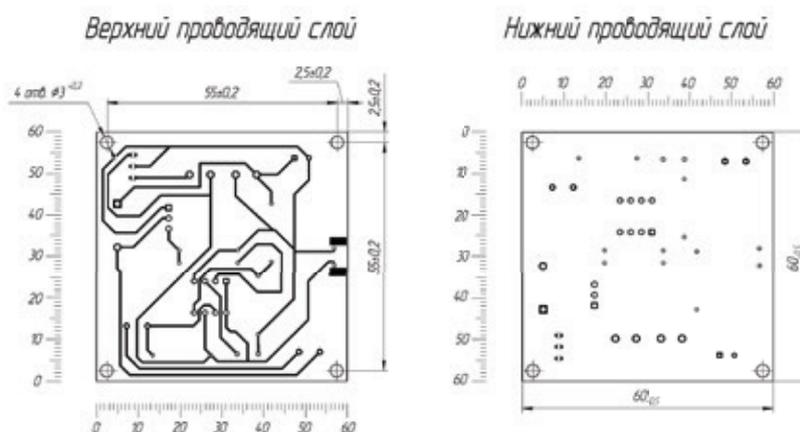


Рис. 6. Проводящие слои печатной платы блока питания

Для изготовления печатных плат используется стеклотекстолит марки FR4. Выбранный материал для печатных плат обладает следующими характеристиками:

- толщина фольги: 35 мкм;
- толщина основания: 1.5 мм;
- поверхностное электрическое сопротивление: 1010 Ом;
- удельное объемное электрическое сопротивление: 1012 Ом · м;
- время устойчивости к воздействию теплового удара при  $t = 260\text{ }^{\circ}\text{C}$ : 60 с.

Данный материал широко применяется в производстве печатных плат и имеет стоимость ниже, чем у аналогов.

Для прочного закрепления платы изделия в корпусе используются стойки и винтовые соединения. Части корпуса также соединяются между собой при помощи вин-

товых соединений, которые обеспечивают достаточную точность и надежность. Применение винтов обусловлено простотой организации быстрого доступа к плате для замены деталей или ремонта изделия в случае отказа.

Элементы монтируются на плату с обеих сторон с помощью пайки паяльником для КМО и пайки в печи для КМП. Для пайки паяльником используется припой и флюс, изготовленный на основе. Для пайки в печи используется паяльная паста.

Было решено разработать корпус, пропускающий через себя часть света, чтобы синяя подсветка внутри корпуса освещала не только ГРИ, но и сам корпус. АБС-пластик является для этого хорошим решением. Также его легко распечатать на 3D-принтере. Корпус в собранном виде представлен на рисунке 7.

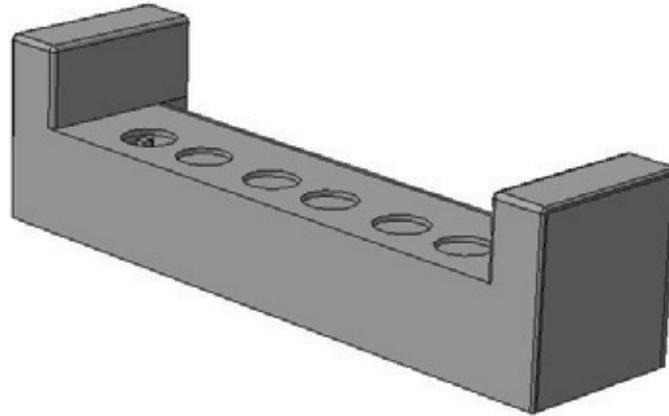


Рис. 7. 3D-модель корпуса в собранном виде

### 3. Технологическое проектирование часов на газоразрядных индикаторах

Схема сборки необходима для описания последовательности основных сборочных операций и служит источником данных для разработки маршрутного ТП.

Для сборки и монтажа устройства используется общая схема сборки с базовой деталью. В качестве базовой детали для сборки устройства выбирается нижняя часть кор-

пуса, на которую устанавливаются ячейки электронные. Схема сборки разработана согласно требованиям ГОСТ 23887–79 [8]. Общая схема сборки часов на газоразрядных индикаторах представлена на рисунке 8.

### 4. Внешний вид часов на газоразрядных индикаторах

На рисунках 9–12 представлен внешний вид устройства

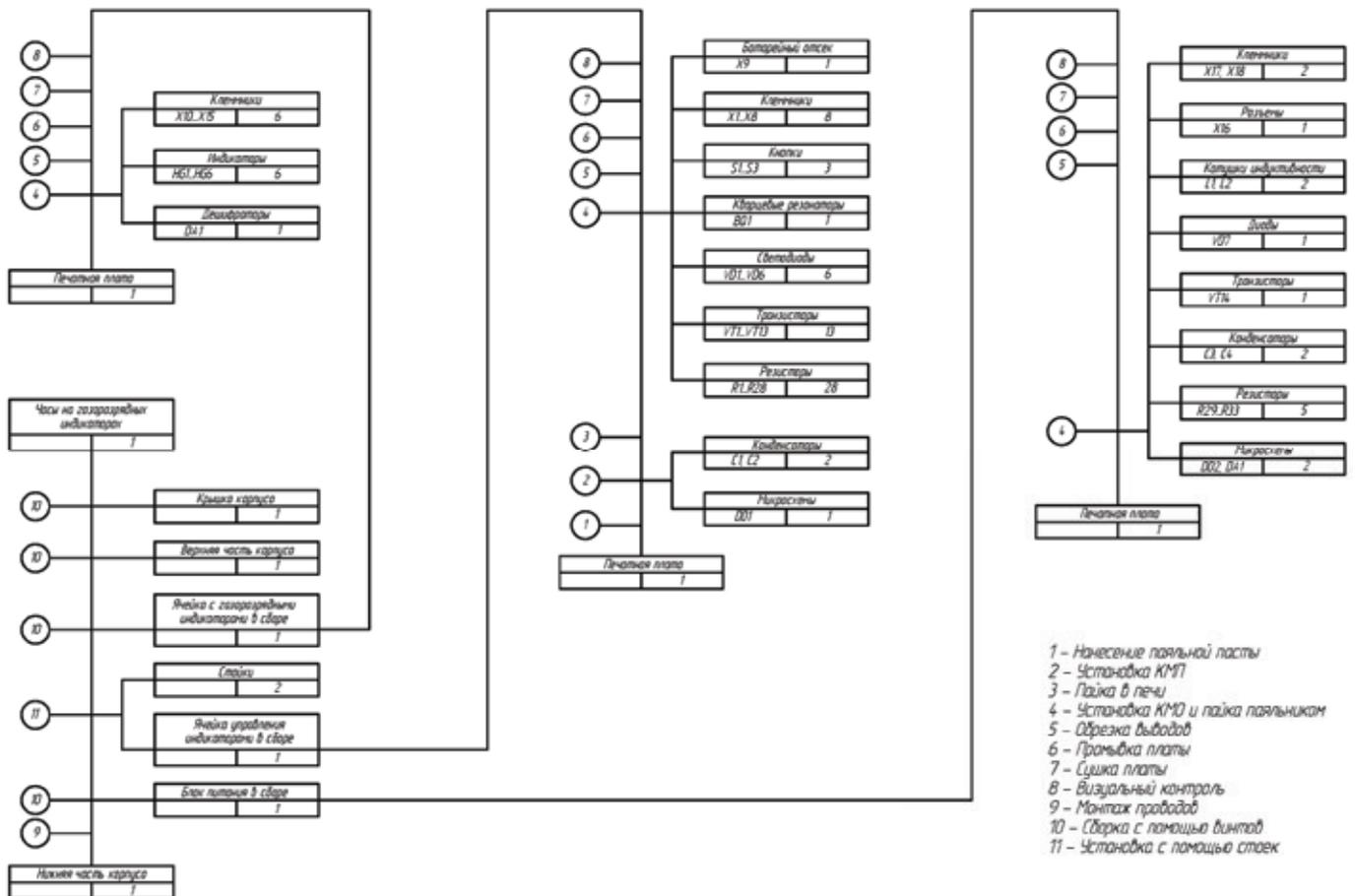


Рис. 8. Общая схема сборки часов на газоразрядных индикаторах

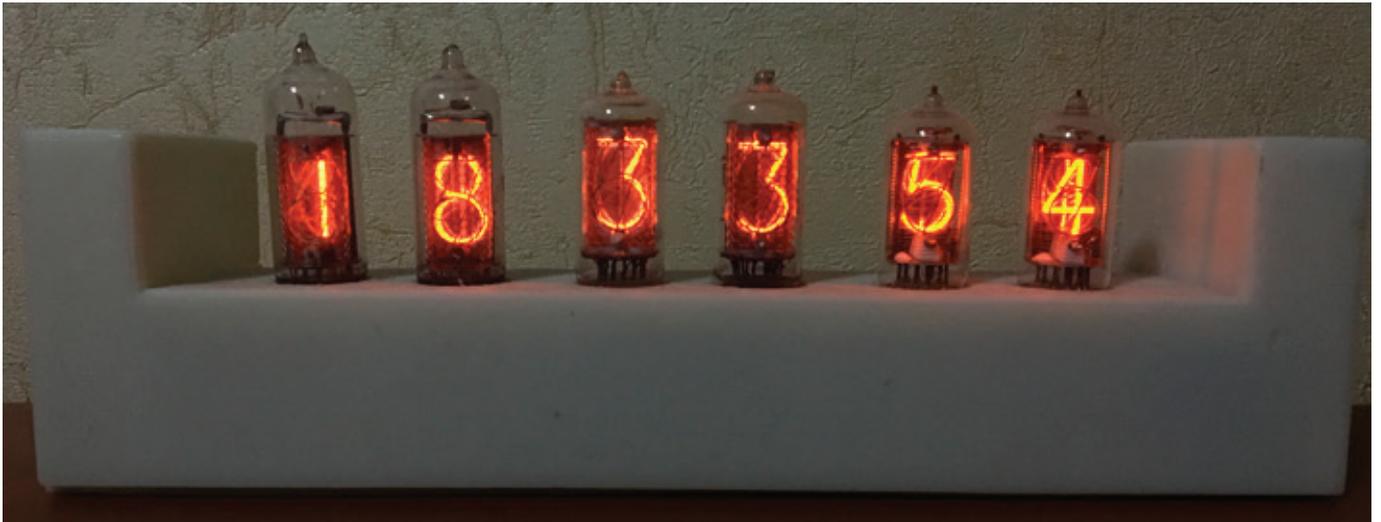


Рис. 9. Вид спереди

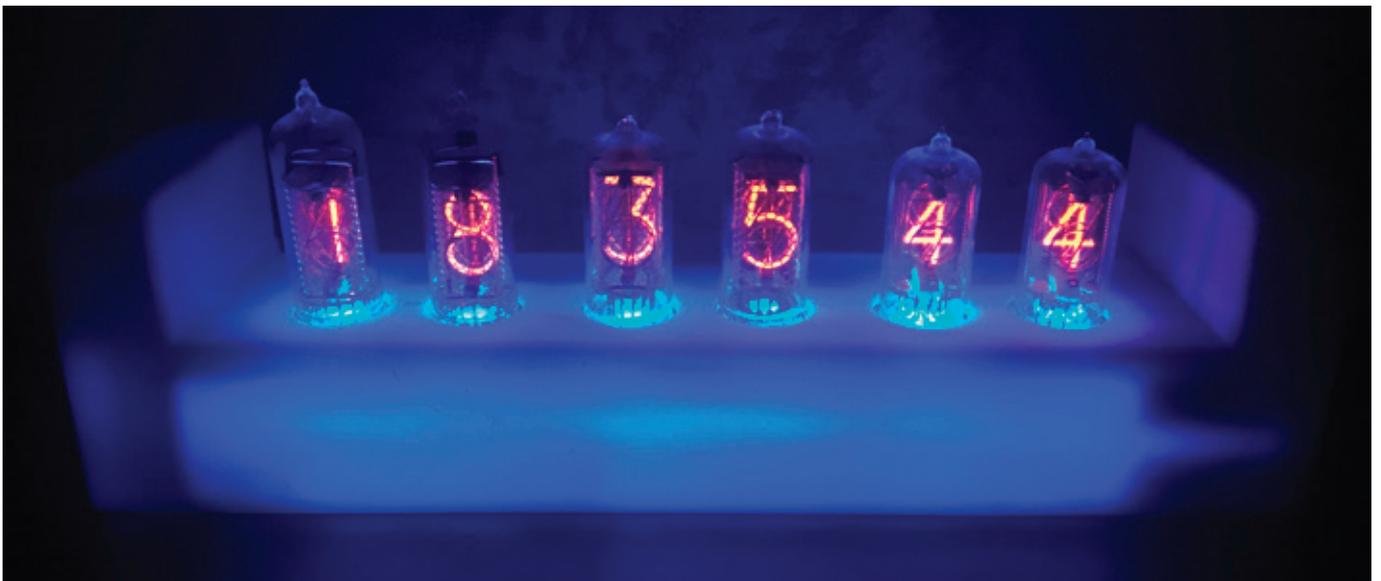


Рис. 10. Вид спереди с диодной подсветкой



Рис. 11. Вид сзади



Рис. 12. Вид спереди без задней крышки и верхней части корпуса

### Заключение

На сегодняшний день довольно легко достать материалы, требующиеся для создания подобного устройства в домашних условиях. В данном устройстве исключением являются основные элементы — газоразрядные индикаторы, которые уже давно не выпускаются, и купить их можно по завышенной цене или б/у по низкой цене.

Данное устройство возможно усовершенствовать, добавив аккумулятор в левую часть корпуса и повысив КПД источника питания хотя бы на тот случай, если прекратится электроснабжение помещения, где часы подключены в сеть.

Часы на газоразрядных индикаторах, на мой взгляд, будут смотреться хорошо независимо от того, какой интерьер в помещении и где они стоят.

### Литература:

1. История часов: С древнейших времен до наших дней / В. Н. Пипуныров — М.: Наука, 1982. — 496 с.
2. ГОСТ 2.702–75 «Правила выполнения электрических схем».
3. ГОСТ 2.701–84 «Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению».
4. ГОСТ 2.708–81 «Правила выполнения электрических схем цифровой вычислительной техники».
5. ГОСТ 2.728–74 «Обозначения условные графические в схемах. Резисторы, конденсаторы».
6. ГОСТ 2.730–73 «Приборы полупроводниковые».
7. ГОСТ 2.417–91 «Платы печатные. Правила выполнения чертежей».
8. ГОСТ 23887–79 «Сборка. Термины и определения».
9. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры/ А. И. Власов, Л. В. Журавлева и др.; Под общ ред. В. А. Шахнова, Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005
10. Компьютерная инженерная графика/ В. Н. Аверин, учебное пособие, 2012
11. Altium Designer. Проектирование функциональных узлов РЭС на печатных платах/ В. Ю. Суходольский
12. RM0008 Reference manual / STMicroelectronics Electronic Components Datasheet, November, 2015. — 1136 с.
13. Современные 32-разрядные ARM-микроконтроллеры серии STM32: часы реального времени RTC / О. Вальпа — Современная электроника № 2, 2014. — 84 с.

## Анализ температурного профиля пайки оплавлением

Макеева Екатерина Андреевна, магистрант

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана

*Данная статья посвящена анализу проблем, возникающих при поверхностном монтаже во время пайки оплавлением на каждой стадии процесса. Рассмотрены причины возникновения дефектов паяных соединений, предложены рекомендации по их устранению.*

**Ключевые слова:** *поверхностный монтаж, дефекты, пайка оплавлением*

## Analysis of the temperature profile of reflow soldering

Makeeva E. A.

Bauman Moscow state technical University

*This article is devoted to analysis of problems arising in SMT Assembly during reflow soldering at each stage of the process. The causes of defects of soldered connections, recommendations on their elimination.*

**Key words:** surface mount, defects, reflow soldering

Поверхностный монтаж печатных плат появился в 60-х годах XX века и получил широкое развитие в конце 80-х годов. Данная технология является наиболее распространенным на сегодняшний день методом конструирования и сборки электронных узлов на печатных платах. Основным ее отличием от «традиционной» технологии монтажа в отверстия является то, что компоненты монтируются на поверхность печатной платы, однако преимущества технологии поверхностного монтажа печатных плат проявляются благодаря комплексу особенностей элементной базы, методов конструирования и технологических приемов изготовления печатных узлов.

Оплавление паяльной пасты является основным методом соединения при сборке печатных узлов по технологии поверхностного монтажа. При правильной технологии процесса пайки оплавлением обеспечивает высокий выход годной продукции и низкую себестоимость. Температурный профиль пайки является наиболее важным фактором, определяющим уровень дефектов оплавления. Типичный температурный профиль пайки представлен на рисунке 1.

Как видно из рисунка, температурный профиль состоит из четырех основных стадий: предварительный нагрев, стабилизация (зона температурного выравнивания), оплавление, охлаждение. Каждая из стадий оказывает влияние на результаты пайки и наличие дефектов.

### Стадия предварительного нагрева

Данный этап позволяет снизить тепловой удар на электронные компоненты и печатные платы. В процессе предварительного нагрева происходит испарение растворителя из паяльной пасты.

При использовании паяльных паст для «свинцовой» технологии (на основе сплавов Sn62/Pb36/Ag2 и Sn63/Pb37) предварительный нагрев рекомендуется осуществлять до температуры 95–130°C, скорость повышения температуры для традиционного профиля 2–4°C/с, для нового — 0,5–1°C/с.

Возможные дефекты пайки, возникающие в результате неправильной технологии предварительного нагрева, а также способы их предотвращения представлены в таблице 1.

### Стадия стабилизации

Стадия стабилизации позволяет активизировать флюсующую составляющую и удалить избыток влаги из паяльной пасты. Повышение температуры на этой стадии происходит очень медленно. Стадию стабилизации также называют стадией температурного выравнивания, так как эта стадия должна обеспечивать нагрев всех компонентов на плате до одинаковой температуры, что предотвращает повреждение компонентов за счет теплового удара.

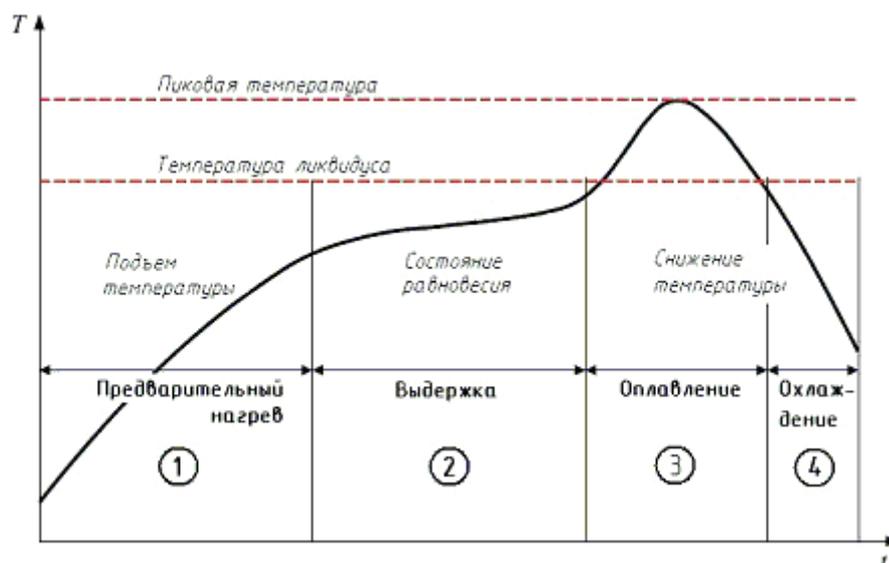


Рис. 1. Температурный профиль пайки оплавлением

Таблица 1. Дефекты, возникающие на стадии предварительного нагрева

Дефект	Причина	Способ предотвращения
Расползание пасты	Снижение вязкости при увеличении температуры	Медленное нарастание температуры для постепенного испарения растворителей до слишком сильного снижения вязкости
Образование перемычек	Расползание пасты	
Образование бусинок припоя	Интенсивная дегазация флюса	Медленное нарастание температуры перед оплавлением для снижения интенсивности газовыделений из паяльной пасты
Капиллярное затекание припоя	Температура выводов больше, чем температура печатной платы	Медленное нарастание температуры, чтобы позволить плате и компонентам достичь одинаковой температуры перед оплавлением припоя; более интенсивный нагрев снизу
Эффект «надгробного камня»	Неравномерное смачивание с разных концов чип-компонента	Медленное нарастание температуры вблизи точки плавления припоя для минимизации разброса температур около чип-компонента
Сдвиг компонента		
Образование шариков припоя	Разбрызгивание припоя	Медленное нарастание температуры для постепенного нарастания растворителей в паяльной пасте и влаги
Плохое смачивание	Чрезмерное окисление	Минимизация подводимого тепла до достижения температуры пайки (минимизация зоны стабилизации или использование профиля с линейным нарастанием от комнатной температуры до точки плавления припоя) для снижения окисления
Образование пустот	Чрезмерное окисление	
	Оставшиеся составляющие флюса имеют слишком высокую вязкость	Профиль пайки с более низкой температурой для того, чтобы сохранить большее количество растворителя в оставшемся флюсе
Отсутствие контакта	Капиллярное затекание припоя на выводы компонентов	Медленное нарастание температуры, чтобы позволить плате и компонентам достичь одинаковой температуры перед оплавлением припоя; более интенсивный нагрев снизу
	Отсутствие смачивания	

Максимальная активация флюса происходит при температуре около 150°C. Рекомендуемое время стабилизации для традиционного профиля составляет 90–150 с. В новом профиле время стабилизации 30 с считается достаточным. В конце зоны стабилизации температура обычно достигает 150–170°C.

#### Стадия оплавления

На стадии оплавления температура повышается до расплавления припоя пасты и происходит формирование паяного соединения.

Для образования надежного паяного соединения максимальная температура пайки должна на 30–40°C превышать точку плавления паяльной пасты и составлять 205–225°C (на плате). Время, в течение которого печатная плата находится выше точки плавления (179–183°C), должно быть в пределах 30–90 с, предпочтительно не более 60 с. Скорость повышения температуры в зоне оплавления должна составлять 2–4°C/с.

#### Стадия охлаждения

Для обеспечения максимальной прочности паяных соединений скорость охлаждения должна стремиться к мак-

Таблица 2. Дефекты, возникающие на стадии охлаждения

Дефект	Причина	Способ предотвращения
Рост интерметаллических соединений	Слишком высокий уровень подводимого тепла выше точки плавления припоя	Снижение максимальной температуры, сокращение продолжительности стадии пайки
Крупнозернистая структура	Эффект отжига из-за низкой скорости охлаждения	Более быстрое охлаждение
Растрескивание компонента	Слишком высокое внутреннее напряжение из-за высокой скорости изменения температуры	Невысокая скорость изменения температуры
Отслоение припоя или контактной площадки	Большое механическое напряжение из-за несоответствия коэффициентов теплового расширения	Более медленное охлаждение

симально допустимой. Рекомендуемая скорость охлаждения 3–4°C/с до температуры ниже 130°C. В результате нарушения температуры и времени охлаждения могут возникнуть дефекты, представленные в таблице 2.

### Заключение

Профиль пайки разрабатывается на основе анализа механизмов возникновения дефектов для оптимизации эффективности пайки. Медленное нарастание температуры желательнее для минимизации расползания паяльной пасты, образования перемычек, эффекта надгробного камня, сдвига компонентов, капиллярного

затекания припоя на вывод, образования перемычек, образования бусинок припоя, образования шариков припоя и растрескивания компонентов. Минимальная продолжительность стадии стабилизации снижает вероятность появления пустот, плохого смачивания, образования шариков припоя и отсутствия контакта. Медленное охлаждение уменьшает вероятность отслоения припоя или контактных площадок.

Таким образом, оптимальный профиль требует медленного нарастания температуры до 180°C, дальнейшего нарастания температуры до 186°C примерно за 30 с, затем быстрого повышения температуры до 220°C и интенсивного охлаждения.

Литература:

1. Нинг-Ченг Ли. Технология пайки оплавлением, поиск и устранение дефектов: поверхностный монтаж, BGA, CSP и flip chip технологии. — М.: ИД «Технологии», 2006 г., 392 с.
2. Архипов А. В. Технологии поверхностного монтажа: электрон. учеб. пособие — Самара, 2011 г., 85 с.

## Новые технологии в строительстве частных домов

Медведева Мария Сергеевна, студент

Волгодонский инженерно-технический институт, филиал НИЯУ МИФИ (Ростовская обл.)

Семенченко Иван Юрьевич, студент

Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону)

В настоящее время существует достаточно много технологий строительства, позволяющих строить здания и сооружения, удовлетворяющие требованиям заказчика. К частным домам предъявляются повышенные требования, так как необходимо обеспечить комфортное проживание без негативных влияний на здоровье человека. Главная тенденция в современном строительстве — постройка качественных и безопасных зданий в наиболее короткие сроки. В данной статье приводится обзор новых технологий в строительстве частных домов.

### Обзор новых технологий строительства

#### Несъемная опалубка из пенополистирола

Данная технология предполагает использование в качестве несъемной опалубки полых блоков из пенополистирола, не поддерживающего горения (ПСВ-С). Обычно, такие блоки имеют размеры 100x25x25 см и соединяются с помощью соединения «шип-паз». Сначала укладывают 4–5 рядов таких блоков, затем во внутреннее пространство устанавливается арматура и заливается бетоном. В дальнейшем, опять укладываются 4–5 рядов блоков несъемной опалубки и снова заливается бетон. Толщина армированного слоя бетона составляет около 15 см, что вполне достаточно для обеспечения надежности конструкции.

Достоинства технологии:

- Короткие сроки строительства
- Небольшой вес блоков, простота монтажа
- Не требуется дополнительная теплоизоляция

Недостатки:

- Стены воздухонепроницаемы, требуется вентиляция
- Требуется относительно большой объем бетона и арматуры

#### Технология *Velox*

Эта технология предполагает использование несъемной опалубки, но уже не из пенополистирольных блоков, а из цементно-стружечных плит с заполнением ее армированным бетоном. Причем наружная плита изнутри утепляется слоем пенополистирола (150 мм). Как правило, такие плиты имеют размеры 200x50 см и толщину 25–35 мм. Состав плит такой несъемной опалубки следующий: древесная щепа, соединенная цементным раствором с добавкой жидкого стекла. Последнее препятствует впитыванию в плиту влаги из бетона.

Плиты монтируются по периметру фундамента в виде опалубки и закрепляются металлическими стержнями так, что между ними остается пространство, около 150 мм, для бетона (рис. 3). В это пространство укладывается арматура и заливается бетон. Потом монтируется следующий

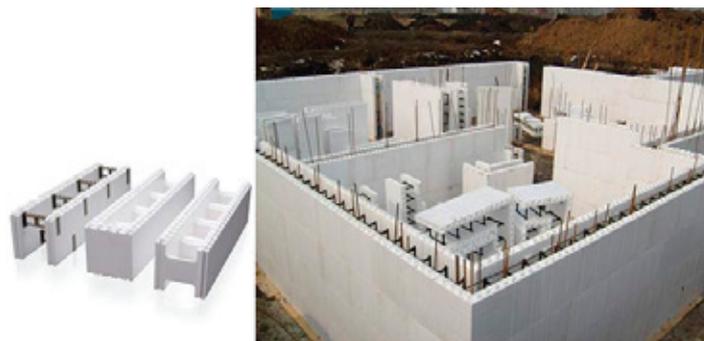


Рис. 1. Несъемная опалубка из пенополистирола



Рис. 2. Технология Velox



Рис. 3. Монтаж плит

ряд несъемной опалубки. В результате получается монолитная армированная бетонная стена, утепленная снаружи слоем пенополистирола и покрытую с двух сторон плитами из древесной щепы

Преимущества технологии:

- Небольшая толщина стены (32–40 см), которая не требует дополнительного утепления
- Высокая скорость строительства
- Относительно низкая стоимость
- Стены довольно прочные
- Поверхность стен ровная и легко отделяется

Недостатки:

– Требуется относительно большой объем бетона и арматуры для стен

– Внутренняя часть стен из монолитного бетона, имеющего плохую проницаемость воздуха, необходима хорошая вентиляция

#### ***Технология легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК)***

Данная технология предполагает использование разных тонкостенных профилей из оцинкованного металла для изготовления каркаса здания. Такой каркас яв-



Рис. 4. Технология (ЛСТК)

ляется основанием стен-термопанелей из современных материалов с хорошими теплоизоляционными свойствами (например, газобетона).

Достоинства технологии:

- Каркас дома из ЛСТК не подвержен усадке и гниению
- Низкая стоимость
- Экологичность
- Возможность увеличения размера проемов между несущими элементами
- Использование любых облицовочных или кровельных материалов

Недостатки:

Литература:

1. Теличенко В.И. Технология строительных процессов [Текст]: учеб. для строит. вузов: В 2 ч. Ч. 2 / В.И. Теличенко, А.А. Лapidус, О.М. Терентьев. — М.: Высш. Шк., 2003. — 392 с.
2. Строительное материаловедение [Текст]: учеб. пособие для вузов / под ред. В.А. Невского. — Изд. 3-е, доп. и перераб. — Ростов н/Д: Феникс, 2010. — 589 с.: ил. — (Высшее образование)
3. Евстифеев, В.Г. Железобетонные и каменные конструкции [Текст]: учеб. для вузов: в 2 ч. Ч. 1: Железобетонные конструкции / В.Г. Евстифеев. — Москва: Академия, 2011. — 432 с.

- Низкий срок службы
- Сложность конструкции
- Малая несущая прочность

#### Заключение

Таким образом, существует достаточное количество новых методов строительства частных домов со своими достоинствами и недостатками. При выборе необходимо учитывать требования заказчика, материальную обеспеченность, планируемый срок службы и условия эксплуатации.

## Разработка защитной схемы для датчика давления, установленного на корабле

Минин Давид Саркисович, студент  
Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана

Защитные схемы используются повсеместно. Бывает, что на какое-либо устройство подаётся напряжение выше допустимого. Такое может произойти из-за различных факторов, например неисправность источника питания, либо удар молнии. В то же время очень часто перенапряжение вызывает статическое электричество, которое повышает напряжение на металлоконструкции, проводниках или элементах электронных схем. А это повышение в свою оче-

редь может многократно превышать напряжение питания электронных схем. Вследствие чего разрабатываются защитные схемы, которые спасают от перенапряжения различные устройства, на которые установлена данная схема.

**Актуальность работы:** создание защитных схем небольших габаритов и с учётом индивидуальных особенностей нужного устройства. Создание схем с широким диапазоном недопустимых напряжений.

Целью работы является исследование работы защитной схемы для датчика давления на корабле.

Научная и практическая новизна работы заключается в разработке защитной схемы для конкретного устройства, а также уменьшенные габариты.

Практическая ценность работы заключается в защите от перегрузок внутри схемы датчика давления и защиты самого датчика от разрушения.

Результатом работы является разработка защитной схемы для датчика давления, изучение её основных элементов и проверка её работоспособности.

## 1. Перенапряжение

В нашей повседневной среде невозможно обойтись без статического электричества. Само явление объясняется возникновению на поверхности проводников и накоплением свободных электрических зарядов. Статическое напряжение вызывает импульсы тока, которые ведут к выходу устройства из строя, вследствие чего разрабатывают специальные схемы, которые могли бы уберечь от скачков напряжения.

Также перенапряжение могут вызвать грозовые разряды. Перепадом напряжения называют случайные пульсации напряжения на большую амплитуду, чем амплитуда рабочего напряжения. Такие перепады длятся от нескольких наносекунд до нескольких миллисекунд, чего достаточно для выхода из строя оборудования.

## 2. Способы защиты электроники от перенапряжения

Чтобы уберечь устройство от перенапряжения, используют защитные схемы, которые состоят из элементов активной защиты. Например TVS-диоды (transient voltage suppressors), также называемые супрессорами, варисторы, TVS-тиристоры и разрядники.

Защитные схемы должны выполнять ряд функций:

- отводить скачок напряжения от устройства;
- фиксация напряжения ниже максимально возможной для требуемого устройства;
- возврат к рабочему режиму без ухудшения функционирования.

Защитная схема должна обладать быстрым временем реакции и малыми габаритами.

## 3. Изучение защитной схемы для датчика давления

В данной работе рассматривается защитная схема для датчика давления. В схеме использовались TVS-диоды и варисторы. В модификации для борьбы с грозовыми разрядами также используется разрядник.

### 3.1. TVS-диоды, варисторы и разрядники

TVS-диод — это полупроводниковый диод, который работает на обратной ветви ВАХ с лавинным пробоем или на прямой ветви ВАХ. Предназначен для защиты от перенапряжения интегральных схем.

Одним из важных плюсов TVS-диодов является их быстрое время реакции. Это время составляет несколько пикосекунд. Но есть минус: технология TVS-диодов не позволяет делать их достаточно эффективными при напряжении ниже 5 вольт.

В данной работе используется диод с напряжением срабатывания 30 вольт, то есть при напряжении до 30 вольт диод работает в режиме высокоимпедансной нагрузки. В тот момент, когда напряжение превышает рабочее напряжение цепи, сопротивление ограничителя понижается, и ток начинает течь через ограничитель. Когда напряжение возвращается в своё нормальное состояние, ограничитель начинает опять работать в высокоимпедансном режиме.

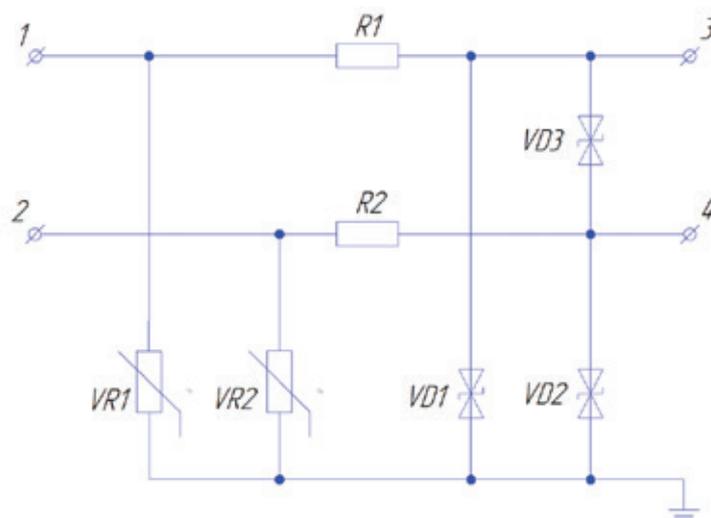


Рис. 1. Принципиальная схема защитной схемы

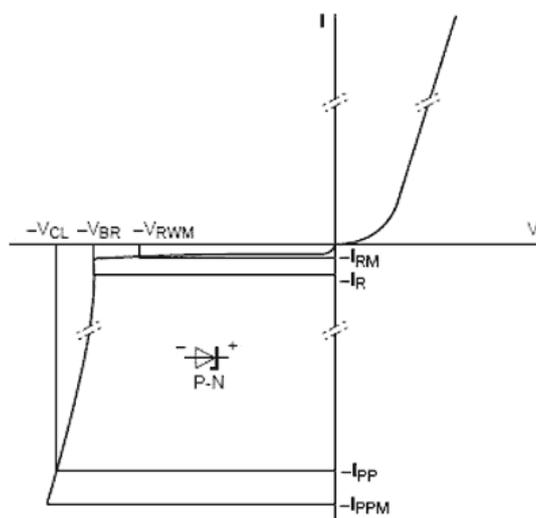


Рис. 2. ВАХ TVS-диода

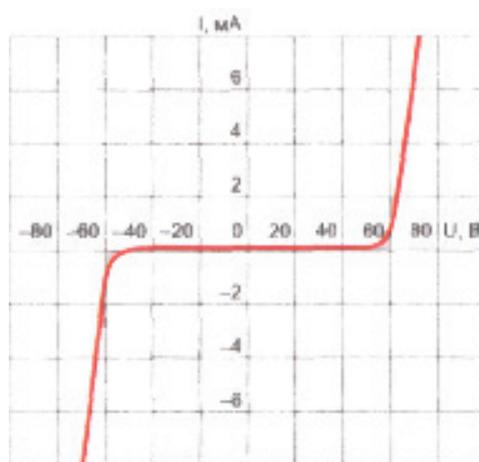


Рис. 3. ВАХ варистора

Также в схеме используются варисторы. Варистор — это нелинейный резистор, который зависит от приложенного к нему напряжения.

Отличительной чертой варистора является двухсторонняя симметричная нелинейная ВАХ.

В работе используются как ограничители верхнего порога тока. В данном случае напряжение срабатывания 125В. То есть, когда напряжение меньше напряжения срабатывания, варистор работает как резистор с большим сопротивлением. Как только напряжение становится выше, варистор снижает своё сопротивление до близкому к нулю, вследствие чего образуется короткое замыкание и отключение самой цепи, без разрушения самого датчика.

Плюсами является низкая цена и высокое значение допустимого тока, но при этом ограниченный срок службы и высокое напряжение ограничения.

Данную схему можно модифицировать и добавить в неё разрядник. Разрядник, это элемент, который спасает от перенапряжения из-за атмосферных явлений, например грозы. Состоит из керамической трубки, за-

полненной инертными газами. Плюс в том, что может выдержать очень большую нагрузку до десятков килоампер, но минусом является большое время срабатывания, из-за чего рациональнее всего использовать его вместе с TVS-диодами.

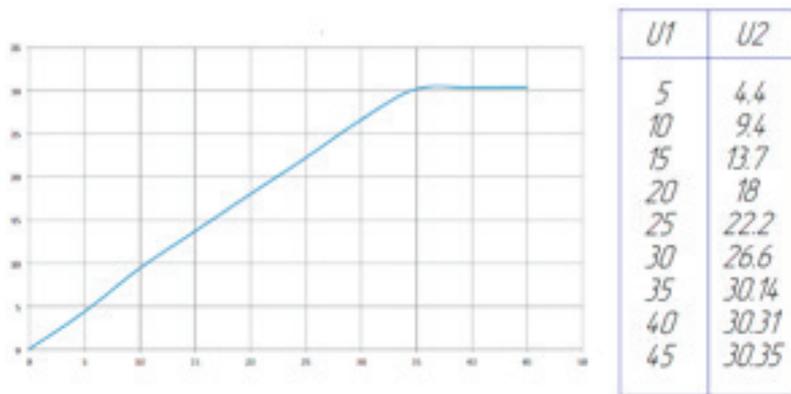
#### 4. Эксперимент

После разработки был проведён эксперимент, в котором была проверена работоспособность защитной схемы и её возможность предохранять от перенапряжения.

В ходе эксперимента был подключён источник питания на вход и вольтметр на выход. Результаты исследования отображены на рисунке 4, где изображена зависимость входного напряжения от выходного.

#### Заключение

Как видно из графика, при подаче напряжения больше 30В напряжение на выходе не превышает 30В, как и тре-

Рис. 4. График зависимости  $U_{вх}$  и  $U_{вых}$ 

бывалось по условиям работы датчика. Оптимальным вариантом разработки схем является использование комбинирование TVS-диодов и разрядников, так как этот вариант

защиты спасёт от выхода из строя датчик в любой ситуации. Применение защитных схем позволит предохранить зачастую важные и дорогостоящие элементы от разрушения.

Литература:

1. Кучиев Л. Н., Пожидаев Е. Д. Защита электронных средств от воздействия статического электричества. — М.: ИД «Технологии», 2005. — 354 с.

## Алгоритм проектирования гибких трубчатых элементов рабочих органов почвообрабатывающих машин

Михайлов Виталий Михайлович, аспирант;  
Колмакова Татьяна Григорьевна, преподаватель;  
Устинов Николай Николаевич, доцент  
Государственный аграрный университет Северного Зауралья (г. Тюмень)

Применение гидравлических приводов для формирования движения рабочих органов почвообрабатывающих машин ограничивается отсутствием силовых элементов, позволяющих работать в условиях значительного загрязнения, поэтому разработка рабочих органов, позволяющих формировать воздействие на почву, и не имеющих узлов, работающих в условиях внешнего трения, является актуальной задачей.

Для решения данной проблемы предложены конструкции рабочих органа почвообрабатывающих машин [1, 2, 3, 4] стойки которых выполнены в виде гибких трубчатых элементов, представляющих собой герметичные трубы некруглого поперечного сечения.

Напряженно-деформированное состояние и технические параметры гибкого трубчатого элемента зависят от следующих параметров: формы средней линии поперечного сечения; толщины стенки; радиуса центральной оси; величины центрального угла пружины; физико-механических характеристик материала. При проектировании гибких трубчатых элементов приходится иметь дело с задачей подбора геометрии сечения трубчатого элемента при

условиях наложенных на остальные геометрические параметры, а так же на величины технических характеристик.

Гибкий трубчатый элемент проектируется для работы в заданном диапазоне давлений, от некоторого начального значения до некоторого предельного значения, при этом должно выполняться условие прочности:

$$\sigma_{\text{экв. max}} \leq [\sigma] \quad (1)$$

Варианты элементов не удовлетворяющие данному условию должны быть исключены из рассмотрения.

При поиске варианта формы и размеров поперечного сечения необходимо предусмотреть возможность изготовления элемента из стандартной трубки-заготовки. Здесь для удобства контроля поперечных размеров трубки необходимо перейти от размеров, используемых для теоретических расчетов, к размерам которые легко контролировать при изготовлении (см. рис. 1).

Величину диаметра пружины, либо радиус центральной оси необходимо выбирать исходя из компоновки рабочего органа.

При выборе значений центрального угла пружины необходимо учитывать нерабочие участки пружины у держа-

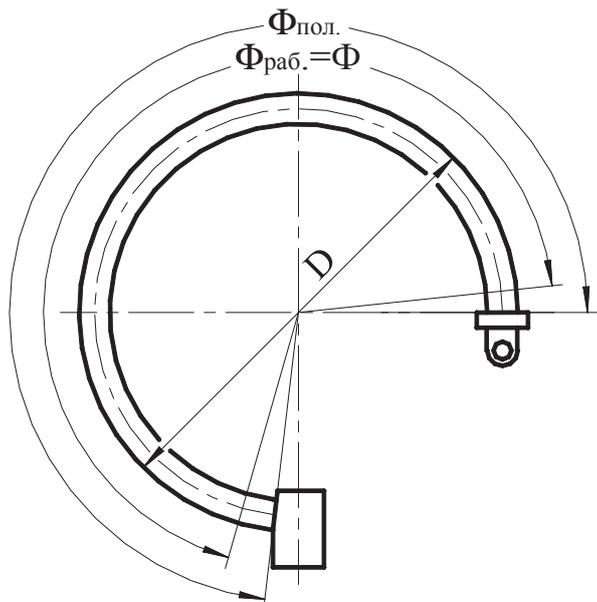


Рис. 1. Геометрические параметры проектируемых трубчатых элементов

теля и кончика. Следует различать рабочий центральный угол пружины  $\Phi_{раб.}$  и полный центральный угол пружины  $\Phi_{пол.}$  (см. рис. 1). Согласно экспериментальным данным Г.И. Тыжнова [5] величина рабочего центрального угла приближенно может быть определена по формуле:

$$\Phi_{раб.} = \Phi \approx \Phi_{пол.} - 16^\circ.$$

Величину свободного хода пружины  $\lambda_p$  необходимо выбирать из заданного интервала  $\lambda_{p.min} \dots \lambda_{p.max}$ :

$$\lambda_{p.min} \leq \lambda_p \leq \lambda_{p.max} \quad (2)$$

Рассмотрим подробно решение задачи выбора оптимального варианта конструкции гибкого трубчатого элемента.

Наилучшей конструкцией трубчатого элемента будет та, которая удовлетворяет одновременно двум критериям:

$$M_m(k) \rightarrow \max \quad (3)$$

$$G(k) \rightarrow \max \quad (4)$$

Где:  $k$  — вектор конструктивных характеристик проектируемой пружины;  $M_m$  — тяговый момент развиваемый трубчатым элементом;  $G$  — изгибная жесткость гибкого трубчатого элемента.

Таким образом, задача выбора оптимального варианта конструкции содержит неопределенность, так как необходимо выбрать вектор конструктивных характеристик  $k$  удовлетворяющий условиям (3), (4).

Для решения данной задачи рассмотрим широко используемую гипотезу, позволяющую свести многокритериальную задачу к однокритериальной [6]. Предположим, что решение системы однокритериальных задач (3), (4) найдено, при этом определены значения векторов  $k_G, k_M$ ,

доставляющие максимальные значения соответственно критериям  $G(k), M(k)$ :

$$G(k_G) = G, \quad M_m(k_A) = M_m \quad (5)$$

Совокупность величин  $G$ , определяет в пространстве критериев некоторую точку, так называемую точку «абсолютного максимума». Тогда скалярная величина

$$f = \sqrt{(G(k) - G)^2 + (M_m(k) - M_m)^2} \quad (6)$$

определяет в пространстве критериев некоторое расстояние от точки, соответствующей данному вектору  $k$ , до точки «абсолютного максимума». Иными словами выражение (6) определяет евклидово расстояние от точки  $(G(k), M_m(k))$  до точки  $(G, M_m)$  в пространстве критериев.

Принимая в качестве нового критерия функцию (6) и определяя вектор  $k$  соответствующий условию:

$$f \rightarrow \min \quad (7)$$

Находим конструкцию пружины с параметрами  $G, M_m$  предельно близкими к точке «абсолютного максимума».

При фиксированном значении степени вытянутости сечения  $A/b$  решение задачи отыскания оптимального варианта конструкции с учетом условий (3), (4) упрощается. Это достигается, во-первых, за счет выбора формы поперечного сечения с оптимальными свойствами в плане изгибной жесткости, чувствительности, тяговой способности. Иными словами, при поиске вариантов форм сечения, которые могут быть изготовлены из трубок-заготовок диаметра  $d$  с различной толщиной стенки  $h$  при заданной степени вытянутости сечения  $A/b$ , необходимо рассматривать варианты сечений в определенном диапазоне значений  $V/B_1$ , которые обеспечат, например, наи-

большую изгибную жесткость. Во-вторых, при выборе вариантов конструкции из созданной базы данных трубчатых элементов с определенными свойствами, конструктор так же имеет возможность оптимизировать конструкцию в разных направлениях.

Таким образом, алгоритм проектирования гибких трубчатых элементов необходимо построить следующим образом:

1. Для стандартной трубки-заготовки при известных значениях  $h, d, A$  подбираются возможные варианты ге-

ометрия сечения, то есть для заданной степени вытянутости сечения определяются все возможные варианты параметров  $A/B$  и  $V/V_1$ . Графически указанная процедура показана на рис. 2.

2. Из найденных вариантов геометрии трубчатого элемента при фиксированных значениях  $D, d, A, p_{ном}$  определить форму поперечного сечения, которая удовлетворяет условию прочности (см. рис. 3).

3. Для найденного варианта трубчатого элемента, удовлетворяющего условию прочности, определить вели-

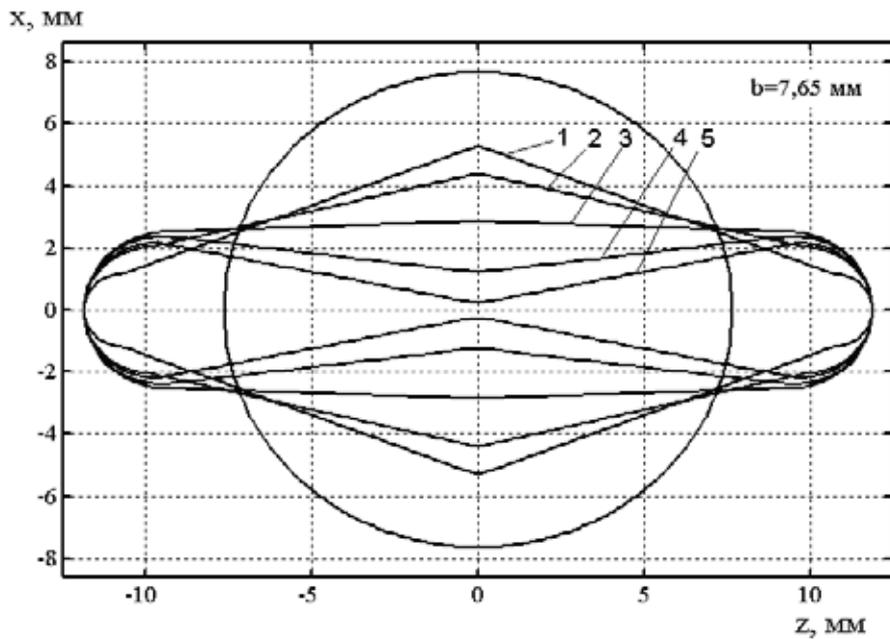


Рис. 2. Варианты геометрии сечения пружины при  $d=16$  мм,  $A/b=1,4$

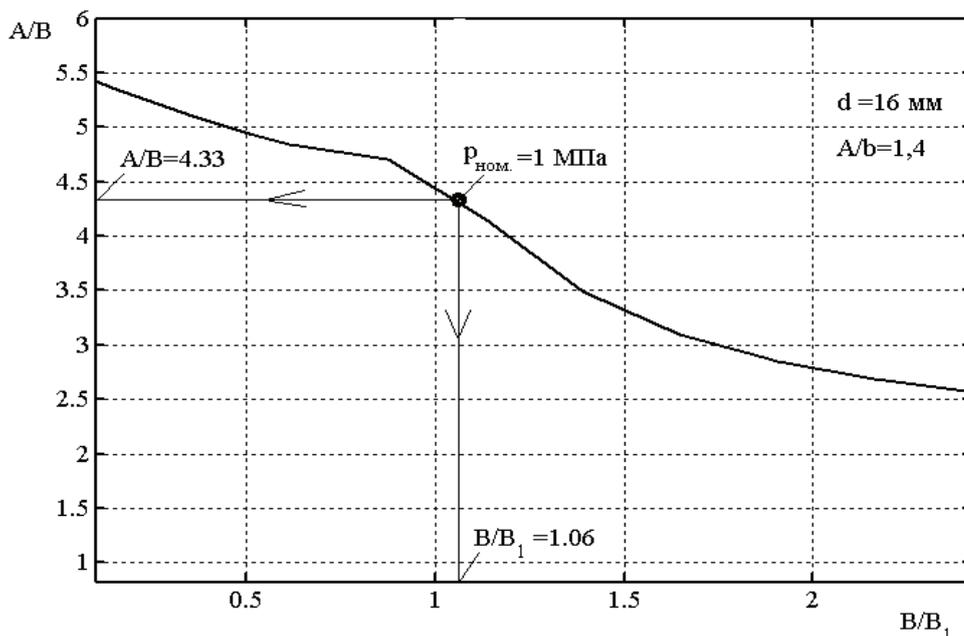


Рис. 3. Определение параметров сечения  $A/B$  и  $V/V_1$  удовлетворяющих условию прочности

чину рабочего хода  $\lambda_p$  и проверить попадает ли найденное значение в интервал  $\lambda_{p,\min} \dots \lambda_{p,\max}$ .

4. Рассматривая возможность изготовления трубчатых элементов из трубок-заготовок различного диаметра  $d$  и толщины стенки  $h$ , а так же меняя значения степени вытянутости сечения  $A/b$ , наружного диаметра  $D$ , рабочего центрального угла  $\Phi_{\text{раб}}$  в заданном диапазоне, необходимо создать базу данных трубчатых элементов на заданное давление с величиной рабочего хода в интервале

от  $\lambda_{p,\min}$  до  $\lambda_{p,\max}$ , посредством многократного повторения вышеописанных операций.

5. Из множества конструктивных решений выбрать оптимальный вариант.

Таким образом, предложен алгоритм, позволяющий подбирать геометрические размеры гибкого трубчатого элемента с учетом требований, предъявляемых к техническим параметрам рабочего органа почвообрабатывающей машины.

#### Литература:

1. Устинов Н.Н. Математическая модель активного рабочего органа культиватора со стойкой в виде гибкого трубчатого элемента / Н.Н. Устинов, А.А. Маратканов, Н.И. Смолин // Современные проблемы науки и образования. — 2015. — № 1; URL: <http://www.science-education.ru/121-17908> (дата обращения: 18.03.2015).
2. Маратканов А.А. Экспериментальное определение характеристик активного рабочего органа культиватора со стойкой в виде гибкого трубчатого элемента / А.А. Маратканов, Н.Н. Устинов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. — 2015. — № 4(126). — С. 102–105.
3. Устинов Н.Н. Рабочий орган культиватора / Сельский механизатор. — 2015. — № 12. — С. 30–31.
4. Пат. 2009136304 А, Российская Федерация. МПК А01В 39/20, А01В 35/20. Рабочий орган культиватора [Текст] / Устинов Н.Н., Кокошин С.Н., Смолин Н.И. Заявители и патентообладатели: ФГОУ ВПО «Тюменская государственная сельскохозяйственная академия» (RU). — 2009136304/21; заявл. 30.09.2009; опубл. 20.09.2011. Бюл. № 14. — 3 с.: ил.
5. Тыжнов Г.И. Деформации и напряжения в трубчатых манометрических пружинах. — Дис. канд. тех. наук: 01.02.06 / Томский ордена Трудового Красного Знамени политехнический институт имени С.М. Кирова. — Томск, 1964. — 185 с.
6. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. — М.: Наука, 1981. — 488 с.

## Use of *Moringa oleifera* seeds as natural coagulant for water purification in Viet Nam

Nguyen Thanh Hoa, Master  
Thuy Loi University, Hanoi, Vietnam

*This study was carried out to confirm the effectiveness of powder extracted from mature dried Moringa oleifera (M. oleifera) seeds which is commonly available in most rural communities of Viet Nam in drinking water treatment. The optimal dose of M. oleifera seeds was 200–300 mg/l for both artificial water sample and Red river water sample which have Tss range 30–400 mg/l. In the process of coagulation and flocculation using M. oleifera powder do not change the pH of water, the pH values (6.9–7.6) obtained for the treatments were in the recommended range set by WHO. Also, after coagulation process, the total coliform contaminated in three samples of river water were reduced up to 91%.*

**Keywords:** *Moringa oleifera*, natural coagulant, water, purification

### 1. Introduction

Today, coagulation and flocculation are an essential part of drinking water treatment using chemical coagulating agents, including aluminum sulfate, iron salt. They not only make water price higher but also it is harm for human health. Earlier research findings of Crapper *et al.* (1973) and Miller *et al.* (1984) pointed out that the chemicals used for water purification can cause serious health hazards such as Alzheimer's disease (in case a high level of aluminium in the brain). However, Davis (2006) found no conclusive evidence linking aluminum with Alzheimer's disease. Also, studies

by Letterman and Driscoll (1988), Mallevalle *et al.* (1984) and Miller *et al.* (1984) have raised doubts about the advisability of introducing aluminium into the environment by the continuous use of aluminum sulfate as a coagulant in water treatment (Amos *et al.*, 2009). More synthetic polymer toxicity has been banned in Japan and Switzerland according to Bolto, Gregory, 2007. On another point, in rural areas in developing countries development, water treatment costs when using aluminum salt is still quite high for many households is the main reason why not to supply water to everyone.

Therefore using natural coagulant is the researcher has concerned a new technology in drinking water treatment.

Among plant materials that have been tested over the years, the seeds from *M. oleifera* have been shown to be one of the most efficient primary coagulants for water treatment (Kattayon *et al.*, 2006). *M. oleifera* is a tropical plant belonging to the family of Moringaceae, a non-toxic (Grabow *et al.*, 1985) and natural organic polymer. This plant originates from the southern foothills of the Himalayas in northwestern India, and widely cultivated in tropical and subtropical areas; it has been found in many other countries such as the Philippines, Cambodia, Vietnam (Anwar *et al.*, 2007). They grow and develop rapidly, often referred to as a vegetable with high nutritional content, or main ingredient of functional foods because it contains many antioxidants.

*M. oleifera* seeds have been identified as the most effective coagulant especially for high or medium turbidity water. The seed kernels contain significant quantities of a series of low molecularweight, water-soluble proteins which, in solution, carry an overall positive charge. The proteins are considered to act similarly to synthetic, positively charged polymer coagulants. When added to raw water the proteins bind to the predominantly negatively charged particulates that make raw waters turbid (silt, clay, bacteria *etc.*). Under proper agitation, these bound particulates then grow to form the flocs, which may be left to settle by gravity or be removed by filtration (Geoff *et al.*). However, they have only just tested on artificial turbid water and some raw water in Africa such as Sudan, Ghana. In Vietnam, an Asian country with the low income of the majority population, 70% of the population living outside urban areas, and despite *M. oleifera* growing wildly in some provinces like Thanh Hoa, Ninh Thuan, An Giang and Binh Thuan. However, the data research on the effectiveness of its for drinking water purification in Vietnam is still rare. Therefore, this study confirms the effectiveness of powder processed from *M. oleifera* seeds as water coagulant for different surface water in Vietnam.

## 2. Materials and methods

### 2.1. Preparation of *M. oleifera* seeds extract

The *M. oleifera* seeds were harvested from Gia Lam district, Hanoi, Vietnam. Good quality seeds were identified from those, which were not rotten, old, infected with diseases, brownish and dried once opened. The seeds were dried in the oven (Blinder, USA) for 24 h at 40°C. The shells surrounding the seed kernels were removed using the knife and the kernels were pounded using laboratory mortar and pestle into powder. Put 1 g of *M. oleifera* seeds powder into a beaker

containing 40ml of distilled water. The mixture was blended using magnetic stirrer (IKA, RT5P, China) for 30 min at high speed to extract the active ingredient of *M. oleifera*. The suspension was then filtered through a muslin cloth with a pore size 80–120 µm in a beaker to give a stock solution of 10 g/l. After that, this stock solution was diluted to different concentration 100 mg/l to 500 mg/l.

## 2.2 Preparation of water samples

### 2.2.1 Preparation of synthetic turbid water

Synthetic turbid water samples were prepared by adding kaolin (produced from NhaTrang, Khanh Hoa province) into distilled water. 10 g of kaolin was added to 1l of distilled water. The suspension was stirred slowly at 20 rpm for 1 h in a jar test apparatus (VELP, JLT6, Italia) for uniform dispersion of kaolin particle. The suspension was then allowed to stand for 24 h to allow for complete hydration of the kaolin.

Three synthetic turbid water samples with initial TSS (total solid suspense) from 50 mg/l to 350 mg/l is made from above, respectively S1 sample (50 mg/l); S2 (200 mg/l); S3 (350 mg/l).

### 2.2.2 Preparation of surface water samples

Three surface water samples were taken at different locations along the Red River is the form R1, R2, and R3. The samples were taken at level 0.5m under the water surface.

## 2.3 Experimental design

Coagulation test was carried out using jar test (VELP, JLT6, Italia) involved rapid mixing, slow mixing, and sedimentation in a batch process. In order to reproduce the coagulation and flocculation stage in drinking water treatment, in each round of the experiment, pour 1L water sample (artificial or surface) into the beaker and stir rapidly for 4 minutes with *M. oleifera* seeds extracts predetermined concentration then stirred for 20 minutes (the rotational speed of the stirring paddle fast and slow stirring respectively 100 rpm and 40 rpm). Next, the suspensions were left to stand for 30 minutes. The supernatants formed were decanted and subjected to pH, TSS for both synthetic and surface water samples and total coliforms count measurements for river water samples. Each batch experiments were conducted in parallel with a control sample template is not added coagulants.

Table 1. Surface water samples quality characteristics

Sample	Sample's location	Describe	pH	TSS (mg/l)	Color (Pt-co)	Total Coliform (MPN/100 ml)
R1	Middle Red river	Low turbidity, no smell	7.5	30	136	1700
R2	From 2m right Red riverbank	Very high turbidity, no smell	7.6	120	1300	2800
R3	From 2m left Red riverbank	Very high turbidity, smell	6.9	155	1500	2823

### 2.4 Analytical methods

TSS measurements were performed using a Hach spectrophotometer (HACH, Dr500, USA). pH values of samples were measured using pH meter (SI Analytics, Lab 850, Germany) and total coliform using most probable number (MPN) procedure.

All the experiments were conducted in duplicate (the accuracy is considered to be 74%) to ensure there producibility of the results; the mean of these two measurements are presented here in. The TSS removal efficiency (TRE) was calculated using Eq. (1) as follows:

$$TRE, \% = [(T_o - T)/T_o] \times 100$$

where  $T_o$  and  $T$  represent the initial and final TSS(mg/l) of water, respectively.

The Total coliform count removal efficiency (CRE) was calculated using Eq.2 as:

$$CRE, \% = [(C_o - C)/C_o] \times 100$$

where  $C_o$  and  $C$  represent the initial and final Total coliform count (MPN) of water, respectively.

### 3. Results and discussion

#### 3.1 Effectiveness of purification on synthetic turbid and river water sample

The Fig. 1 showed that the TSS removal efficiency as using *M. oleifera* extract on three synthetic turbid water samples.

The Fig. 1 illustrates that the optimum dosage of *M. oleifera* seeds that gave the highest TRE-dependent on the initial turbidity. They have linear relationship meaning initial turbidity of water sample was increased, the required optimum dosage of coagulant also increased. For small and medium turbidities (TSS of the water sample from 30 mg/l and 150 mg/l), the optimum dosage of *M. oleifera* was 200 mg/l while for high water 300 mg/l produced most top turbidity removal (sample S, S3 with TSS200 mg/l, 300 mg/l respectively). Such as the higher levels of TSS concentrations, the much more *M. oleifera* extract dosages should use. However, for samples S3, when the concentration of coagulant increased to 400mg/l and 500mg/l, the TRE were decreased to 78.3% and 64%. Likewise, TRE of sample R3 reduced 5.4% at point coagulated solution 500

mg/l. This result is also suitable with the primary coagulation — flocculation theory because this overdosing resulted in the saturation of the polymer bridge sites and caused destabilization of the destabilized particles due to an insufficient number of particles to form more interparticle bridges (Muyibi and Evison, 1995, 1996). The optimum dosages found in this research were similar with previous researchers. Vo Hong Thi *et al* found the optimum *M. oleifera* about 200 mg/l-300 mg/l to clarify water sample with turbidity from 50 NTU to 300 NTU. However, this value was significantly higher than those obtained by previous researchers (Muyibi & Evison, 1995). They documented the optimum dosages of about 100 mg/l and 50 mg/l for moderate to high turbidities (250–550 NTU) and low to medium turbidities (50–150 NTU), respectively. This difference might lead due to the difference in experimental conditions employed, such as settling time, mixing velocity gradient and mixing durations. Comparison between optimum dosage obtained in this study and those obtained by Muyibi and Evison (1996) also revealed insignificant differences, which might be due to usage of different species of *M. oleifera* (Jahn, 1988).

#### 3.2 The total coliform removal efficiency

After coagulation process, total coliform count were showed that in Table 2.

This table was observed that the *M. oleifera* coagulant solution had an added advantage of reducing microbial load. All surface water after treatment were found substandard column A1 QCVN08–2008 (National technical regulation on surface water quality). This supports findings of Schwarz (2000) that the process of coagulation removes about 90–99% of bacteria which are typically attached to the solid particles. The seed kernels of *M. oleifera* according to Schwarz (2000) contain lower molecular weight water-soluble proteins which carry a positive charge. When the seeds are crushed and added to water, the protein produces positive charges acting like magnets and attracting predominately negatively charged particles such as clay, silk, and other toxic particles. Under proper agitation, these bound particles then grow to form the flocculates which are left to settle by gravity. This accounted for the effectiveness of *M. oleifera* as a coagulant for raw water purification.

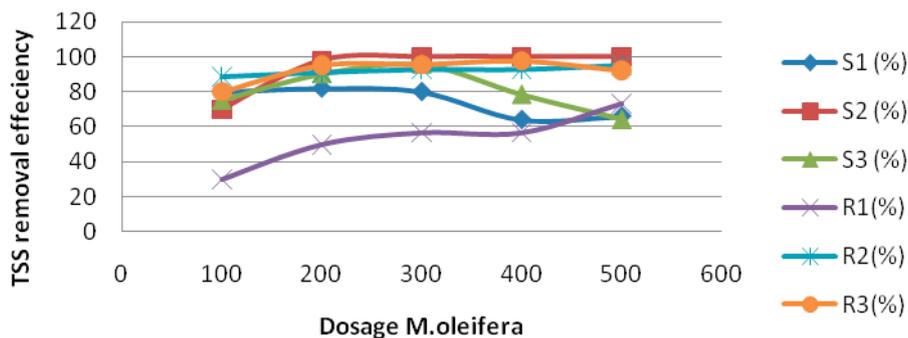


Fig. 1. TSS removal efficiency on water samples

Table 2. Total coliform index of surface water before and after coagulated treatment

River samples	Total coliform count (MPN)	
	Before treatment	After treatment
R1	1700	30
R2	2800	45
R3	2823	70

About pH of sample water after coagulation-flocculation treatment are constants from 6.9 to 7.6. This is an advantage of *M. oleifera* extracts to help cost reduce and protect human health.

Thus, summing up the results of the research have from 2 decades ago to recent (some mentioned above) together with the results of this study have proven particle *M. oleifera* absolutely can be used as an effective flocculant for water treatment naturally in many areas, if possible, from Africa to Asia and even Europe. In Viet Nam, some previous study had resulted about the effectiveness of *M. oleifera* extract as the coagulant for purification medium and high turbidity surface water (Vo Hong Thi *et al.*, 2012).

### Conclusion

This study illustrates that *M. oleifera* have strong ability to replace traditional chemical coagulants because of safety for people, reduction water prices and efficient treatment up to 100% for high turbidity water.

Currently, *M. oleifera* is a relatively common plant grown in some provinces in Vietnam. We can mix and encourage the use of *M. oleifera* seeds for many purposes (as food). Therefore, treatment water with *M. oleifera* seeds is promised suitable method for supplying clean water to rural communities in Vietnam, especially flood plains.

### References:

1. Amos Benang and Francis Kweku Amagloh. Effectiveness of Moringa oleifera seed as coagulant for water purification. African Journal of Agricultural Research, 2009, 4 (1), 119–123.
2. Anwar F., Latif S., Ashraf M., Gilani A. H. Moringa oleifera: a food plant with multiple medicinal uses. Phytother. Res., 2007, 21 (1), 17–25.
3. Bolto B., Gregory J. Organic polyelectrolytes in water treatment. Water Res., 2007, 41, 2301–2324.
4. Grabow W. O. K., Slabert J.L., Morgan W.S. G, Jahn S.A.A. Toxicity and mutagenicity evaluation of water coagulated with Moringa Oleifera seed preparation using fish, protozoan, bacterial, enzyme and Ames Salmonella assays. Water S. A., 1985, 11 (1), 9–14.
5. Katayon S., Noor M. J., Asma M., Ghani L. A., Thamer A. M., Azni I., Ahmad J., Khor B. C., Suleyman A. M. Effects of storage conditions of Moringa oleifera season its performance in coagulation, Bioresour Technol., 2006, 97 (13), 1455–1460.
6. Jahn S. A. A. Using Moringa oleifera seeds as coagulant in developing countries. J. Am. Wat. Wks. Ass. 83, 43–50.
7. Muyibi S. A. and Okuofu C.A. Coagulation of low turbidity surface water with Moringa oleifera seeds. Inter. J. Environ. Stud., 1995, 48 (3), 263–273.
8. Vo Hong Thi, Hoang Hung, Luong Minh Khanh. Study on water clarification using Moringa Oleifer seeds in Viet Nam. Scientific journals of Hue University, 2012, 75A (6), 153–164.

## Мероприятия, направленные на развитие сети автомагистралей в России

Никулин Сергей Игоревич, студент;  
 Наумов Никита Александрович, студент;  
 Махлин Максим Юрьевич, студент  
 Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Статья посвящена вопросам развития сети скоростных автомобильных дорог в России. В статье рассмотрены предпосылки и препятствия к дальнейшему развитию скоростных автодорог, составлен обзор мер по стимулированию строительства автомагистралей, а также представлен прогноз на ближайшие несколько

лет. Также статья содержит сравнительный анализ ситуации в сфере строительства скоростных автодорог в России и в ведущих странах.

Цели работы:

1) Изучить историю создания сети скоростных автомобильных дорог в США, Китае и Германии, оценить текущее положение дел в России и провести сравнительный анализ; 2) Выявить предпосылки и препятствия к дальнейшему развитию скоростных автодорог в России. 3) Определить предпринимаемые меры по стимулированию строительства автомагистралей и обозначить дальнейшее направление работ для развития сети скоростных автодорог.

Автомобильный транспорт в России занимает первое место по пассажирообороту и одно первых мест по грузообороту. Общая длина автомобильных дорог с твёрдым покрытием в России составляет около 985 тыс. км, из них к автомагистралям (*дорогам для скоростного движения автомобилей, не имеющих одноуровневых пересечений с другими дорогами, железнодорожными или трамвайными путями, пешеходными или велосипедными дорожками*) относятся лишь около 2600 км.

Для сравнения, «Национальная система межштатных и оборонных автомагистралей США» имеет общую протяжённость около 77 тыс. километров. [1, 2, 3,4].

С целью создания полноценной сети скоростных автодорог в России в 2009 году была учреждена госкомпания «Автодор», которой была поручена реализация стратегии развития опорной сети скоростных автомобильных дорог до 2030 года. Шагом к формированию новой сети дорог должны стать трассы М1 (Минское шоссе), М4 («Дон») и М3 (Киевское шоссе) общей протяжённостью 2,6 тыс. км, которые госоператор получил в доверительное управление [2,3,5]. ГК «Автодор» также поручена реконструкция и ремонт уже существующих магистралей, с чем госкомпания, стоит признать, справляется довольно успешно. О дальнейших перспективах развития сети скоростных автомагистралей можно будет сделать выводы после анализа некоторых статистических показателей, приведённых ниже.

	Общая протяжённость автодорог с твёрдым покрытием	Протяжённость скоростных сетей и участков автодорог	Начало активного строительства скоростных автодорог
Китай	4360 тыс. км	112 тыс. км	1990 г.
США	6590 тыс. км	77 тыс. км	1956 г.
Германия	645 тыс. км	13 тыс. км	1933 г.
Россия	985 тыс. км	2,6 тыс. км	2010-е гг.

Данные таблицы показывают, что в сфере строительства автомобильных дорог (в частности — строительства автомагистралей) Россия значительно отстает от стран, имеющих мощнейшие экономики в мире. Ежегодная сумма потерь, связанных с недостаточным развитием дорожно-транспортной сети и ее низким техническим состоянием, оценивается экспертами в 500–600 млрд руб., что превышает 2% ВВП России [4,5,6]. Такое отставание обусловлено несколькими факторами, которые присущи не только автомобильно-дорожной отрасли.

**Основные причины отставания России в сфере строительства автомобильных дорог:**

– Недостаточное финансирование дорожного строительства (так Росавтодор, который распределяет регионам субсидии на строительство дорог, задержал за 2012–2013 годы в общей сложности около 43 миллиардов рублей, в связи с чем в 2013 году было введено на 40% дорог меньше необходимого объема);

– Отсутствие современной нормативной базы, регламентирующей технологию дорожного строительства (например, СНиП 2.05.02–85 «Автомобильные дороги» действует с 1 января 1987 года);

– Отсутствие системного процесса модернизации и внедрения новых технологий и инноваций (например,

в России практически отсутствует структурированная нормативная база в области производства и использования геосинтетических материалов, без применения которых не обходится строительство ни одной современной автомагистрали. Это значительно усложняет процесс внедрения геосинтетиков в дорожную отрасль);

– Дефицит квалифицированных кадров;

Без решения этих системных проблем практически невозможно создание сети скоростных автомагистралей. Какие же шаги предпринимаются для разрешения сложившейся ситуации?

**Мероприятия, направленные на развитие сети скоростных автомобильных дорог в России:**

1. На данный момент локомотивом строительства автомагистралей в России является механизм государственно-частного партнёрства (*ГЧП — совокупность форм средне- и долгосрочного взаимодействия государства и бизнеса для решения общественно значимых задач на взаимовыгодных условиях*) [2, 3, 7]. Развитие программ ГЧП также поручено госкомпания «Автодор». ГЧП способно практически полностью решить проблему недофинансирования в сфере строительства скоростных автомобильных дорог. Так из общей стоимости Западного скоростного диаметра в 212,7 млрд руб., 108 млрд руб. составляют средства частных инвесторов, которые в даль-

нейшем будут получать доход от оплаты автомобилистами тарифа за проезд по автомагистрали.

Однако говорить о системном применении ГЧП на данный момент не приходится, потому что в условиях российской экономики, в которой роль государства достаточно велика, инвесторы были отнюдь не готовы вкладывать деньги без существенных гарантий со стороны государства, в том числе и на законодательном уровне [2, 3, 8]. Лишь 1 января 2016 года в силу вступил Федеральный закон от 13 июля 2015 г. № 224-ФЗ «О государственно-частном партнёрстве, муниципально-частном партнёрстве в Российской Федерации...», который призван предоставить инвесторам необходимые гарантии.

На данный момент помимо ЗСД реализуется ещё один крупный проект с применением механизма ГЧП — это трасса М11 «Москва — Санкт-Петербург», общая стоимость которой оценивается в 152,8 млрд руб.

2. На сегодняшний день подготовка кадров для автомобильно-дорожной отрасли осуществляется в нескольких ВУЗах по всей стране, крупнейшими из которых являются московский МАДИ и омский СибАДИ. Однако на весь Северо-Западный федеральный округ, на территории которого и происходит строительство ЗСД, а также значительного участка трассы М11, до 2015 года приходился один-единственный СПбГАСУ, который принимал на соответствующее направление по 10 человек в год, как уже было замечено.

С целью решения данной проблемы в 2015 году в Инженерно-строительном институте Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого был впервые проведён набор студентов на базовую кафедру «Дороги, мосты и транспортные тоннели». В ближайшие годы приём на данное направление планируется расширить, что в среднесрочной перспективе позволит решить дефицит кадров в регионе.

3. Устаревшая нормативная база также подвергается постепенной модернизации. Так в 2007 году вступил в силу Федеральный закон № 257-ФЗ «Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации...», призванный регулировать функционирование автомобильных дорог в современных реалиях. Также в 2012 году была выпущена актуализированная редакция древнего СНиП 2.05.02—85 1987 года.

#### Литература:

1. Лазарев Ю. Г. Технология транспортных процессов / Лазарев Ю. Г., Сеницына Е. Б., Уголков С. В. / Учебное пособие, Санкт-Петербург, 2016, 56 стр.
2. Кельбах С. В. Роль инфраструктуры в процессе пространственной интеграции экономики региона. Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2015. № 3 (93). С. 71—78.
3. Кельбах С. В. Дорожно-транспортная инфраструктура как база модернизации региональной экономики. Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2015. № 4 (94). С. 37—43.
4. Коробицын Т. Г. Особенности и проблемы финансирования автодорожного строительства в Российской Федерации // Молодой учёный. — 2011. — № 4. Т. 1. — С. 158—161.
5. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года (утверждена распоряжением Правительства РФ от 22.11.2008 № 1734-р)

4. На сегодняшний день возможно констатировать, что процесс совершенствования наряду с вопросами строительства новых и реконструкции существующих автомобильных дорог затрагивает и другие сферы деятельности в области транспортной инфраструктуры. Позитивные изменения, например, коснулись и сферы работы придорожного сервиса [9].

5. Применение новых дорожно-строительных материалов и технологий дорожного строительства, усложнение конструкции дорожных одежд, рост интенсивности движения и нагрузок требуют более скрупулёзного обоснования проектных решений. [10, 11, 12].

Реформирование и модернизация нормативной базы неизбежно повлечёт за собой упрощение процесса внедрения инновационных технологий, без которых невозможно представить строительство современной автомагистрали.

#### Выводы

Необходимость создания опорной сети скоростных автомобильных дорог для развития экономики России очевидна. Однако для достижения поставленной цели придётся предпринять серьёзные усилия по мобилизации всех доступных ресурсов. Пользуясь опытом США, Китая и других стран с развитой автодорожной сетью, возможно разрешить множество проблем, вызванных экономическим, юридическим, социальным, территориальным, климатическим и другими факторами, присущими имеющим обширную территорию государствам.

На наш взгляд, Россия делает множество верных шагов на пути к созданию сети автомагистралей: формируется чёткая вертикаль управления дорожной отраслью, привлекается к сотрудничеству крупный частный капитал, реформируется устаревшая нормативная база, приглашаются иностранные специалисты в области дорожного строительства, ведётся подготовка квалифицированных кадров для дорожной отрасли.

При должном подходе выбранная стратегия развития способна дать результат в течение ближайших нескольких лет, что непременно приведёт к увеличению экономического потенциала страны.

6. Лазарев Ю.Г. Транспортная инфраструктура (Автомобильные дороги). Монография — LAP LAMBERT, Германия: 2015. 173 с.
7. Селимханов Д.Н. Автомобильные дороги США: история американских скоростных магистралей. — 2008. — С. 84–88.
8. Подгорнов В.С. Зарубежный и отечественный опыт реализации проектов строительства платных автодорог на основе государственно-частного партнерства. — 2012. — С. 200–202.
9. Морозов А.Г. Логистика придорожного сервиса / А.Г. Морозов, Ю.Г. Лазарев // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2015. № 4(34). С.77–82.
10. Лазарев Ю.Г. Формирование методики оценки точности (надежности) проектирование дорожных одежд нежесткого типа. / Ю.Г. Лазарев, П.А. Петухов, М.В. Широких / Вестник гражданских инженеров. 2016. № 2 (55). С. 38–46.
11. Лазарев Ю. Г. К вопросу управления состоянием нежестких дорожных одежд. / Ю.Г. Лазарев, Е.Е. Медрес, П.А. Петухов, / Вестник гражданских инженеров. 2016. № 3 (56). С. 173–180.
12. Lazarev Yu.G. Effectiveness of soil reinforcement based on complex ash — cement bonder / Yu.G. Lazarev, M. F. Chakir, E. N. Syhareva, Yu. A. Ibraeva // Applied Mechanics and Materials. 2015. T. 725–726. Pp. 208–213.

### Риски систем управления и контроля доступа

Оладько Владлена Сергеевна, кандидат технических наук, преподаватель  
 Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации (г. Москва)

*В статье рассмотрена проблема нарушения безопасности, такого элемента подсистемы инженерно-технической защиты информации на предприятии, как системы управления и контроля доступа. Проанализирована типовая структурная схема организации системы управления и контроля доступа, проведена оценка опасности угроз для каждого элемента структуры типовой системы управления и контроля доступа. Составлена модель злоумышленника и выделены подходы к оценке риска.*

**Ключевые слова:** несанкционированный доступ, защита информации, оценка риска, модель угроз, ущерб, модель злоумышленника, инженерно-техническая защита

В настоящее время одной из наиболее актуальных угроз информационной безопасности на предприятии является угроза, связанная с несанкционированным доступом к информации (по данным Positive Technologies 36% от всех нарушений [1]), обрабатываемой на предприятии, объектам и ресурсам информационной системы, участвующим в реализации ключевых бизнес-процессов предприятия. Для противодействия данной угрозе и снижения рисков от последствий в рамках комплексной системы защиты информации на предприятии применяются подсистемы контроля и управления доступом (СКУД). Однако, как показывает практика [2], системы безопасности сами могут подвергаться воздействиям злоумышленника и ста-

новится угрозой, особенно если они обладают повышенными привилегиями доступа или контролируют ключевые информационные потоки. Следовательно, актуальной задачей является не только защита информационной системы и активов предприятия от несанкционированного доступа, но и контроль над эффективностью и состоянием безопасности самой подсистемы управления и контроля доступа.

В настоящее время существует достаточно много разновидностей СКУД разных производителей, а также ее компонентов. Несмотря на разнообразие рынка СКУД и уникальность каждой конкретной СКУД, типовая модель СКУД содержит 4 основных элемента: идентификатор

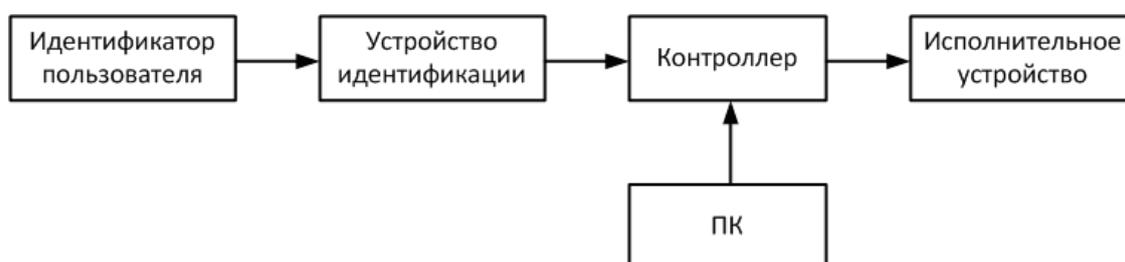


Рис. 1. Структурная схема типовой СКУД

пользователя (карта-пропуск, ключ, логин), устройство идентификации, управляющий контроллер и исполнительные устройства. Общая схема типовой СКУД представлена на рис. 1, элементы.

Система СКУД является важной частью системы безопасности предприятия, выполняя свои функции, она часто подвергается воздействию различного рода факторов случайного и умышленного характера, которые по своему источнику могут быть природными, антропогенными и тех-

ногенными. В результате воздействия данных факторов на технические и программно-аппаратные элементы СКУД может возникнуть полный или частичный отказ СКУД, нарушение процесса функционирования, и как следствие надежности работы всей системы ИБ предприятия в целом.

Анализ [3–5] показывает, что для каждого структурного элемента типовой схемы СКУД существуют свои характерные угрозы и риски, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1. Угрозы и последствия для СКУД

Элемент СКУД	Угроза	Последствия
Идентификатор пользователя	Потеря идентификатора Кража идентификатора Повреждение идентификатора Уничтожение идентификатора	Несанкционированное использование идентификатора с целью НСД на предприятие и к объектам ИС Отказ в доступе легальному сотруднику
Устройство идентификации	Ошибка или сбой в процессе считывания идентификатора Отказ программно-аппаратной части Ошибка в передаче данных Кража оборудования Природная и/или техногенная катастрофа	Отказ в доступе легальному сотруднику Нарушение непрерывности функционирования Снижение надежности
Контроллер	Ошибки первого и второго рода при обработке считанного идентификатора Отказ или сбой в работе аппаратной части Отказ или сбой в работе программного обеспечения части Ошибки конфигурирования Кража оборудования Вандализм и деструктивное физическое воздействие Природная и/или техногенная катастрофа	НСД злоумышленника на территорию предприятия и к объектам ИС Отказ в доступе легальному сотруднику Снижение надежности Нарушение работоспособности СКУД Материальные затраты на ремонт и замену оборудования
ПК с БД идентификационных признаков и ключей, журналом (буфером) событий СКУД, программное обеспечение СКУД	НСД к БД идентификаторов Уничтожение БД Несанкционированная модификация БД Отказ или сбой в работе аппаратной части Ошибки конфигурирования НСД к журналам регистрации событий СКУД Уничтожение журналов регистрации событий СКУД НСД к управляющим подсистемам СКУД Переполнение буфера событий	Кража БД с идентификаторами Подмена идентификаторов и ключевой информации Получение данных журналов регистрации событий СКУД Соккрытие следов несанкционированного проникновения и действий Прерывание работы СКУД Повышение привилегий и потеря управления СКУД Потеря данных и необходимость восстановления Отказ в регистрации событий
Исполнительное устройство	Отказ оборудования вследствие деструктивных воздействий внешней среды Кража оборудования Вандализм и деструктивное физическое воздействие злоумышленника Неправильная интерпретация команд Природная и/или техногенная катастрофа	Снижение надежности Нарушение работоспособности СКУД Материальные затраты на ремонт и замену оборудования НСД злоумышленника на территорию предприятия и к объектам ИС Прекращение работы СКУД Затраты на ремонт и/или восстановление оборудования

Источником антропогенных угроз для СКУД зачастую является злоумышленник, который делится на внешнего и внутреннего (см. таблицу 2), обладает определенным набором знаний и инструментальных средств, а также преследует свои цели по отношению к СКУД.

Таблица 2. **Нарушители безопасности СКУД**

Тип злоумышленника	Группа	Описание
Внутренний	Сотрудники предприятия	Находятся внутри контролируемой зоны предприятия, могут совершать случайные или умышленные ошибки при взаимодействии с компонентами СКУД, могут передать свой идентификатор несанкционированному лицу
Внутренний	Охранники	Находятся внутри контролируемой зоны предприятия, при выполнении служебных обязанностей могут взаимодействовать с отдельными компонентами СКУД и отключать и/или менять режим работы некоторых компонентов
Внутренний	Инженеры и ответственные за эксплуатацию и сопровождение СКУД	Действуют в пределах контролируемой зоны предприятия, непосредственно взаимодействуют со СКУД и ее компонентами, БД идентификаторов, могут вносить целенаправленные несанкционированные изменения в конфигурацию СКУД в процессе ее обслуживания, проводить отключение и смену режимов работы СКУД, совершать непреднамеренные ошибки при работе со СКУД, обусловленные невнимательностью или низкой квалификацией
Внешний	Недобросовестные конкуренты	Действуют вне контролируемой зоны предприятия, преследуют цели, связанные с нанесением материального или морального (репутационного) ущерба, заинтересованы в НСД на предприятие с целью сбора конфиденциальной, служебной информации и получения конкурентных преимуществ
Внешний	Поставщики, разработчики и обслуживающий оборудование СКУД персонал	Действуют вне контролируемой зоны предприятия
Внешний	Террористы и экстремистские группировки	Действуют вне контролируемой зоны предприятия, изначально не обладают знаниями о СКУД, принципах ее функционирования на данном предприятии, ущерб может быть нанесен как в результате прямой атаки на предприятие и ее подсистемы безопасности СКУД, так и стать результатом косвенного воздействия на другие объекты
Внешний	Бывшие сотрудники предприятия	Действуют вне контролируемой зоны предприятия, обладает расширенными знаниями о структуре и принципах функционирования СКУД предприятия на котором работали, действие направлены на нанесение на нанесение ущерба предприятию и получение личной выгоды.
Внешний	Преступные структуры	Действуют вне контролируемой зоны предприятия, изначально не обладают знаниями о СКУД, принципах ее функционирования на данном предприятии, предварительно проводят разведывательную деятельность с целью получения дополнительной информации о инженерно-технических особенностях организации СКУД предприятия, действия по цели направлены на отключение и/или преодоление СКУД и доступ в контролируемые зоны предприятия, к ресурсам ИС, финансовым средствам, материальным средствам и обрабатываемой информации.

В соответствии с проектом методики определения угроз безопасности [6,7] каждая угроза должна быть описана и формализована через ряд своих характеристик и значений параметров. В качестве основных параметров выделяют:

- вероятность реализации угрозы;
- степень ущерба;
- риск.

Вероятность реализации угрозы может быть определена посредством экспертной оценки, на основе статистических данных о типовых для СКУД угрозах, данных МВД и МЧС, статистики инцидентов ИБ предприятия, связанных со СКУД. Описываться может как в количественной форме с распределением области допустимых значений в пределах от 0 до 1, так и качественной шкалой

уровней, например, вероятность\_реализации\_угрозы={-низкая, средняя, высокая}.

Ущерб отображает тяжесть последствий успешной реализации угрозы безопасности для СКУД и предприятия в целом, может быть материального и нематериального характера, выражаться в количественной форме (денежной форме) и качественной шкале.

Риск может быть, как материального, так и нематериального характера и представляться в количественной и качественной форме, в зависимости от выбранной методики оценки риска. Описанные и проанализированные угрозы используют для составления модели актуальных угроз, в процессе проектирования и сопровождения СКУД, а также при аудите СКУД предприятия.

#### Литература:

1. Статистика уязвимостей корпоративных информационных систем 2016//Аналитика компании Positive Technologies 2016. URL: <http://www.ptsecurity.ru/upload/ptru/analytics/Corporate-Vulnerability-2015-rus.pdf> (дата обращения 29.11.2016).
2. Positive Research 2016//Аналитика компании Positive Technologies 2016. URL: <http://www.ptsecurity.ru/upload/ptru/analytics/Positive-Research-2016-rus.pdf> (дата обращения 29.11.2016).
3. ГОСТ Р 51241—2008 Средства и системы контроля и управления доступом. Классификация. Общие технические требования. Методы испытаний//StandartGost.RU. URL: [http://standartgost.ru/g/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2\\_%D0%A0\\_51241—2008](http://standartgost.ru/g/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2_%D0%A0_51241—2008) (дата обращения 22.11.2016).
4. Максимов Р. Л., Рафиков А. Г. Разработка автоматической СКУД повышенной безопасности на базе типового решения СКУД BIOSMART с использованием автоматного подхода//Вопросы кибербезопасности. 2015. № 5(13). С. 73–80.
5. Булгаков О. М., Удалов В. П., Четкин О. В. Математическая модель воздействия нарушителя на компоненты интегрированной системы безопасности// Вестник Воронежского института МВД России. 2015. № 2. С. 165–175 URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskaya-model-vozdeystviya-narushitelya-na-komponenty-integrirrovannoy-sistemy-bezopasnosti> (дата обращения 8.12.2016).
6. Оладько В. С. Программный комплекс для определения закона распределения атак злоумышленников//Вопросы кибербезопасности. 2015. № 1 (9). С. 55–59
7. Козлова Е. А. Оценка рисков информационной безопасности с помощью метода нечеткой кластеризации и вычисления взаимной информации // Молодой ученый. — 2013. № 5. С. 154–161.

## Навесной вентилируемый фасад и его характеристики

Павлушкина Юлия Евгеньевна, студент;

Павлушкин Максим Евгеньевич, студент

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

*В настоящее время в России получили распространение навесные фасады. Их использование началось относительно недавно, всего лишь 10 лет назад, в отличие от стран Европы, где они применяются с середины XX века. Относительная новизна такого нового конструктивного решения влечет за собой необходимость его исследования и совершенствования, особенно в регионах России, где климатические воздействия более суровы.*

*В данной статье рассматриваются основные конструктивные элементы навесных фасадов, технологии их установки, а также преимущества и недостатки. Тщательное исследование данной системы позволит избежать ошибок при их установке и эксплуатации, а также стимулирует развитие этой технологии в России в будущем.*

**Ключевые слова:** навесной вентилируемый фасад, фасадные профили, устройство вентилируемого фасада

Одной из самых трудно решаемых в течение многих лет являлась проблема утепления с одновременным созданием привлекательного внешнего вида здания. С появлением в области строительства фасадных систем с воздушным вентилируемым зазором ситуация изменилась в корне. Благодаря конструкции вентилируемых фасадов решился вопрос не только с технологической точки зрения, но и проблемы эстетического характера. Современные фасадные системы утепления с естественной циркуляцией воздуха заслуживают особого внимания.

В поисках самого надежного утеплителя было испробовано огромное количество материалов. На основании полученного опыта выяснилось, что самый большой враг любой системы утепления — влага.

В помещениях многие процессы жизнедеятельности человека сопутствуют выделению влаги. При этом концентрация водяного пара в помещении будет выше, чем снаружи. В результате естественного физического процесса влага будет проникать наружу, в том числе и посредством диффузии, постепенно остывая до температуры наружного воздуха, в следствии чего влажность стен и утеплителя будет увеличиваться, что приведет к сырости, образованию плесени и даже разрушению стенового материала.

Главным отличием вентилируемого фасада от других типов фасадных систем является наличие зазора между несущей стеной и облицовочным материалом. За счет происходящей в этом зазоре циркуляции воздуха происходит удаление влажного конденсата из системы.

Данный вид отделки может быть использован как на завершающих этапах строительства, так и при реконструкции уже существующих зданий, нуждающихся в дополнительном утеплении стен.

### Устройство вентилируемого фасада и принцип работы

Все виды фасадных систем представляют собой многослойную конструкцию, опирающуюся на жесткий каркас, монтируемый на внешние стены здания, что позволяет применять ее как в строительстве малоэтажных, так и многоэтажных домов. Навесной вентилируемый фасад состоит из облицовочного материала, вспомогательной под облицовочной конструкции и слоя теплоизоляции. Отличительной составляющей вентилируемых фасадов является вентилируемая воздушная прослойка между облицовочным материалом и слоем теплоизоляции.

Конструкция навесного фасада является довольно сложной и состоит из следующих элементов (рис. 1) [1].

*Анкеры и кронштейны.* Кронштейны монтируются с помощью анкеров непосредственно на несущие конструкции. Посредством их осуществляется регулирование расстояния между стеной и направляющими, что позволяет исключить процесс предварительного выравнивания стен перед монтажом фасада.

*Несущие профили.* Являются каркасом для внешнего облицовочного материала. Крепление горизонтальных и вертикальных элементов происходит на кронштейны. Положение профилей и расстояния между ними зависит от структурных характеристик и размеров облицовочного материала. Основная функция их заключается в выравнивании и укреплении стен. Правильно установленная крепежная система исключает механическую деформацию стены, а также обеспечивает равномерную нагрузку на стены здания.

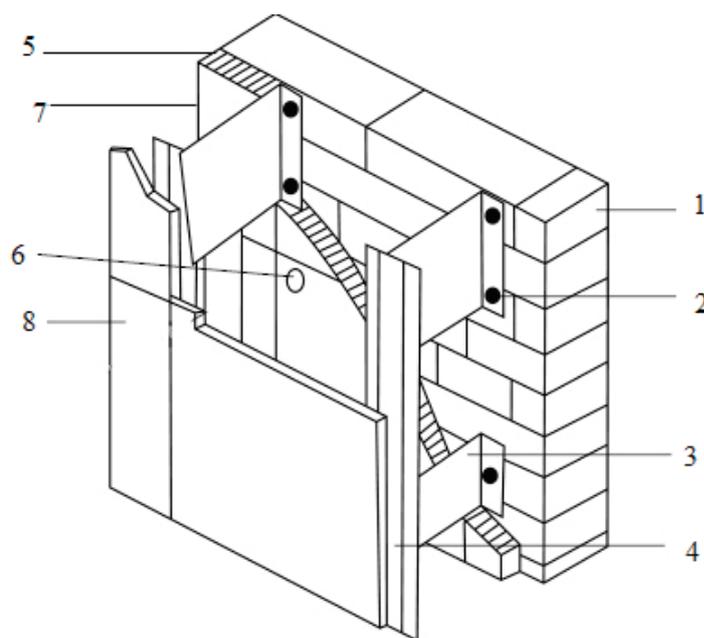


Рис. 1. Конструкция вентилируемого фасада: 1 — несущая конструкция; 2 — анкер; 3 — кронштейн; 4 — несущий профиль; 5 — теплоизолирующий материал; 6 — фасадный дюбель; 7 — вентилируемое пространство; 8 — облицовочный материал

*Крепежные элементы.* С помощью крепежных элементов внешние панели фасада прикрепляются к несущей конструкции. Отделочный материал может быть установлен как открытым образом, когда крепежные элементы видны снаружи, так и закрытым.

*Теплоизоляционный слой.* Утеплитель фиксируется с помощью дюбелей на наружной поверхности стены. В качестве утеплителя чаще всего используют минеральные плиты, установленные в два слоя. Слой, устанавливаемый ближе к стене имеет более мягкую структуру, для верхнего слоя используют более плотный материал. Толщина слоя утепляющего материала зависит от климатических условий [2]. Для большей эффективности теплоизолирующий материал покрывают гидроветрозащитной мембраной, что позволяет защитить утеплитель от атмосферной влаги, а также от выветривания минерального волокна [3]. Для обеспечения полной защиты стыки мембраны соединяются с помощью клейкой ленты.

*Вентилируемое пространство.* Основная функция воздушной прослойки заключается в удалении влаги. Важным аспектом является расчет толщины вентиляруемого пространства. В случае чрезмерной ширины воздушного зазора, при определенной силе ветра, в системе создается мощный поток воздуха, снижающий тепловые характеристики вентиляруемого фасада, что приводит к разрушению утеплителя [4]. Недостаточная же величина зазора приведет к переувлажнению утеплителя и его разрушению.

*Облицовочный материал.* Внешние панели вентиляруемого фасада выполняют две функции. Облицовка защищает конструкцию от воздействия различных атмосферных явлений, а также формирует эстетический облик здания. Широкий ассортимент облицовочного материала позволяет реализовать практически любую дизайнерскую задумку. Выбор материала для облицовки зависит от выбора подсистемы, особенностей внешней среды, дизайнерского решения в оформлении, бюджета.

### Виды вентиляруемого фасада

Все виды вентиляруемого фасада можно классифицировать по множеству признаков, рассмотрим наиболее распространенные из них.

1) Классификация вентиляруемых фасадов по виду облицовочного материала.

- вентиляруемые фасады, облицованные керамогранитом (или гранитом). Различают системы с видимым и скрытым креплением;
- вентиляруемые фасады, облицованные фиброцементными плитами;
- вентиляруемые фасады, облицованные алюминиевыми композитными панелями;
- вентиляруемые фасады с облицовкой металлическими кассетами;
- вентиляруемые фасады с пластиковым сайдингом;
- вентиляруемые фасады облицованные стеклянными панелями;

- вентиляруемые фасады с деревянной облицовкой;
- вентиляруемые фасады с облицовкой из ламината высокого давления (ЛВД);
- вентиляруемые фасады, облицованные солнечными батареями.

2) Виды вентиляруемых фасадов по материалу несущей подконструкции.

- вентиляруемые фасады с подконструкцией из оцинкованной стали (эконом вариант);
- вентиляруемые фасады с подконструкцией из нержавеющей стали (премиум вариант);
- вентиляруемые фасады с подконструкцией из алюминия и его сплавов;
- вентиляруемые фасады с деревянной подконструкцией.

3) Виды вентиляруемого фасада по типу конструктива подсистемы.

- вертикальная система;
- горизонтально-вертикальная система.

4) Виды вентиляруемого фасада по типу несущего основания.

- вентиляруемые фасады с креплением к стене;
- вентиляруемые фасады с креплением в плиты перекрытий.

5) Классификация вентиляруемого фасада в зависимости от наличия теплоизоляционного слоя.

- вентиляруемые фасады с утепляющим слоем;
- вентиляруемые фасады без утепления.

### Преимущества и недостатки НВФ

Как уже было сказано выше, вентиляруемый фасад представляет собой сложную инженерную систему. Ее популярность обусловлена рядом конструктивных, архитектурных и технологических преимуществ перед другими фасадными конструкциями.

Первым конструктивным преимуществом является улучшение влажностного состояния утеплителя в вентиляруемом фасаде, обусловленное наличием прослойки. Вентилируемый фасад постоянно работает на поддержание требуемого влажностного режима ограждения. Теплоизоляция помещения возрастает, что способствует поддержанию комфортных условий в любых помещениях и при любых погодных условиях [5]. Расположение теплоизоляции снаружи способствует увеличению теплоаккумулирующей способности массива стены, что важно при перебомах в отоплении здания. Применение эффективных утеплителей повышает энергетическую эффективность ограждающей конструкции. Применение теплоизоляционного слоя снаружи стены существенно повышают звукоизоляционные характеристики стены.

Навесной вентиляруемый фасад используется при строительстве новых, а также реконструкции старых зданий. В отличие от других систем фасад достаточно легко монтируется и демонтируется при реставрации. При этом можно заменять часть поврежденной облицовки фа-

сада без демонтажа конструкции в целом. Кроме того, они не требуют периодического проведения косметического ремонта. Безремонтный срок эксплуатации систем составляет до 50 лет [6].

Установка вентилируемых фасадов позволяет скрыть существующие дефекты поверхности, которые невозможно исправить при помощи штукатурки и других отделочных материалов.

Допустимо применение навесных вентилируемых фасадов в сейсмически опасных районах до 9 баллов.

Что касается архитектурных преимуществ, то здесь важными характеристиками являются разнообразие облицовочного материала и гибкость архитектурных форм. Это позволяет создавать сложные архитектурные проекты, невозможные к реализации с помощью других видов фасадных систем. Существует возможность смены облицовочного материала вентилируемого фасада, не меняя несущую конструкцию.

К технологическим преимуществам можно отнести высокую скорость возведения конструкции фасада. Отсутствие «мокрых» процессов позволяет проводить установку фасадов в любое время года.

За счет экономии средств на обогрев, снижение затрат на уход, вентилируемый фасад окупает себя за первые 5 лет эксплуатации.

Несмотря на все преимущества системы, вентилируемый фасад также имеет и ряд недостатков. Например, при определенном направлении ветра в воздушной прослойке возникает некоторое гудение, причинами которых является большая длина кронштейнов, фиксирующих навесные элементы фасада.

Поскольку вентилируемый фасад является довольно сложной конструкцией, для её правильной установки

необходимо привлечение высоко квалифицированных монтажников. Отсутствие допуска в СРО позволяет допускать к работе организации и работников, не имеющих соответственного опыта. Отсюда повышается риск обрушения, возгорания, потери свойств теплозащиты утеплителя, значительно снижается долговечность фасадов.

В отличие от расчета других систем, более сложный расчет вентилируемого фасада порождает множество ошибок при проектировании. Отсутствуют ГОСТы и СНиПы на монтаж вентилируемых фасадов, устройство ширины зазора выполняется без надлежащего обоснования [4]. Несоблюдение условий или отказ от защитных пленок в конструкции теплоизоляционного слоя, сказывается на экологичности системы [7].

Однако многие специалисты рекомендуют отказаться от гидроветрозащиты, поскольку большинство мембран относятся к горючим материалам. Несоблюдение технических решений по обеспечению пожарной безопасности, применение некоторых горючих материалов, а также материалов, не прошедших огневые испытания, приводит к снижению пожароустойчивости зданий [8].

В заключении можно добавить, что любой вид вентилируемого фасада раскрывает свои преимущества только при условии полного соблюдения технологии монтажа с учётом климатических особенностей местности в которой производится его использование. Любые несущественные отклонения, могут привести к печальным последствиям. Поэтому целесообразно поручать техническое проектирование фасада опытным профессионалам, так как проектировщики «общего профиля» могут не учесть многих нюансов.

#### Литература:

1. Конструкция вентилируемого фасада. Виды вентилируемых фасадов. // Все о навесных вентилируемых фасадах. URL: <http://vfasade.blogspot.ru/2013/06/construction-venfasad.html> (дата обращения: 14.12.2016).
2. Жуков А. Д., Чугунков А. В., Жукова Е. А. Системы фасадной отделки с утеплением // Вестник МГСУ. — 2011. — № 1.
3. Колесова Е. Н. Навесной вентилируемый фасад: классификация элементов, входящих в его состав, и проблемы, связанные с проектированием воздушного зазора // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. — 2016. — № 2. — с. 22–28.
4. Немова Д. В. Навесные вентилируемые фасады: обзор основных проблем // Инженерно-строительный журнал. — 2010. — № 5. — с. 7–11.
5. Кавер Н. С. Современные материалы для отделки фасадов. — М.: Архитектура-С, 2005. — 119 с.
6. Княтько М. В., Ефименко М. Н., Горшков А. С. К вопросу о долговечности и энергоэффективности современных ограждающих стеновых конструкций жилых, административных и производственных зданий // Инженерно-строительный журнал. — 2008. — № 2. — С. 50–53.
7. Пахомов А. Ю. Влияние экологии городской среды на фасадные системы с вентилируемым воздушным зазором. VIII Международная научно-техническая конференция «современные проблемы экологии». Материалы конференции.
8. Жуков А. Д. Технология теплоизоляционных материалов. Часть 2. Теплоэффективные конструкции. — М.: МГСУ, 2011. — 248 с.

## Асимптотические свойства частотных характеристик исполнительской системы

Патраков Евгений Сергеевич, студент;

Пехтерев Владислав Игоревич, студент

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

*Исследование систем управления манипуляторов связано с вычислением их частотных характеристик на ЭВМ. В этой связи возникает задача определения области частоты, в которой эти вычисления следует осуществлять. Оценить границы этой области можно, зная асимптотические свойства частотных характеристик.*

Выполним приближённый анализ этих свойств частотных характеристик многосвязной системы. Рассмотрим сначала область низких частот. Из выражения для матрицы

$$h(j\omega) = a(j\omega)^2 + bj\omega + c$$

следует, что в низкочастотной области (при  $\omega \rightarrow 0$ ) значения модулей элементов матрицы  $c$  будут намного превосходить значения модулей соответствующих элементов матрицы  $a(j\omega)^2$  и  $bj\omega$ . Это условие определяет и саму низкочастотную область в зависимости от динамических свойств исследуемой системы.

Таким образом, в области низких частот

$$W(j\omega) \approx [c + W_c(j\omega) + W_M(j\omega)\beta]^{-1} W_M(j\omega) \quad (1)$$

Обычно параметры приводов исполнительской системы выбирают так, что в области низкой частоты модули элементов матрицы  $W_M(j\omega)$ , входящей в выражения для диагональных элементов матрицы  $c + W_c(j\omega) + W_M(j\omega)\beta$ , намного превосходят значения модулей элементов матрицы  $c$ . Поэтому при  $\beta = E$  матрица

$$c + W_c(j\omega) + W_M(j\omega)\beta$$

является диагонально доминантной; для элементов  $\Phi_{il}(j\omega)$  обратной по отношению к ней матрицы  $\Phi(j\omega)$  в области низких частот справедливы приближённые равенства:

$$\Phi_{il}(j\omega) \approx \begin{cases} \frac{-c_{il}}{[c_{il} + W_{ci}(j\omega) + W_{Mi}(j\omega)][c_{il} + W_{ci}(j\omega) + W_{Mi}(j\omega)]} & \text{При } l \neq i \\ \frac{1}{c_{il} + W_{ci}(j\omega) + W_{Mi}(j\omega)} & \text{При } l = i \end{cases} \quad (2)$$

Формула для определения элементов матрицы  $W(j\omega)$  в области низких частот запишется так:

$$W_{il}(j\omega) \approx \begin{cases} \frac{c_{il}W_{Mi}(j\omega)}{[c_{il} + W_{ci}(j\omega) + W_{Mi}(j\omega)][c_{il} + W_{ci}(j\omega) + W_{Mi}(j\omega)]} & \text{При } l \neq i \\ \frac{W_{Mi}(j\omega)}{c_{il} + W_{ci}(j\omega) + W_{Mi}(j\omega)} & \text{При } l = i \end{cases} \quad (3)$$

Выражение:

$$S(p) = [E + R(p)]^{-1} \quad (4)$$

Можно записать так:

$$S(p) = Z^{-1}(p)Z_0(p) \quad (5)$$

$$Z(p) = h(p) + Wc(p) + W_M(p)\beta$$

$$Z_0(p) = h_0(p) + Wc(p) + W_M(p)\beta$$

Полагая в (5)  $p = j\omega$  и приняв во внимание, что в области низкой частоты  $h_0(j\omega) \approx c$ , с учётом приближённых равенств (2) получим

$$S(j\omega) \approx \begin{cases} \frac{-c_{il}}{Z_{ii}(j\omega)} & \text{При } l \neq i \\ 1 & \text{При } l = i \end{cases} \quad (6)$$

Из выражений (2) и (6) следует, что в области низкой частоты диагональные элементы передаточных матриц  $W_0(j\omega)$ ,  $\Phi(j\omega)$  и  $\Phi_0(j\omega)$  практически совпадают. Значит, в области низкой частоты частотные характеристики системы управления степенью подвижности приблизительно равны при их рассмотрении как с учётом, так и без учёта взаимовлияния. Из этих же выражений следует, что в низкочастотной области недиагональные элементы матриц  $W(j\omega)$  и  $\Phi(j\omega)$  не равны нулю, в отличие от матриц  $W^0(j\omega)$  и  $\Phi^0(j\omega)$ , что свидетельствует о наличии перекрёстного влияния внешних воздействий на выходные координаты исполнительской системы. Уровень перекрёстного влияния внешних воздействий системы управления  $l$ -й степенью подвижности на выходную координату  $i$ -й системы зависит от параметров точки невозмущённой траектории движения  $c_{il}$ , а также от параметров этих систем.

В области низкой частоты для замкнутых следящих систем выполняются условия

$$|z_{ii}(j\omega)| \gg |C_{ii}| \text{ и } |z_{ii}(j\omega)| \gg |C_{ii}|$$

Поэтому в данной области частот перекрёстное влияние управляющих сигналов не существенно.

Рассмотрим теперь свойства функции

$$Q(j\omega) = \det(E + R(j\omega))$$

Далее следует, что в области низкой частоты для элементов матрицы

$$P(j\omega) = E + R(j\omega) \text{ справедливы равенства}$$

$$P_{ii}(j\omega) \approx \begin{cases} 1 & \text{Pr } ul \neq i \\ \frac{C_{ii}}{z_{ii}(j\omega)} & \text{Pr } ul = i \end{cases}$$

Учитывая, что для рассматриваемой области частот  $|W_{Mi}(j\omega)| \gg |C_{ii}|$ , последние соотношения можно записать так:

$$P_{ii}(j\omega) \approx \begin{cases} 0 & \text{Pr } ul \neq i \\ 1 & \text{Pr } ul = i \end{cases} \tag{7}$$

Тогда  $Q(j\omega) \approx \det E = 1$ . Отсюда следует, что в области низкой частоты характеристики многосвязной исполнительной системы и комплекса систем управления отдельных степеней подвижности практически совпадают.

Рассмотрим теперь вид частотных характеристик исполнительной системы в области высоких частот.

Из выражения для матрицы  $Z(j\omega)$  следует, что в высокочастотной области (при  $\mathbb{H} \rightarrow \infty$ ) для матрицы  $h(j\omega)$  справедливо приближённое равенство

$$h(j\omega) \approx -\omega^2 a \tag{8}$$

Обычно для следящих систем в области высокой частоты справедливы соотношения

$$\omega^2 a_{ii} > |W_{ci}(j\omega)| \text{ и } \omega^2 a_{ii} > |W_{Mi}(j\omega)|$$

поэтому выражение для матрицы  $Z(j\omega)$  в области высокой частоты

$$Z(j\omega) \approx h(j\omega) \approx -\omega^2 a$$

Оценим свойства элементов матрицы  $S(j\omega)$ . Воспользовавшись представлением матрицы  $S(j\omega)$  в виде (5) и учитывая, что в рассматриваемой области частот справедливо приближённое равенство

$$Z_0(j\omega) \approx -\omega^2 \text{diag}(a_{11}, a_{12}, \dots, a_{nn})$$

Получим

$$S(j\omega) \approx -a^{-1} \text{diag}(a_{11}, a_{12}, \dots, a_{nn})$$

или, в скалярной форме записи,

$$S_{ii}(j\omega) \approx a_{ii} a_{ii}; \quad i, l = 1, 2, \dots, n, \tag{9}$$

где  $a_{ii}$  — элемент матрицы  $a^{-1}$ . Оценим значения  $S_{ii}(j\omega)$  с этой целью вычислим

$$a_{ii} = \frac{\text{adj}(a_{ii})}{\det a}$$

где  $\text{adj}(a_{ii})$  — алгебраическое дополнение к элементу транспонированной матрицы  $a$ . В силу того, что матрица асимметрична и положительно определена, действительны соотношения

$$a_{ii} \text{adj}(a_{ii}) \leq \prod_{j=1}^n a_{jj}$$

Поэтому для  $s_{ii} \approx a_{ii} a_{ii}$  справедливы неравенства

$$S_{ii} \approx \frac{a_{ii} \text{adj}(a_{ii})}{\det a} \leq \frac{1}{\det a} \prod_{j=1}^n a_{jj}$$

Поскольку для положительно определённой матрицы  $a$

$$\frac{1}{\det a} \prod_{j=1}^n a_{jj} > 1$$

то для  $S_{ii}$  имеют место соотношения

$$1 \leq S_{ii} \leq \frac{1}{\det a} \prod_{j=1}^n a_{jj} \tag{10}$$

Из соотношения (10) следует, что в области высокой частоты амплитудные частотные характеристики систем управления степеней подвижности располагаются выше частотных характеристик соответствующих систем отдельных

степеней подвижности. В то же время, поскольку во всей этой области частот  $S_{ii}$  — постоянная действительная величина, фазовые частотные характеристики отдельных систем остаются неизменными.

С учётом соотношений (5) найдём значения определителя матрицы  $E + R(j\omega)$  в области высоких частот:

$$\det[E + R(j\omega)] = \det Z_0^{-1}(j\omega)Z(j\omega) \approx \det[\text{diag}(a_{11}a_{12} \dots a_{nn})] \det a = \frac{\det a}{\prod_{i=1}^n a_{ii}}$$

Из данного выражения следует, что в области высокой частоты

$$Q(j\omega) \approx \frac{\det a}{\prod_{i=1}^n a_{ii}} = \text{const} \quad (11)$$

Из приближённого равенства (11) ясно, что в области высокой частоты характеристики многосвязной исполнительской системы и комплекса отдельных несвязанных систем отличаются на постоянную величину. В силу неравенства

$$\frac{\det a}{\prod_{i=1}^n a_{ii}} \leq 1$$

годограф функции  $Q(j\omega)$  многосвязной исполнительской системы будет расположен ближе к началу координат, чем годограф аналогичной функции комплекса отдельных систем.

Отметим, что определённые выше при  $\omega \rightarrow 0$  и  $\omega \rightarrow \infty$  области низких и высоких частот в практических расчётах устанавливаются не строго. В качестве низкочастотной принимается некоторая область ниже некоторой частоты  $\omega < \omega_n$ , в которой обеспечивается условие диагональной доминантности матрицы  $Z(j\omega)$ . Практика расчётов реальных систем показывает, что эта область может быть достаточно протяжённой и часто охватывает частоты среза следящих систем.

В качестве области высокой частоты рассматривается область  $\omega < \omega_n$ , в которой в матрице  $Z(j\omega)$  обеспечивается доминантность элементов матрицы  $\omega^2 a$ .

Литература:

1. Поезжаева Е. В. Промышленные роботы: учеб. пособие: в 3 ч. — Пермь: Изд-во Перм. гос. тех. ун-та, 2009. — Ч. 2. — 185 с. 2.
2. Поезжаева Е. В., Васенин А. С., Шумков А. Г. Роботизация фермерских хозяйств по обработке растений / Е. В. Поезжаева, А. С. Васенин, А. Г. Шумков // Научно-технический журнал «Вестник» ВСГУТУ. — 2014 — Вып. 3 — С. 59–62.

## Математическая модель многосвязной исполнительской системы манипуляционного робота

Патраков Евгений Сергеевич, студент;

Пехтерев Владислав Игоревич, студент

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

**Ключевые слова:** исполнительская система, следящие системы, степени подвижности

Математическая модель исполнительской системы манипуляционного робота включает описание исполнительского механизма и приводов. Сигналы управления  $g_i(t)$  поступающие на входы приводов, в зависимости от метода управления могут быть пропорциональны либо заданным значениям обобщённых координат  $q_i(t)$  (при позиционном методе управления), либо их производным  $\dot{q}_i(t)$  (при управлении по вектору скорости), либо обобщённым силам (при управлении по вектору силы). Во всех этих случаях задачей приводов является воспроизведение требуемых движений в соответствующих степенях подвижности исполнительского механизма, поэтому исполнительская система манипуляционного робота может рассматриваться как комплекс из  $n$  следящих систем.

Для получения уравнений исполнительской системы исполнительского механизма в виде линейных и линеаризованных уравнений необходимо дополнить уравнениями приводов, описывающими закон формирования ими сил и моментов, управляющих перемещениями исполнительского механизма.

Уравнения привода отдельной степени подвижности получают совместным рассмотрением уравнений исполнительного двигателя, механизма передачи движения к звену манипулятора, усилительных и корректирующих устройств. Уравнения исполнительной системы получают при совместном рассмотрении уравнений приводов всех степеней подвижности и исполнительного механизма. Составим уравнения привода одной из степеней подвижности на примере привода с электродвигателем постоянного тока. Функциональная схема такого привода представлена на рис. 1.

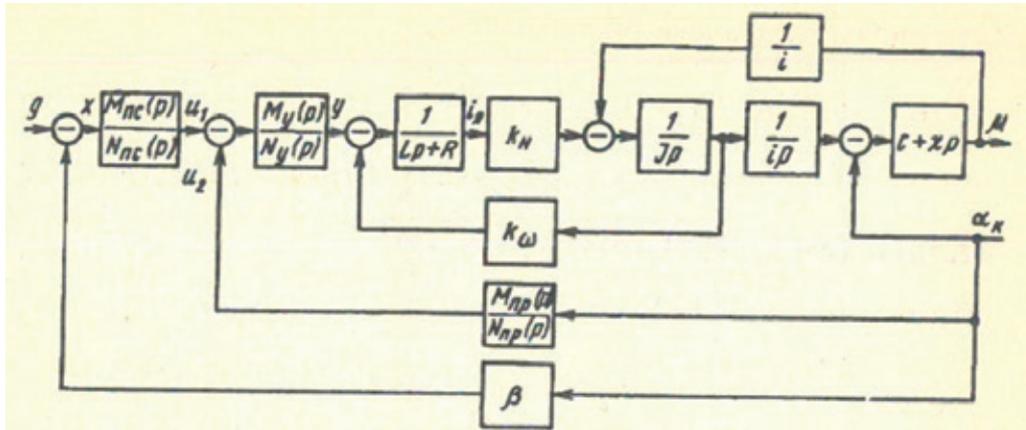


Рис. 1. Функциональная схема привода манипулятора

Уравнение динамики двигателя в операторной форме

$$(L_p + R)i_a = y - k_\omega p \alpha_d, \quad Jp^2 \alpha_d = k_m i_a - \frac{\mu}{i} p. \tag{1}$$

Здесь  $\alpha_d$  – координата вала двигателя;  $i_a$  – ток в якорной цепи;  $y$  – сигнал управления двигателем (напряжение);  $\mu / i$  – момент, действующий на вал двигателя со стороны нагрузки;  $L, R$  – индуктивность и сопротивление якорной цепи;  $k_\omega$  – коэффициент противо-ЭДС;  $k_m$  – коэффициент усиления двигателя по моменту;  $i$  – передаточное число редуктора.

Уравнение механизма передачи движения

$$\mu = (c + xp) \left( \frac{\alpha_d}{i} - \alpha_n \right), \tag{2}$$

Где  $\mu$  – момент на выходном валу механизма;  $\alpha_n$  – координата нагрузки (степени подвижности исполнительного механизма);  $c, x$  – коэффициенты жёсткости и потерь на деформацию.

Уравнение усилительного и преобразующих устройств

$$N_y(p)y = M_y(p)(u_1 - u_2), \tag{3}$$

где  $u_1, u_2$  – сигналы на выходах последовательного и параллельного корректирующих устройств,  $N_y, M_y$  – полиномы от  $p$ .

Динамику корректирующих устройств описывают уравнениями

$$\begin{aligned} N_{nc}(p)u_1 &= M_{nc}(p)x, \\ N_{np}(p)u_2 &= M_{np}(p)\alpha_n. \end{aligned} \tag{4}$$

Здесь  $x$  – сигнал на входе последовательного корректирующего устройства, сформированный в соответствии с выбранным методом управления.

Разрешив систему уравнений (1) — (4) относительно переменной  $p$ , получим уравнение привода исполнительной системы

$$N(p)\mu = M_m(p)x - M_c(p)\alpha_n. \tag{5}$$

Здесь приняты следующие обозначения:

$$N(p) = \left\{ i \left[ Jp^2 (Lp + R) + k_\omega k_m p \right] + i^{-1} (c + xp)(Lp + R) \right\} N_y(p) N_{nc}(p) N_{np}(p),$$

$$M_m(p) = (c + xp) k_m M_y(p) M_{nc}(p) N_{np}(p),$$

$$M_c(p) = (c + xp) \left\{ k_m M_y(p) M_{np}(p) + i \left[ Jp^2(Lp + R) + k_\omega k_m p \right] \right\} N_y(p) N_{nc}(p) N_{np}(p).$$

Уравнение (5) описывает динамику привода без учёта уравнения закона управления, т. е. разомкнутого привода, и не включает уравнения объекта управления (исполнительного механизма), что соответствует описанию привода до “моментной точки”.

Для позиционного метода управления сигнал  $x(t)$  формируется по уравнению

$$x(t) = q_i^0(t) - \beta_i(t) \beta_i,$$

где индекс  $i$  соответствует номеру привода. Множитель введён с целью удобства перехода от рассмотрения динамических свойств привода в разомкнутом состоянии (при этом полагают  $\beta_i = 0$ ) к рассмотрению его в замкнутом ( $\beta_i = 1$ ) состоянии.

При управлении по вектору скорости сигнал  $x(t)$  равен разности заданного  $q^0(t)$  и текущего  $\dot{q}(t)$  значений производной обобщённой координаты:

$$x(t) = q_i^0(t) - \dot{q}_i(t) \beta_i,$$

Уравнение комплекса приводов исполнительной системы получается при совместном рассмотрении выражений (5) для всех степеней подвижности. Это уравнение в матричной операторной форме записи:

$$N(p)\mu = M_m(p)x - M_c(p)q. \quad (6)$$

Здесь  $N(p), M_m(p), M_c(p)$  – полиномиальные матрицы размера  $n \times n$  диагонального вида, элементами которых являются полиномы типа (5).

Уравнения законов управления в матричной форме записи:

$$x(t) = q^0(t) - \beta q(t)$$

или

$$x(t) = \dot{q}^0(t) - \beta \dot{q}(t).$$

В приведённых выражениях  $\beta$  – постоянная матрица размера  $n \times n$  диагонального вида с элементами  $\beta_i$ .

Описание исполнительной системы манипуляционного робота получают при совместном рассмотрении уравнений исполнительного механизма приводов и закона управления:

$$\begin{aligned} A(q)\dot{q} &= B(q, \dot{q})\dot{q} + C(q)F_b + \mu, \\ N(p)\mu &= M_m(p)x - M_c(p)q, \\ x &= q^0 - \beta q. \end{aligned} \quad (7)$$

Здесь для определённости представлено уравнение закона управления при позиционном управлении.

Наряду с (7) при исследовании динамических свойств и при проектировании исполнительной системы рассматриваются линеаризованные уравнения. Они получаются при совместном рассмотрении уравнений возмущённого движения исполнительного механизма, а также уравнений приводов:

$$\begin{aligned} a(q^*)\Delta\ddot{q} + b(q^*, \dot{q}^*)\Delta\dot{q} + c(q^*, \dot{q}^*, \ddot{q}^*, F_b^*)\Delta q &= \Delta\mu - \mu_b, \\ N(p)\Delta\mu &= M_m(p)\Delta x - M_c(p)\Delta q \\ \Delta x &= \Delta q^0(t) - \beta\Delta q \end{aligned} \quad (8)$$

Исследование уравнений исполнительной системы в форме (8) позволяет установить такие её характеристики, как устойчивость и качество процессов управления. На их основе выполняется расчёт структуры и параметров корректирующих устройств приводов.

Рассмотрим эти уравнения более подробно. В них коэффициенты матричных полиномов  $N(p), M_m(p), M_c(p)$  являются функциями только параметров приводов, а коэффициенты матриц  $a, b, c$  — функциями геометрических, инерционных характеристик звеньев исполнительного механизма, а также параметров  $q^*, \dot{q}^*, \ddot{q}^*$  невозмущённой траектории движения. Эта траектория, как правило, известна, поэтому коэффициенты матриц  $a, b, c$  являются известными функциями времени. Значит, в общем случае система уравнений (8) — нестационарная. Это накладывает определённые ограничения на методы, которые могут быть использованы при исследовании данной системы. В то же время существуют случаи, когда система уравнений (8) является стационарной. Эти случаи соответствуют уравнениям исполнительного механизма, линеаризованного относительно стационарных точек невозмущённой траектории, в которых  $\dot{q}^* = \ddot{q}^* = 0$ .

При этом  $q^*(t) = \text{const}$  и матрица в уравнениях возмущённого движения исполнительного механизма является неизменной во времени. Для исследования системы в стационарной точке применяют традиционные методы теории автоматического регулирования, основанные на вычислении передаточных функций и частотных характеристик системы. Практика проведения исследований и расчётов систем управления реальных манипуляционных роботов показывает, что эти методы часто могут быть достаточно успешно применены и для исследования нестационарной системы.

Такой подход к исследованию системы (8) основывается на предположении, что динамические процессы в исполнительной системе протекают так быстро, что в течение этих процессов координаты невозмущённой траектории  $q^*(t)$ , а следовательно, и коэффициенты матриц  $a$ ,  $b$  и  $c$  в уравнениях исполнительного механизма не успевают претерпеть существенных изменений. При таком подходе исследование системы (8) на непрерывной траектории  $q^*(t)$  проводится в ряде фиксированных точек  $q^*(t_k)$  этой траектории с координатами  $q^*(t_k) = \text{const}$ ,  $\dot{q}^*(t_k) = \text{const}$ .

Приняв высказанное выше предложение о стационарности системы (8), представим её в операторной форме записи. Для краткости символ приращения опустим. Обозначив через

$$h(p) = ap^2 + bp + c \tag{9}$$

— полиномиальную размера  $n \times n$  матрицу динамических свойств исполнительного механизма (нагрузки комплекса исполнительных приводов), систему (8) запишем в виде

$$\begin{aligned} h(p)q(t) &= \mu(t) - \mu_b(t), \\ N(p)\mu(t) &= M_m(p)x(t) - M_c(p)q(t), \\ x(t) &= q^0(t) - \beta q(t). \end{aligned} \tag{10}$$

Система уравнений (10) описывает динамику возмущённого движения исполнительной системы манипуляционного робота.

В этой системе матрицы  $N(p)$ ,  $M_m(p)$ ,  $M_c(p)$  являются матрицами диагонального вида. Это соответствует описанию комплекса отдельных независимых приводов, не имеющих перекрёстных каналов. Однако в силу недиагонального вида матрицы  $h(p)$ , определяющей динамические свойства исполнительного механизма, свойства системы управления степеней подвижности оказываются взаимозависимыми. Это обуславливает необходимость рассмотрения исполнительной системы манипуляционного робота как единой многосвязной системы.

Литература:

1. Поезжаева Е. В. Теория механизмов и механика систем машин. Промышленные роботы: учеб. пособие: в 3 ч. / Е. В. Поезжаева. — Пермь: Изд-во Перм. Гос. техн. ун-та, 2009. — Ч.2—185.
2. Сельвинский В. В., Ченских В. Р., Движение твердого тела на шероховатой плоскости, совершающей колебания. — В сб.: Роботы и робототехнические системы. — Иркутск; ИПИ, 1981.

## Связь между характеристиками многосвязной исполнительной системы и систем управления отдельных степеней подвижности

Патраков Евгений Сергеевич, студент  
Пермский национальный исследовательский политехнический университет

*Изложенный ниже подход позволяет установить важную для практики исследования и проектирования манипуляторов связь между динамическими характеристиками одноканальных следящих систем отдельных степеней подвижности и свойствами этих систем с учётом взаимовлияния.*

**Ключевые слова:** исполнительная система, системы управления, степени подвижности

## The relationship between the characteristics of multiply-executive system and the individual degrees of mobility management systems

Patrakov Yevgeniy Sergeevich

Если в исполнительном механизме зафиксировать все степени подвижности, кроме одной, например  $l$ -й, то уравнение его возмущённого движения преобразуется к виду

$$(a_{il}p^2 + c_{il})q_i(t) = \mu_i(t) - \mu_{el}(t) \quad (1)$$

или

$$h_{0l}(p)q_i(t) = \mu_i(t) - \mu_{el}(t),$$

где

$$h_{0l}(p) = a_{il}p^2 + c_{il}.$$

Составим матрицу

$$h_0(p) = \text{diag}[h_{01}(p)h_{02}(p)\dots h_{0n}(p)].$$

Тогда уравнение

$$h_0(p)q(t) = \mu(t) - \mu_e(t)$$

соответствует описанию динамики  $n$  независимых объектов, образующихся при поочерёдной расфиксации степеней подвижности исполнительного механизма. Заменяя этим уравнением первое уравнение в системе уравнений, описывающих динамику возмущённого движения исполнительного механизма манипуляционного робота, получим описание комплекса из  $n$  следящих систем управления отдельных степеней подвижности, не связанных между собой.

По отношению к комплексу подобных отдельных следящих систем также могут быть получены выражения для передаточных матриц, характеристического определителя и частотных характеристик. Однако в этом случае они имеют более простой вид и могут быть записаны для каждой из систем независимо. Так, в этом случае

$$\Phi = \text{diag}(\Phi_1\Phi_2\dots\Phi_n),$$

$$W = \text{diag}(W_1W_2\dots W_n),$$

где

$$\Phi_l = [h_{0l}(p) + W_{cl}(p) + W_{ml}(p)\beta_l]^{-1}, \quad (2)$$

$$W_l = [h_{0l}(p) + W_{cl}(p) + W_{ml}(p)\beta_l]^{-1}W_{ml}.$$

Выражения для частотных характеристик получают заменой в (2)  $p$  на  $j\omega$ . Выражения для характеристической матрицы  $H(p)$  комплекса отдельных следящих систем получим заменой  $h = h_0$ . Определитель такой матрицы обозначим через  $\Delta_0(p)$ :

$$\Delta_0(p) = \det\{h_0(p) + N^{-1}(p)[M_c(p) + M_m(p)\beta]\} \det N(p).$$

В силу диагонального вида матриц  $h_0, N, M_c, M_m, \beta$  это выражение можно переписать иначе:

$$\Delta_0(p) = \prod_{l=1}^n [h_{0l}(p) + W_{cl}(p) + W_{ml}(p)\beta_l] N_l(p).$$

Таким образом, характеристический определитель комплекса отдельных следящих систем равен произведению характеристических определителей этих систем.

Вычислим теперь характеристический определитель матрицы  $H(p)$  многосвязной исполнительного механизма:

$$\Delta(p) = \det[h(p) + W_c(p) + W_m(p)\beta] \det N(p), \quad (3)$$

Установим связь между характеристическими определителями многосвязной исполнительного механизма и комплекса систем управления отдельных степеней подвижности. Для этого преобразуем выражение (3), представив его в следующем виде:

$$\Delta(p) = \det[E + R(p)] \Delta_0(p), \quad (4)$$

где  $R(p)$  – матрица передаточных функций вида

$$R(p) = [h(p) + W_c(p) + W_m(p)\beta]^{-1} [h(p) - h_0(p)]. \quad (5)$$

Из выражения (4) следует, что характеристический определитель многосвязной исполнительного механизма равен произведению характеристического определителя комплекса отдельных следящих систем на множитель  $Q(p)$ :

$$Q(p) = \det[E + R(p)],$$

т. е.

$$\Delta(p) = Q(p)\Delta_0(p). \quad (6)$$

Известно, что определитель  $Q(p)$  можно представить в виде

$$Q(p) = 1 + K(p), \quad (7)$$

где  $K(p)$  – дробно-рациональная функция от  $p$ .

Тогда уравнение (6) можно записать так:

$$\Delta(p) = [1 + K(p)]\Delta_0(p). \quad (8)$$

Выражения (6) и (8) устанавливают важную для практики зависимость между определителями  $\Delta(p)$  и  $\Delta_0(p)$ .

Выясним физический смысл матрицы  $R(p)$ .

$$h_0(p)q(t) = \mu(t) - y(t) - \mu_0(t), \quad (9)$$

где вектор сигналов

$$y(t) = [h(p) - h_0(p)]q(t). \quad (10)$$

Описание исполнительного механизма (9) соответствует представлению многомерного объекта управления в виде комплекса из  $n$  независимых объектов с одной степенью свободы, замкнутых вектором  $y(t)$  сигналов обратной связи.

Выражение  $[h(p) + W_c(p) + W_m(p)\beta]^{-1}$  представляет собой передаточную функцию системы по возмущающему воздействию, связывающую значения векторов  $q$  и  $\mu_0$ . Поэтому можно записать:

$$q(t) = \Phi(p)[h(p) - h_0(p)]q(t),$$

$$R(p) = \Phi(p)[h(p) - h_0(p)].$$

Последнее представляет собой передаточную матрицу разомкнутого контура обратных связей, обусловленных взаимовлиянием степеней подвижности исполнительного механизма.

Рассмотрим теперь связь между выражениями для определения передаточных матриц исполнительной системы и передаточными матрицами комплекса следящих систем отдельных степеней подвижности.

Передаточную матрицу  $W_0(p)$  исполнительной системы в разомкнутом (по каналам взаимовлияния) состоянии получим подстановкой вместо матрицы  $h(p)$  матрицы  $h_0(p)$ . Получим

$$W_0(p) = [h_0(p) + W_c(p) + W_m(p)\beta]^{-1} W_m(p). \quad (11)$$

Тогда выражение для передаточной матрицы многосвязной исполнительной системы представим так:

$$W(p) = (h_0 + W_c + W_m\beta + h - h_0)^{-1} W_m = (E + R)^{-1} (h_0 + W_c + W_m\beta)^{-1} W_m = (E + R)^{-1} W_0(p)$$

или

$$W(p) = [E + R]^{-1} W_0(p). \quad (12)$$

Из последнего выражения следует, что передаточная матрица многосвязной исполнительной системы равна передаточной матрице комплекса отдельных систем, умноженной на обратную по отношению к матрице  $E + R(p)$  матрицу:

$$S(p) = [E + R]^{-1}. \quad (13)$$

Заметим ещё раз, что уравнения исполнительной системы без учёта взаимовлияния степеней подвижности исполнительного механизма соответствуют уравнениям одноканальных следящих систем, математическое описание которых значительно проще. Изложенный выше подход позволяет установить важную для практики исследования и проектирования манипуляторов связь между динамическими характеристиками одноканальных следящих систем отдельных степеней подвижности и свойствами этих систем с учётом взаимовлияния.

Литература:

1. Поезжаева Е. В. // Теория механизмов и механика систем машин. Промышленные роботы: учеб. пособие: в 3 ч. / Е. В. Поезжаева. — Пермь: Изд-во Перм. Гос. техн. ун-та, 2009. — Ч. 2 — 185.
2. Сельвинский В. В., Ченских В. Р., Движение твердого тела на шероховатой плоскости, совершающей колебания. — В сб.: Роботы и робототехнические системы. — Иркутск; ИПИ, 1981.
3. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. — М. Мир, 1983. Кн. 2.

## Сравнительный анализ алгоритмов нейронной сети и деревьев принятия решений модели интеллектуального анализа данных

Певченко Светлана Сергеевна, аспирант;  
Блужин Вадим Александрович, аспирант  
Северо-Кавказский федеральный университет (г. Ставрополь)

Прогресс в информационной сфере, а именно, развитие обработки данных приводят к огромному объему информации. В результате анализа значительных объемов информации возникает проблема представления требуемых данных в виде, подходящем для анализа [1]. Основным требованием, предъявляемым к информационной системе, ориентированной на анализ данных, является своевременное обеспечение аналитика всей информацией, необходимой для принятия решения.

Интеллектуального анализа данных (Data Mining) представляет собой сочетание обширного математического инструментария и последних достижений в сфере информационных технологий. В сфере анализа данных гармонично объединились строго формализованные методы и методы неформального анализа, т.е. количественный и качественный анализ данных [2].

Основу методов Data Mining составляют всевозможные методы классификации, моделирования и прогнозирования. Знания, добываемые методами Data mining, принято представлять в виде моделей.

Модели представления знаний Data Mining подразделяют на:

- 1) ассоциативные правила;
- 2) деревья решений;
- 3) кластеры;
- 4) математические функции.

Методы построения таких моделей принято относить к области искусственного интеллекта. К алгоритмам интеллектуального анализа данных относятся: байесовские сети, деревья решений, нейронные сети, метод ближайшего соседа, метод опорных векторов, линейная регрессия, корреляционно-регрессионный анализ, иерархические методы кластерного анализа, неиерархические методы кластерного анализа, методы поиска ассоциативных правил (в частности алгоритм Apriori) метод ограниченного перебора эволюционное программирование и генетические алгоритмы, разнообразные методы визуализации данных и множество других методов [5].

Большинство аналитических методов, используемые в технологии Data Mining являются наиболее известными математические алгоритмы и методы. Новым в их применении является возможность их использования при решении тех или иных конкретных проблем, обусловленная появившимися возможностями технических и программных средств.

В данной статье производится сравнительный анализ двух алгоритмов (нейронной сети и деревьев принятия решений) интеллектуального анализа данных на основе

задачи: оценка влияния гендерной принадлежности студента на его успеваемость в ВУЗе. Для проведения интеллектуального анализа данных будем использовать компонент Microsoft SQL Server 2012 — Microsoft Analysis Services.

В службы Analysis Services представлено несколько алгоритмов для использования в решениях интеллектуального анализа данных. Эти алгоритмы являются реализациями некоторых из наиболее популярных методов, используемых в интеллектуальном анализе данных.

Выбор правильного алгоритма для использования в конкретной аналитической задаче может быть достаточно сложным. В то время как можно использовать различные алгоритмы для выполнения одной и той же задачи, каждый алгоритм выдает различный результат, а некоторые алгоритмы могут выдавать более одного типа результатов [2]. Например, можно использовать алгоритм дерева принятия решений (Майкрософт) не только для прогнозирования, но также в качестве способа уменьшения количества столбцов в наборе данных, поскольку дерево принятия решений может идентифицировать столбцы, не влияющие на конечную модель интеллектуального анализа данных.

Дерево решений, связанное с большинством других методов, используют в рамках критериев отбора так же для поддержки выбора определенных данных в рамках общей структуры. Дерево решений начинают с простого вопроса, который имеет два ответа (но возможно и больше). Каждый ответ приводит к следующему вопросу помогая классифицировать и идентифицировать данные или делать прогнозы. Деревья решений чаще всего используются с системами классификации информации системами прогнозирования, где различные прогнозы могут основываться на прошлом историческом опыте, который помогает построить структуру дерева решений и получить результат [3].

Искусственная нейронная сеть представляет собой систему соединенных и взаимодействующих между собой простых процессоров (искусственных нейронов). Такие процессоры обычно довольно просты (особенно в сравнении с процессорами, используемыми в персональных компьютерах). Каждый процессор подобной сети имеет дело только с сигналами, которые он периодически получает, и сигналами, которые он периодически посылает другим процессорам [4]. И, тем не менее, будучи соединенными в достаточно большую сеть с управляемым взаимодействием, такие локально простые процессоры вместе способны выполнять довольно сложные задачи.

Таблица 1. Атрибуты представления набора данных

Название атрибута	Значение
Pol	Пол студента
institute	Факультет, на котором обучается студент
specName	Специальность, на которой обучается студент
nformob	Форма обучения
ncontstatus	Основа финансирования
fo	ФИО студента
ne_attestovan	Количество не аттестованных дисциплин
ne_ayvka	Количество неявок на аттестацию
ne_dopysk	Количество не допусков к аттестации
ne_zachet	Количество не зачетных дисциплин
Two	Количество неудовлетворительных оценок
Three	Количество удовлетворительных оценок
Four	Количество оценок «хорошо»
five	Количество оценок «отлично»
zachet	Количество зачетных дисциплин
socialActivityEventName	Название мероприятия, в котором участвовал студент
socialActivityRateName	Роль студента в данном мероприятии

В качестве исходных данных мы используем набор данных из базы ВУЗа. И на основе успеваемости и социальной активности студента найдем вероятность гендерной принадлежности.

Для выявления черт, присущих студентам создадим представление, в котором будет содержаться информация о студентах. Эти данные мы будем использовать в качестве материала для машинного обучения и выявления атрибутов, влияющих на повышения данной вероятности.

Необходимо понимать, что не все параметры предметной области влияют на выходной вектор. Параметры, которые не оказывают влияния на выходной вектор, называют незначимыми для него. Естественно, что незначимые параметры не следует включать в список параметров входного вектора. Однако на практике часто бывает трудно и даже невозможно установить, какие из параметров предметной области являются значимыми, а какие нет. Поэтому на первом этапе в входной вектор включают как можно больше параметров [6]. Данные параметры были выбраны как наиболее влияющие на гендерную принадлежность студента. После первоначального создания, обучения и тестирования сети, незначимые параметры были выявлены путем возмущения входных параметров и анализа реакции сети на эти возмущения.

Сеть оставалась такой же, но на вход подавались 18 параметров, поочередно убирая каждый из входных параметров. Сеть снова обучалась и тестировалась, а на основе прогноза и исходных данных вычислялась погрешность обобщения. Если погрешность не реагирует или слабо реагирует на нехватку входного параметра, то этот параметр является незначимым.

После выявления и исключения входных нейронов, соответствующих незначимым параметрам, качество нейронной сети улучшается, так как снижается ее размер-

ность. Однако надо учитывать, что слишком малое число входных параметров может привести к тому, что нейронной сети не хватит данных для выявления требуемых от нее закономерностей предметной области.

При выборе алгоритма «Нейронные сети» в модели анализа мы можем определить какие значения атрибутов повышают вероятность попадания пользователя в целевую группу (рис. 1).

Построив «Диаграмму точности прогнозов» (рис. 2) для алгоритма Нейронные сети, можно отметить, что прогнозируемая модель не идеальна, но с высокой вероятностью предсказания: Оценка — 0,85; Правильное заполнение — 44,46%; Вероятность предсказания — 81,30%.

Средство просмотра деревьев в службах Microsoft SQL Server Службы Analysis Services отображает деревья принятия решений, построенные с помощью алгоритма дерева принятия решений. Алгоритм дерева принятия решений — это гибридный алгоритм дерева принятия решений, который поддерживает и классификацию, и регрессию. Поэтому это средство просмотра можно использовать для просмотра моделей, основанных на алгоритме линейной регрессии. Алгоритм дерева принятия решений используется для прогнозирующего моделирования дискретных и непрерывных атрибутов.

Выделяются следующие характеристики, влияющие на прогнозируемый элемент (рис. 3).

Пошагово рассмотрев дерево принятия решений, можно составить алгоритм влияния гендерного признака на успеваемость (рис. 4).

Используя данный алгоритм можно выявить с процентной долей вероятности гендерную принадлежность студента (рис. 5).

Построив «Диаграмму точности прогнозов» (рисунок 6) для алгоритма «Дерево принятия решений», можно от-

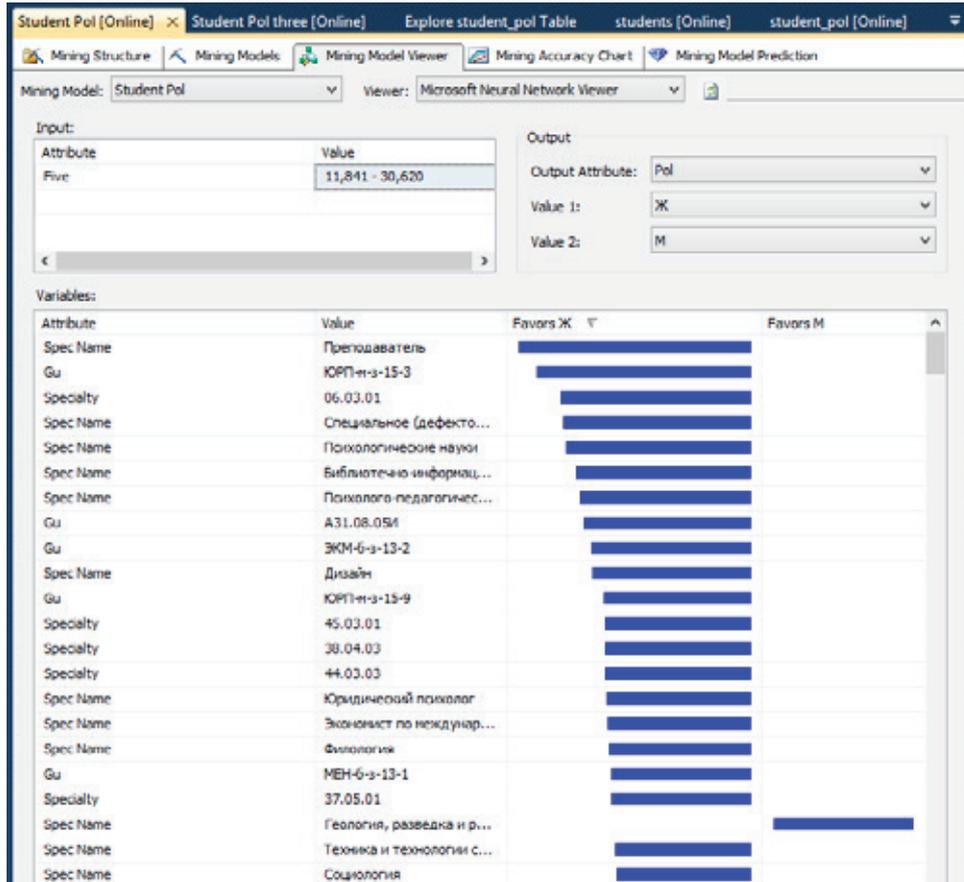


Рис. 1. Результат анализа с помощью нейронных сетей

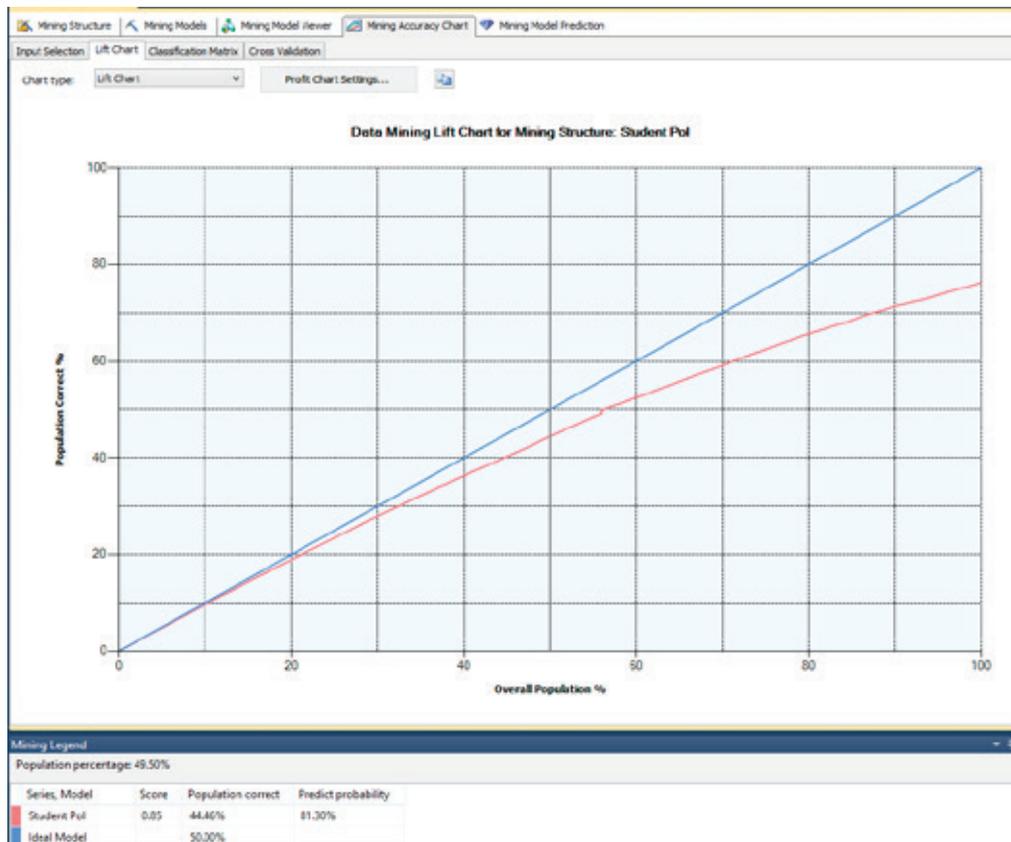


Рис. 2. Оценка точности прогноза с помощью нейронной сети

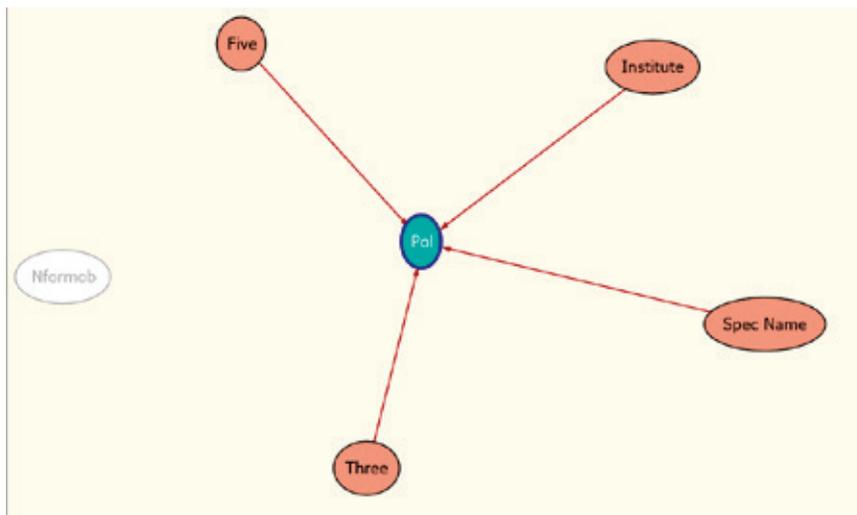


Рис. 3. Сеть зависимостей при использовании алгоритма дерева принятия решений

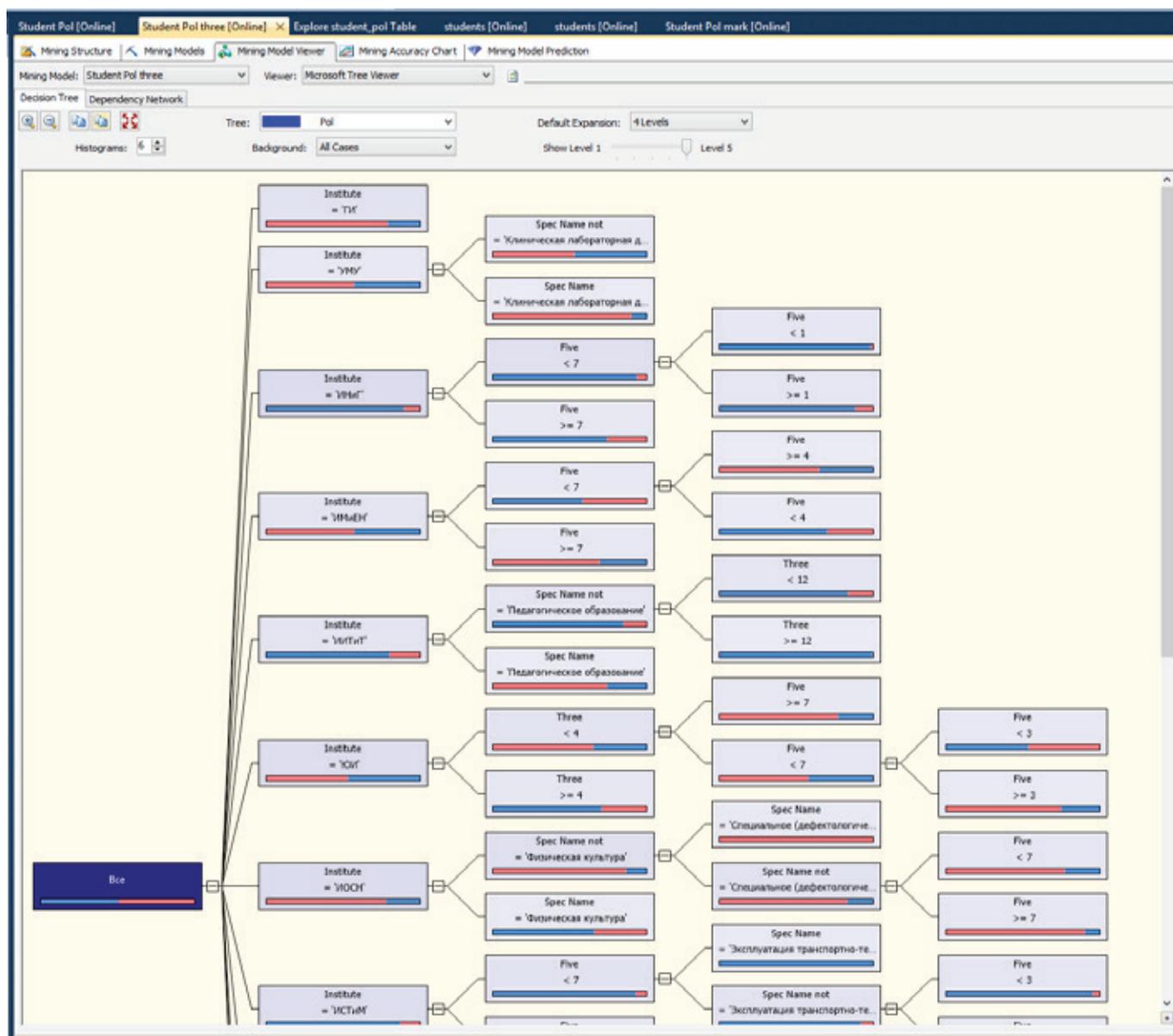


Рис. 4. Использование алгоритма дерева принятия решений

Expression	Pol	pol	FIO	five
0.784347231715653	Ж	Ж	Лазебная Карина Владимировна	0
0.784347231715653	Ж	М	Кривцов Александр Сергеевич	10
0.784347231715653	Ж	Ж	Петрова Марина Владимировна	5
0.784347231715653	Ж	Ж	Куролесова Анна Викторовна	5
0.784347231715653	Ж	Ж	Маркарян Инна Витальевна	28
0.784347231715653	Ж	Ж	Ментешиди Виктория Дмитриевна	2
0.784347231715653	Ж	Ж	Степанова Валерия Александровна	3
0.784347231715653	Ж	Ж	Шишкова Алина Юрьевна	2
0.784347231715653	Ж	Ж	Горикова Дарья Сергеевна	10
0.784347231715653	Ж	Ж	Шилова Анастасия Петровна	29
0.784347231715653	Ж	М	Джафаров Руслан Иранович	2
0.784347231715653	Ж	Ж	Машукова Диана Руслановна	24
0.784347231715653	Ж	Ж	Гунькина Маргарита Викторовна	18
0.784347231715653	Ж	Ж	Курамшина Жанна Рустямовна	16
0.784347231715653	Ж	Ж	Суханова Алина Андреевна	16
0.784347231715653	Ж	Ж	Сухина Виктория Николаевна	12
0.784347231715653	Ж	Ж	Шавкута Елизавета Андреевна	8
0.784347231715653	Ж	М	Титаренко Сергей Игоревич	5
0.784347231715653	Ж	Ж	Семенова Любовь Игоревна	10
0.784347231715653	Ж	Ж	Шкуро Кристина Владимировна	25
0.784347231715653	Ж	М	Расулов Олег Олегович	10
0.784347231715653	Ж	Ж	Степаненко Виолетта Максимовна	19
0.784347231715653	Ж	Ж	Сенина Инна Вадимовна	3
0.784347231715653	Ж	М	Юшкевич Вячеслав Юрьевич	27
0.784347231715653	Ж	Ж	Ермолова Анастасия Константиновна	15
0.784347231715653	Ж	Ж	Савинова Анастасия Валерьевна	3
0.784347231715653	Ж	Ж	Кострицкая Дарья Витальевна	6
0.784347231715653	Ж	Ж	Лапта Полина Николаевна	7
0.784347231715653	Ж	Ж	Гончарова Ксения Александровна	5
0.784347231715653	Ж	Ж	Жукова Наталья Викторовна	11
0.784347231715653	Ж	Ж	Ищенко Анастасия Александровна	24
0.784347231715653	Ж	Ж	Черезова Екатерина Валерьевна	20
0.784347231715653	Ж	Ж	Шилова Анастасия Петровна	29
0.784347231715653	Ж	Ж	Шипилова Алеся Александровна	11
0.784347231715653	Ж	Ж	Шкуро Кристина Владимировна	25
0.784347231715653	Ж	Ж	Машукова Диана Руслановна	24
0.784347231715653	Ж	Ж	Музаева Лана Вахтанговна	4
0.784347231715653	Ж	Ж	Потапова Кристина Викторовна	7
0.784347231715653	Ж	М	Чапанов Рамазан Хасанович	0
0.784347231715653	Ж	Ж	Сидоренко Кристина Сергеевна	2
0.784347231715653	Ж	Ж	Кравченко Диана Алексеевна	3
0.784347231715653	Ж	Ж	Миронова Ксения Андреевна	9
0.784347231715653	Ж	Ж	Кобзева Юлия Сергеевна	4
0.784347231715653	Ж	Ж	Бойко Надежда Игоревна	8
0.784347231715653	Ж	М	Кравцов Елисей Юлианович	6
0.784347231715653	Ж	Ж	Маловичко Алина Витальевна	1
0.784347231715653	Ж	Ж	Шянова Алла Александровна	1
0.784347231715653	Ж	Ж	Бесланеева Карина Зауровна	12
0.784347231715653	Ж	Ж	Грищенко Алёна Васильевна	30
0.784347231715653	Ж	Ж	Джафарова Айнур Матлаб Кызы	31
0.784347231715653	Ж	М	Алхиров Сергей Вячеславович	8

Рис. 5. Вероятности гендерной принадлежности студента

метить, что прогнозируемая модель близка к идеальной: Оценка — 0,84; Правильное заполнение — 43,16%; Вероятность предсказания — 78,43%.

По матрице классификации, изображенной на рисунке 7 можно рассчитать вероятность ошибки по каждому исследуемому алгоритму. В случае с использованием алгоритма деревьев принятия решений, результаты которого изображены в верхней части рисунка 7, полученная вероятность ошибки немного меньше, чем при использовании

нейронных сетей. Но в следствие переобучения наблюдается увеличения ошибок первого рода.

Проанализировав методы интеллектуального анализа данных можно отметить следующие преимущества нейронных сетей перед традиционными вычислительными системами:

- нейронная сеть способная решать задачи, в которых неизвестны закономерности развития ситуации и зависимости между входными и выходными данными;

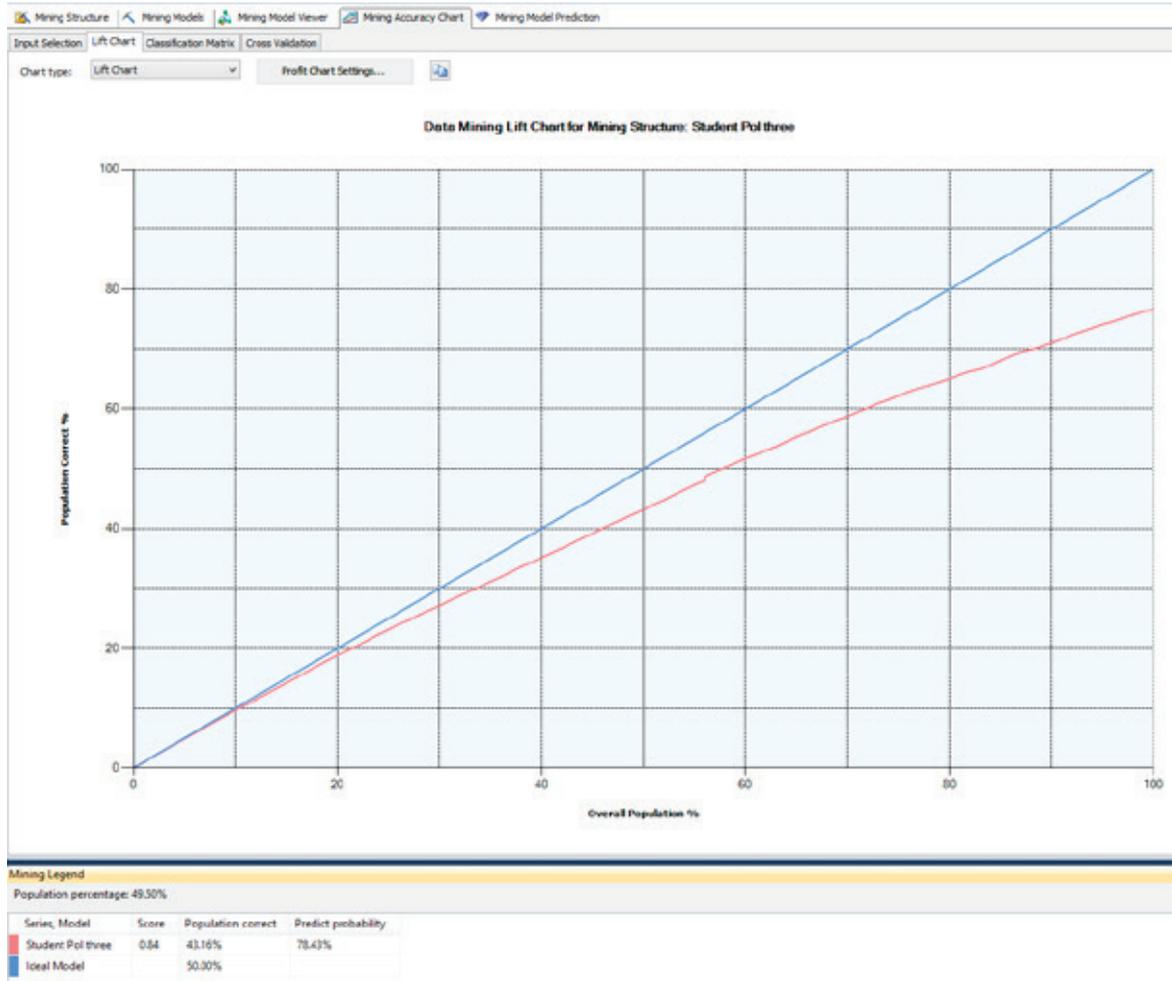


Рис. 6. Диаграмма точности прогнозов для структуры интеллектуального анализа данных: алгоритм дерева принятия решений

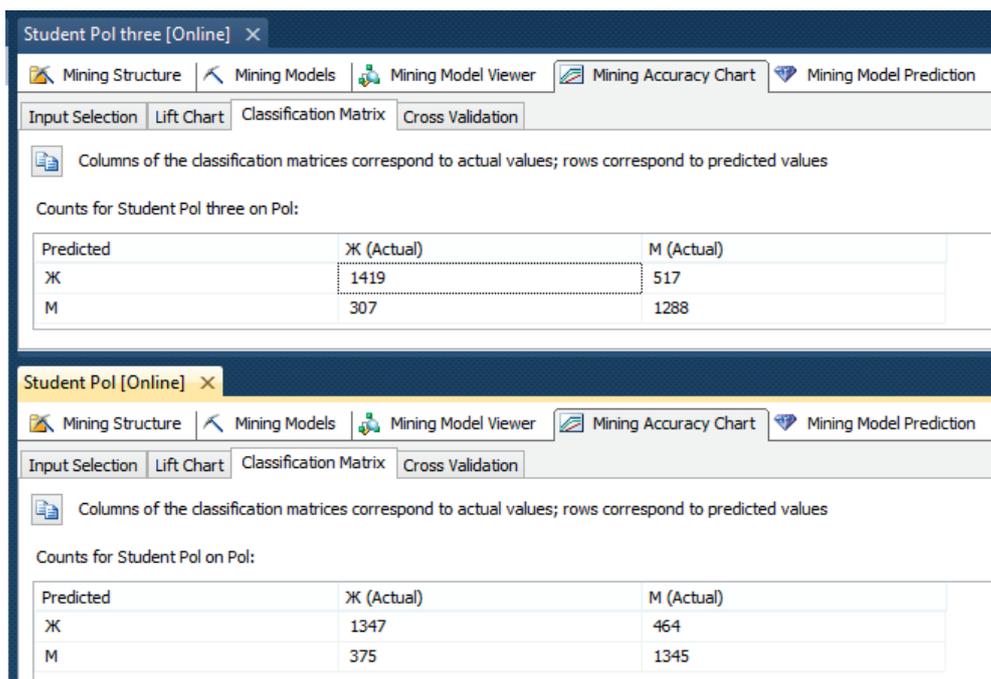


Рис. 7. Сравнения точности прогнозируемых результатов исследуемыми алгоритмами

- возможность работы при наличии большого числа неинформативных, шумовых входных сигналов;
- нейронная сеть способна адаптироваться к изменениям окружающей среды. Т. е. нейронные сети, обученные в определенной среде, могут без труда быть переучены для работы в условиях незначительных колебаний параметров среды;

- нейронные сети обладают потенциальным сверхвысоким быстродействием за счет использования массового параллелизма обработки информации;

Преимущества использования деревьев решений:

- быстрый процесс обучения;
- генерация правил в областях, где эксперту трудно формализовать свои знания;
- извлечение правил на естественном языке;
- интуитивно понятная классификационная модель;

- высокая точность прогноза, сопоставимая с другими методами (статистика, нейронные сети);
- построение непараметрических моделей.

В силу этих и многих других причин, методология деревьев решений является важным инструментом в работе специалиста-аналитика.

В результате исследования было установлено, что для решения данной задачи лучше подходит алгоритм дерева принятия решений.

Сравнительный анализ выбранных и примененных к решению задачи методов интеллектуального анализа данных показывает, что не существует универсального алгоритма для извлечения новых знаний. При использовании любого алгоритма важно понимать его достоинства и недостатки, учитывать природу данных, с которыми он лучше работает и объективно оценивать способность алгоритма к масштабируемости.

Литература:

1. Бахвалов Н. С., Лапин А. В., Чижонков Е. В. Численные методы в задачах и упражнениях. — М.: Высшая школа, 2010.
2. Башмаков А. И., Башмаков И. А. Интеллектуальные информационные технологии: Учеб. пособие. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005.
3. Дороганов В. С., Пимонов А. Г. Методы статистического анализа и нейро-сетевые технологии для прогнозирования показателей качества металлургического кокса / Дороганов В. С., Пимонов А. Г. // Вестник Кемеровского государственного университета. — 2014. — № 4, Т. 3. — С. 123–129.
4. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы = Sieci neuronowe, algorytmy genetyczne i systemy rozmyte. — 2-е изд. — М.: Горячая линия-Телеком, 2010. — С. 452.
5. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника — теория и практика. — М.: Вильямс, 2010.
6. Хайкин С. Нейронные сети: Полный курс. Пер. с англ. Н. Н. Куссуль, А. Ю. Шелестова. 2-е изд., испр. — М.: Вильямс, 2008.

## Исследование движения транспортного робота по произвольной поверхности методом цифрового моделирования

Пехтерев Владислав Игоревич, студент

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

*Система управления автономного транспортного робота решает в числе прочих задачу обеспечения безопасности его движения, которая заключается в своевременном предсказании аварийных ситуаций: опрокидывание транспортного робота (ТР), посадка его на днище и пр.*

Обнаружение аварийной ситуации может производиться на основании оценки координат состояния ТР в упрежденных точках трассы, удаленных от робота на расстояние, превосходящее длину его тормозного пути. Упрежденные координаты состояния ТР вычисляются в бортовой прогнозирующей модели, решающей уравнения движения робота. Входными сигналами прогнозирующей модели являются координаты поверхности в упрежденных точках трассы, получаемые с профилометров.

Достаточная адекватность ТР и его математической модели достигается при описании движения робота системой обыкновенных дифференциальных уравнений.

При синтезе системы обеспечения безопасности движения решается задача построения математической модели робота, обладающей наряду с возможно большей адекватностью простотой технической реализации. Сложность модели

определяется выбором системы допущений при ее построении, а адекватность модели оценивается в процессе ее исследования, которое проводится на ЦВМ, что требует разработки специального математического обеспечения. В состав такого математического обеспечения, разработанного для колесного ТР с торсионной подвеской колес (рис. 1), входят математическая модель движения ТР и модель трассы.

Математическая модель движения ТР строится в соответствии с принятой системой допущений и состоит из отдельных блоков. Первый блок описывает динамику подвески ТР, включая торсион и балансир колеса. Входными сигналами блока являются перемещение ступицы колеса  $Y_{ict}$  и контактный угол  $\varphi_i$ , выходными — силы  $F_{ix}$  и  $F_{iy}$ , действующие на платформу ТР со стороны  $i$ -й подвески. Уравнения для сил  $F_{ix}$  и  $F_{iy}$  имеют вид

$$F_{ix} = F_i \sin(\vartheta - \varphi_i), \quad F_{iy} = F_i \cos(\vartheta - \varphi_i),$$

$$F_i = \frac{c_i(\alpha_i - \alpha_{инз}) + h_i d\alpha_i / dt}{L \sin(\alpha_i - k(\vartheta - \varphi_i))} I(\alpha_i - \alpha_{инз})$$

где  $k = 1$  для подвесок колес, укрепленных на платформе впереди центра масс, и  $k = -1$  для подвесок колес, укрепленных на платформе сзади центра масс;  $\vartheta$  — угол дифферента платформы ТР;  $L$  — длина балансира колеса;  $c_i$  и  $h_i$  — жесткость и демпфирование подвески;  $\alpha_i, \alpha_{инз}$  — текущее и начальное значение угла закрутки торсиона;  $I(\cdot)$  — функция Хэвисайда.

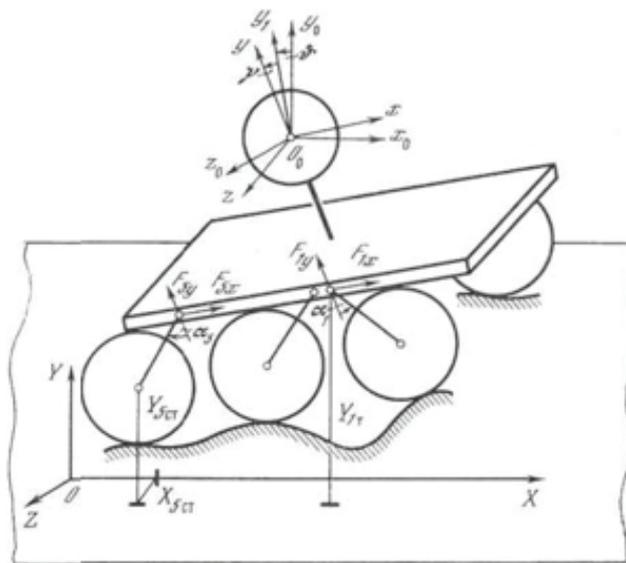


Рис. 1

Текущее значение угла закрутки торсиона определяется по выражению

$$a_j = \arccos\left(\frac{Y_{jT} - Y_{jcT}}{L} * \cos \gamma\right) + k\vartheta$$

Где  $\gamma$  — угол крена платформы;  $Y_{iT}$  — ордината точки крепления к платформе  $i$ -й подвески. Значение ординаты  $Y_{iT}$  определяется из выражений

$$Y_{1T} = Y_0 - H \cos \vartheta \cos \gamma + l_1 \sin \vartheta - B \sin \gamma$$

$$Y_{2T} = Y_{1T} + 2B \sin \gamma$$

$$Y_{jT} = Y_{jT} - \sin \vartheta (l_j + k l_j) \quad \forall j = 3, 4, \dots,$$

где  $j = 1$  для колес правого борта и  $j = 2$  для колес левого борта;  $Y_0$  — ордината центра масс ТР;  $H$  — высота поднятия центра масс над платформой;  $l_j$  — проекция на продольную ось платформы  $0_0x$  расстояния между центром масс и точкой крепления  $j$ -й подвески;  $2B$  — ширина платформы.

Второй блок описывает движение платформы ТР. Входными сигналами блока являются действующие на нее со стороны подвесок силы, выходным — координата состояния ТР.

Уравнения движения платформы имеют вид

$$M \frac{d^2 Y_0}{dt^2} = \sin \vartheta \sum_i F_{ix} + \cos \vartheta \cos \gamma \sum_i F_{iy} - Mg$$

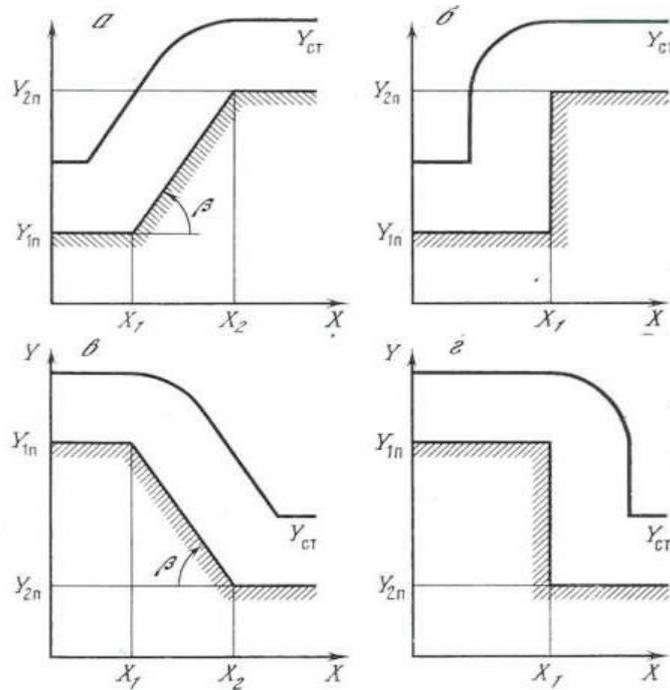


Рис. 2

$$J_x \frac{d^2 \gamma}{dt^2} = B(\sin \vartheta \cos \gamma \sum_i (-1)^i F_{ix} + \cos \vartheta \sum_j F_{iy})$$

$$J_y \frac{d^2 \vartheta}{dt^2} = \sum_i F_{ix} (H \cos \gamma - (-1)^i B \sin \gamma) - \cos \gamma \sum_i F_{iy}$$

где  $M$  — масса ТР;  $J_x$  и  $J_y$  — осевые моменты инерции;  $g$  — ускорение силы тяжести.

Каждый блок оформлен в виде подпрограммы. Сборка модели осуществляется управляющей программой. Фактические параметры этой программы задают значения параметров ТР, его конфигурацию, а также позволяют вносить упрощения в исследуемую математическую модель с учетом принятых допущений.

Модель трассы позволяет имитировать детерминированные и стохастические трассы движения ТР. Модель учитывает обкатку поверхности колесом.

Входными параметрами модели является абсцисса ступицы колеса  $X_{CT}$ , выходными — ее ордината  $Y_{CT}$ , а также значение контактного угла  $\varphi$ .

Модель детерминированной поверхности составлена из типовых препятствий: эскарп, контрэскарп, спуск и подъем. Зависимости ординаты ступицы колеса радиуса  $R$  и значения контактного угла от положения колеса относительно типового препятствия имеют следующий вид:

Подъем и эскарп (рис. 2, а, б):

$$Y_{CT} = \begin{cases} Y_{1П} + R \\ Y_{1П} + A_1 \\ Y_{2П} + A_2 \\ Y_{2П} + R \end{cases}$$

$$\varphi = \begin{cases} 0 - n\mu - X_{CT} \leq X_1 - B_1 \\ \beta - n\mu - X_1 - B_1 \leq X_{CT} \leq X_2 - B_2 \\ \arctg\left(\frac{X_2 - X_{CT}}{A_2}\right) - n\mu - X_2 - B_2 \leq X_{CT} \leq X_2 \\ 0 - n\mu - X_{CT} \geq X_2 \end{cases}$$

Спуск и контрэскарп (рис. 2, в, е):

$$Y_{CT} = \begin{cases} Y_{1П} + R \\ Y_{1П} + A_3 \\ Y_{1П} + A_1 \\ Y_{2П} + R \end{cases}$$

$$\varphi = \begin{cases} 0 - n\mu - X_{CT} \leq X_1 \\ \arctg\left(\frac{X_2 - X_{CT}}{A_3}\right) - n\mu - X_1 \leq X_{CT} \leq X_1 + B_2 \\ -\beta - n\mu - X_1 + B_1 \leq X_{CT} \leq X_2 + B_1 \\ 0 - n\mu - X_{CT} \geq X_2 + B_1 \end{cases}$$

Здесь

$$A_1 = (X_{CT} - X_1)tg\beta + R / \cos \beta; A_2 = (R^2 - (X_{CT} - X_2)^2)^{1/2}$$

$$A_3 = (R^2 - (X_{CT} - X_1)^2)^{1/2}; B_1 = Rtg(\beta / 2); B_3 = R \sin \beta$$

Для эскарпа и контрэскарпа =  $X_2$  и  $X_3 = Z/2$ . Значения  $Y_{CT}$  и  $\varphi$  вычисляются по приведенным выражениям в подпрограммах. Сборка модели детерминированной трассы осуществляется управляющей программой.

Модель стохастической трассы задается спектральной плотностью распределения ординат поверхности и представляется суперпозицией  $n$  гармоник

$$Y_n(X_{П}) = \sum_{i=1}^n a_i \cos(\Omega_i X_n + \lambda_i)$$

Для определения координат ступицы колес при движении ТР по поверхности построен фильтр, позволяющий переходить от координат поверхности ( $X_n, Y_n$ ) к координатам ступицы колеса ( $X_{cm}, Y_{cm}$ ). При создании фильтра предполагалось, что траектория движения ступицы колеса представляет собой суперпозицию траекторий, получаемых при движении колеса по каждой из гармонических составляющих:

$$Y_{in}(X_n) = a_i \cos(\Omega_i X_n)$$

Траектория движения ступицы колеса при его движении по  $Y_{in}$  описывается следующими выражениями:

$$Y_{ICT}(\eta) = \eta - ma_j R \sin(\Omega_i \eta), X_{ICT}(\eta) = mR - a_i \cos(\Omega_i \eta)$$

Где

$$\eta = \begin{cases} X_{П} - n\mu - X_{П} \in \left[-\frac{\pi}{\Omega_i}, -X_1\right] \cup \left[X_1, \frac{\pi}{\Omega_i}\right] \\ X_1 - n\mu - X_{П} \in (-X_1, X_1) \end{cases}$$

$X_1$  — корень уравнения  $\eta - ma_j R \sin(\Omega_i \eta) = 0$  на интервале изоляции  $\eta = (0, \frac{\pi}{\Omega_i})$ . Разложение приведенных выражений в ряд Фурье позволило получить коэффициент передачи фильтра, связывающего ординату ступицы колеса с ординатой поверхности:

$$K_i = \frac{Y_{jCT}}{Y_{jn}} = \begin{cases} 1 - n\mu - \omega \leq 1 \\ (0,41\omega^2 + 0,51)^{-1} - n\mu - \omega \geq 1 \end{cases}$$

$$\omega = \Omega_i (a_i R)^{1/2}$$

Таким образом, траектория движения ступицы колеса описывается выражением

$$Y_{CT}(X_{CT}) = \sum_{i=1}^n k_j a_i \cos(\Omega_i X_{CT} + \lambda_i)$$

Анализ полученного выражения показал, что погрешность в определении  $Y_{CT}$ , вызванная сделанными допущениями, не превышает 8%. Модель стохастической поверхности оформлена в виде подпрограммы. Фактические параметры подпрограммы задают количество и распределение амплитуд гармоник разложения модели стохастической поверхности.

Приведенное математическое обеспечение составляет подсистему автоматизированного проектирования систем обеспечения безопасности движения автономных ТР

Литература:

1. Поезжаева Е. В. Промышленные роботы: учеб. пособие: в 3 ч. — Пермь: Изд-во Перм. гос. тех. ун-та, 2009. — Ч. 2. — 185 с. 2.
2. Поезжаева Е. В., Васенин А. С., Шумков А. Г. Роботизация фермерских хозяйств по обработке растений / Е. В. Поезжаева, А. С. Васенин, А. Г. Шумков // Научно-технический журнал «Вестник» ВСГУТУ. — 2014 — Вып. 3 — С. 59–62
3. Козырев Ю. Г. Применение промышленных роботов. Изд-во: М.: КноРус, 2011

## Возможности предварительной ориентации деталей в робототехнических комплексах

Пехтерев Владислав Игоревич, студент

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

*Внедрение промышленных роботов в производство, в частности, в процессе сборки и обработки деталей, ставит проблемы предварительной ориентации деталей относительно охвата манипулятора.*

**Ключевые слова:** системы ориентирования, промышленные роботы, математическая модель

Существующие системы ориентирования можно разделить по принципу действия на следующие группы:

- механические системы ориентирования (МСО);
- автоматические (АВСО);
- электромагнитные (ЭМСО);
- адаптивные (АДСО).

В системах МСО ориентирование детали происходит за счет динамического взаимодействия с некоторой рабочей поверхностью. При этом определяющую роль играют либо инерционные характеристики детали как твердого тела, либо особенности ее формы, а также силы тяжести, трения, силы инерции в относительном движении.

Системы АВСО представляют собой совокупность фиксаторов, захватов, толкателей и т. д. В этом случае положение детали в каждый момент времени однозначно определяется положением ориентирующих механизмов. Такие системы требуют предварительного ориентирования деталей с точностью до конечного числа положений.

В системах ЭМСО магнитная или токопроводящая деталь, попадая в особый образом организованное магнитное поле, изменяет его напряжённость, что в конечном итоге приводит к развороту детали в требуемое положение.

В системах АДСО отслеживается положение детали в каждый момент времени, в зависимости от этого формируется управляющий сигнал на привод ориентирующего механизма, будь это рабочая поверхность или охват манипулятора.

Последние три системы обладают большей надёжностью и точностью выполнения операций, но имеют ряд существенных недостатков. Системы АВСО узко специализированы на деталях с конкретными геометрическими параметрами, что оправдывает только при крупносерийном производстве. Системы ЭМСО пригодны для деталей с ярко выраженной асимметрией, изготовленных из магнитных или токопроводящих материалов. Системы АДСО хотя и имеют широкие перспективы, но пока еще дорогостоящи и далеки от совершенства.

Между тем динамика механического воздействия детали как твердого тела с шероховатой поверхностью еще недостаточно хорошо изучена, и теоретические исследования в этой области представляют большой практический интерес.

Исследованы частные случаи движения деталей на шероховатой вибрирующей плоскости. При этом вибрации плоскости выполняют следующие функции: приводят к перераспределению массовых сил в относительном движении объекта (за счет сил инерции при угловых колебаниях плоскости), нивелируют прилипание или случайные зацепления между микронеровностями соприкасающихся поверхностей, а также обеспечивают виброперемещение детали в процессе ориентации.

Все многообразие деталей можно условно разделить на два типа в зависимости от характера контакта с рабочей плоскостью. Для достаточно твердых материалов или для тела с явно выраженными выпуклостями в области взаимодействия с плоскостью контакт осуществляется в одной, двух или трех точках, т. е. дискретно. В противном случае тело опирается на плоскость участками, каждый из которых является конечной непрерывной областью.

Ограничимся рассмотрением объектов с двумя или тремя точками контакта. Из всех тел с двумя точками контакта можно выделить класс деталей, имеющих форму тел вращения (например, винт) и более общий класс — детали, которые во время движения могут качаться с малой амплитудой относительно своего устойчивого положения на пло-

скости. Нетрудно показать, что для обоих классов движение тела можно представить как движение некоторого эквивалентного конуса. Для тела вращения — это будет такой конус, ось которого совпадает с осью симметрии тела, а образующая проходит через точки контакта. При этом центр тяжести лежит на оси конуса, и его проекция на плоскость находится на отрезке, соединяющем точки контакта. (Если ось симметрии тела параллельна плоскости, то конус вырождается в цилиндр). Эквивалентным конусом для деталей более общего класса будет конус со смещенным относительно оси центром тяжести. Получим уравнения движения конуса со смещенным относительно оси центром тяжести на вибрирующей шероховатой плоскости. Пусть плоскость имеет постоянный угол наклона. Введем систему координата  $Oxyz$ , связанную с плоскостью так, что ось  $Oz$  перпендикулярна плоскости, а ось  $O_y$  направлена по линии наибольшего ската вверх. Пусть колебания плоскости поступательны и характеризуются вектором направления  $\vec{a}$ , параллельным плоскости  $Oyz$ , составляющим угол  $\beta$  с осью  $Oy$  и равным по величине

$$a = A \sin \omega t,$$

где  $A, \omega$  — амплитуда и частота колебаний;  $t$  — время. С конусом свяжем подвижную систему координат  $A\xi\eta\zeta$ ; при этом ось  $A\xi$  направлена вдоль оси конуса, а ось  $A\xi$  так, чтобы центр тяжести  $C$  лежал в плоскости  $A\xi\zeta$  (Рис.1). Пусть инерционные свойства характеризуются массой  $M$  и тензором инерции

$$\tau = \begin{pmatrix} \tau_{\xi\xi} & -\tau_{\xi\eta} & -\tau_{\xi\zeta} \\ -\tau_{\xi\eta} & \tau_{\eta\eta} & -\tau_{\eta\zeta} \\ -\tau_{\xi\zeta} & -\tau_{\eta\zeta} & \tau_{\zeta\zeta} \end{pmatrix}$$

Положение конуса определяется координатами  $x_a, y_a, z_a$  и углами Эйлера  $\varphi, \psi, \theta$ , которые мы выберем в качестве обобщенных координат ( $z_a = 0, \theta = \text{const}$ ). Согласно принципу Даламбера при рассмотрении относительного движения помимо всех внешних сил нужно учитывать переносные силы инерции, так что массовые силы будут иметь проекции:

$$P_y = M(A\omega^2 \sin \omega t \cos \beta - g \sin \alpha);$$

$$P_x = M(A\omega^2 \sin \omega t \sin \beta - g \cos \alpha).$$

На конус также действуют нормальные реакции  $N_i$  плоскости и силы трения  $\vec{F}_j$  в точках  $A_i$  ( $i = 1, 2$ ), причем проекции сил трения на оси  $X, Y$  равны:

$$F_{ix} = f N_i \frac{\dot{x}_j}{\sqrt{\dot{x}_j^2 + \dot{y}_j^2}}; \quad F_{iy} = -f N_i \frac{\dot{y}_j}{\sqrt{\dot{x}_j^2 + \dot{y}_j^2}},$$

Где  $\dot{x}_j = \dot{x}_a + l_j \cos \psi (\dot{\varphi} \cos \theta + \dot{\psi})$ ,  $\dot{y}_j = \dot{y}_a + l_j \sin \psi (\dot{\varphi} \cos \theta + \dot{\psi})$  - проекции скоростей точек  $A_i$ ;  $l_j = A_i A = \text{const}$ ;  $f$  — коэффициент трения. При выводе уравнений движения конуса воспользуемся уравнениями Лагранжа для свободного твердого тела:

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

где  $T$  — кинетическая энергия;  $q_i, Q_i$  — обобщенные координаты и силы.

Выражение кинетической энергии, отнесенной к осям, имеет вид:

$$T = \frac{1}{2} M V_a^2 + M \begin{vmatrix} \omega_\zeta & \omega_\xi & \omega_\eta \\ \xi_c & \eta_c & \zeta_c \\ V_{A\xi} & V_{A\eta} & V_{A\zeta} \end{vmatrix} + \frac{1}{2} (T_{\xi\xi} \omega_\xi^2 + \tau_{\xi\eta} \omega_\eta^2 + \tau_{\xi\zeta} \omega_\zeta^2 - 2\tau_{\xi\zeta} \omega_\zeta \omega_\xi - 2\tau_{\xi\eta} \omega_\eta \omega_\xi - 2\tau_{\xi\zeta} \omega_\zeta \omega_\eta) \quad (1)$$

$$\text{Здесь } \begin{cases} V_{A\xi} = a_{11} \dot{X}_A + a_{21} \dot{Y}_A + a_{31} \dot{Z}_A \\ V_{A\eta} = a_{12} \dot{X}_A + a_{22} \dot{Y}_A + a_{32} \dot{Z}_A \\ V_{A\zeta} = a_{13} \dot{X}_A + a_{23} \dot{Y}_A + a_{33} \dot{Z}_A \end{cases} \text{ — это}$$

проекция вектора скорости точки  $A$ ;  $a_{il}$  — косинусы углов между соответствующими осями систем координат  $A\xi\eta\zeta$  и  $Oxyz$ ;

$$V_A^2 = \dot{X}_A^2 + \dot{Y}_A^2 + \dot{Z}_A^2; \quad \omega_\zeta = \sin \varphi \sin \psi \dot{\theta}$$

$$\omega_\eta = \cos \varphi \sin \psi \dot{\theta} - \sin \varphi \dot{\theta}, \quad \omega_\xi = \cos \theta \dot{\psi} + \dot{\varphi}$$

проекция вектора угловой скорости конуса;  $\xi_c, \eta_c, \zeta_c$  — координаты центра тяжести ( $\eta_c = 0$ ). Обобщенные силы, соответствующие обобщенным координатам  $x_a, y_a, z_a$  определяются как сумма проекций всех сил на оси  $X, Y, Z$ :

Обобщенные силы  $Q_\varphi, Q_\psi, Q_\theta$  определяются как сумма моментов всех сил относительно осей собственного вращения, прецессии и нутации:

$$Q_\varphi = (a_{32} P_z + a_{22} P_y) \xi_c - a_{33} M_z$$

$$Q_\psi = -M_z + P_y (x_c - x_a)$$

$$Q_\theta = -N_1 l_1 - N_2 l_2 - P_z l_c - P_y Z_c \cos \psi,$$

Где  $M_z = \sum_{j=1}^2 [F_{jx}(y_j - y_A) - F_{jy}(x_j - x_A)]$ ,  $x_c = x_A + a_{11} \xi_c + a_{13} \zeta_c$ ;  
 $y_c = y_A + a_{21} \xi_c + a_{23} \zeta_c$ ;  $z_c = a_{31} \xi_c + a_{33} \zeta_c$ ;  $l_c = \xi_c \sin \varphi \cos \theta - y_c \sin \theta$ ;  
 $x_j = x_A + l_c \sin \psi$ ;  $y_j = y_A - l_j \cos \psi$ .

Вычисляя производные от кинетической энергии  $T$  и подставляя все в выражение (1), получаем все с учетом  $\dot{\theta} = 0, Z_A = 0$ :

$$\begin{aligned}
 M\ddot{x}_A - M(y_c - y_a)\ddot{\psi} + M\xi_c a_{12}\ddot{\phi} - M(x_c - x_a)\dot{\psi}^2 - 2M\xi_c a_{22}\dot{\phi}\dot{\psi} - M\xi_c a_{11}\dot{\phi}^2 &= F_{1x} + F_{2x} \\
 M\ddot{y}_A + M(x_c - x_a)\ddot{\psi} + M\xi_c a_{22}\ddot{\phi} - M(y_c - y_a)\dot{\psi}^2 + 2M\xi_c a_{12}\dot{\phi}\dot{\psi} - M\xi_c a_{21}\dot{\phi}^2 &= \\
 F_{1y} + F_{2y} + P_y; M\xi_c a_{32}\ddot{\phi} - M\xi_c a_{31}\dot{\phi}^2 &= N_1 + N_2 + P_z; \\
 M\ddot{x}_A Z_c \sin\psi - M\ddot{y}_A Z_c \cos\psi + \tau_{22}\ddot{\psi} + \tau_{z\zeta}\ddot{\phi} + \tau_{z\eta}\dot{\psi}^2 + (\tau_{z\zeta}\sin\theta - \tau_{z\eta} - \tau_{\zeta l})\dot{\phi}\dot{\psi} + \tau_{z\eta}\dot{\phi}^2 &= \\
 = -N_1 l_1 - N_2 l_2 - P_z l_c - P_y Z_c \cos\psi; \\
 -M\ddot{x}_A (y_c - y_a) + M\ddot{y}_A (x_c - x_a) + \tau_{22}\ddot{\psi} + \tau_{z\zeta}\ddot{\phi} + 2\tau_{z\zeta}\sin\theta\dot{\phi}\dot{\psi} + \tau_{z\eta}\sin\theta\dot{\phi}^2 &= -M_z + P_y (x_c - x_a); \\
 M\xi_c a_{12}\ddot{x}_A + M\eta_c a_{22}\ddot{y}_A + \tau_{22}\ddot{\psi} + \tau_{z\zeta}\ddot{\phi} + \tau_{z\zeta}\sin\theta\dot{\phi}\dot{\psi} &= (a_{32}P_z + a_{22}P_y)\xi_c - a_{33}M_z,
 \end{aligned}$$

Где  $\tau_{z\zeta} = (\tau * Z^0)\zeta^0, \tau_{z\eta} = (\tau * \eta^0)\eta^0$  и т.д.,  $\zeta^0, \eta^0, \xi^0, Z^0$  — единичные векторы, направленные вдоль соответствующих осей;

$$\zeta^0 = \cos\varphi\zeta^0 - \sin\varphi\eta^0; l^0 = -\sin\varphi\cos\theta\zeta^0 - \cos\varphi\cos\theta\eta^0 + \sin\theta\zeta^0;$$

$$P^0 = \sin\varphi\zeta^0 + \cos\varphi\eta^0.$$

дальнейшее исследование движения может быть связано с численным интегрированием системы уравнений.

Если  $\mathcal{E}_c = 0, \tau_{z\zeta} = \tau_{\eta\pi}, \tau_{\zeta\eta} = \tau_{\eta\zeta} = \tau_{\xi\xi} = 0$ , вытекают уравнения движения тела вращения. Получены условия устойчивости решения, соответствующего скольжению конуса основанием вниз по наклонной неподвижной плоскости.

Математическая модель взаимодействия плоского тела с тремя точками контакта с плоскостью, совершающей угловые колебания относительно оси, расположенной в этой плоскости. В этом случае неоднородность вибрационного поля приводит к перераспределению массовых сил, за счет чего происходит разворот тела так, что ось его наименьшего главного момента инерции становится перпендикулярной оси колебаний. Приведены результаты численного интегрирования уравнений движения, иллюстрирующие устойчивый процесс ориентирования.

При этом влияние центробежных сил инерции, способствующих отклонению центра масс тела от оси качания плоскости, нейтрализуются переменными силами трения, что можно продемонстрировать (правда, с некоторой долей условности) на примере движения материальной частицы.

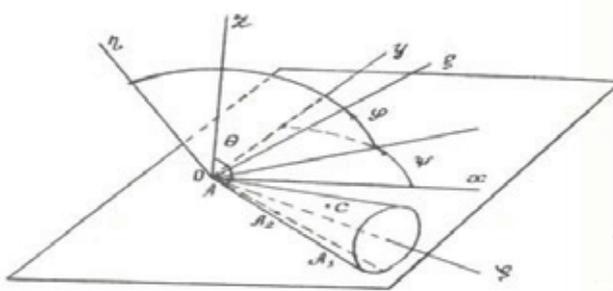


Рис. 1

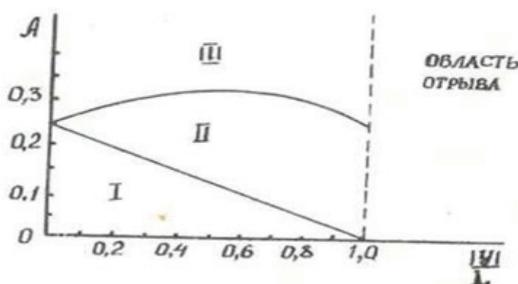


Рис. 2

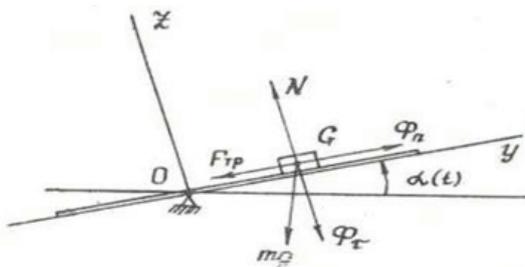


Рис. 3

Пусть плоскость совершает угловые колебания относительно оси 0, и положение плоскости определяется углом  $\alpha(t) = A \sin \omega t$ . Получим условие относительного покоя материальной частицы G кассой m и с координатой y (рис.2). Поскольку частица находится в равновесии под действием силы тяжести mg, силы трения  $F_{тр}$ , сил инерции  $\Phi_\varepsilon = m y \ddot{\alpha}$ ,  $\Phi_n = m y \dot{\alpha}^2$ , то из уравнений равновесия относительно осей неподвижной системы координат OYZ нетрудно получить

$$N = m(g \cos \alpha + y \ddot{\alpha}); F_{тр} = m(y \dot{\alpha}^2 - g \sin \alpha).$$

Отсюда условия относительного покоя  $|F_{тр}| \leq fN$  будет иметь вид

$f(g \cos \alpha + y \ddot{\alpha}) \geq y \dot{\alpha}^2 - g \sin \alpha \geq -f(g \cos \alpha + y \ddot{\alpha})$ , причём при нарушении левого знака неравенства начинается движение влево, правого-вправо. При данной амплитуде A частоту колебаний  $\omega$  будем подбирать так, чтобы условие безотрывности  $N \geq 0$ , или  $g \cos \alpha + y \ddot{\alpha} \geq 0$ , выполнялось в области  $|y| \leq L$ , т. е.  $\omega = \sqrt{\frac{g \cos \alpha}{AL}}$ .

Расположение областей возможного движения частицы из состояния покоя: I — область относительного покоя; II — область, в которой возможно только движение к оси качания, III — область, в которой возможно движение в обоих направлениях ( $f = 0,25$ ), приведено на рис.3. На основании этого можно предположить, что при достаточно спокойном процессе частица, оставаясь в движении, не будет покидать область безотрывности, определяемую неравенством  $|y| \leq L$ .

Литература:

1. Суслов Г.К. Теоретическая механика. — М.—Л.,\* ОГИЗ, 1946.
2. Сельвинский В.В. Движение конуса по шероховатой плоскости. — В сб.: Управляемые механические системы. — Иркутск: ИПИ, 1981, с. 63–69.
3. Сельвинский В.В. Ченских В.Р. Движение твердого тела на шероховатой плоскости, совершающей колебания. — В сб.: Роботы и робототехнические системы. — Иркутск; ИПИ, 1981, с ПЗ-П9.

## Анализ химических аспектов модификации волокон целлюлозы

Пинчукова Ксения Владимировна, студент;

Глазкова Яна Васильевна, студент;

Кужугалдинова Зухра, студент

Магнитогорский государственный технический университет имени Г. И. Носова (Челябинская обл.)

*В статье представлен анализ процессов химической модификации волокон целлюлозы, используемых в производстве бумажной упаковки. Рассмотрены основные методы структурной модификации целлюлозы. Проанализированы достоинства и недостатки существующих способов химической модификации целлюлозы.*

**Ключевые слова:** бумага, целлюлоза, волокна, процессы модификации, свойства

Одним из направлений развития современной химии полимеров является модификация полимеров для получения материалов с новыми, заранее заданными свойствами. Эта задача решается различными путями в зависимости от химической природы полимера, условий его переработки, свойств и областей применения получаемых изделий [1, 2, 5–7].

Целлюлозные волокна по сравнению с синтетическими волокнами обладают как рядом преимуществ (большая гигроскопичность, более высокая термостойкость, лучшие гигиенические свойства, более низкая стоимость), так и рядом существенных недостатков (горючесть, сминаемость, малая устойчивость к действию микроорганизмов, невысокая эластичность).

Основными методами модификации, которые могут быть использованы для устранения указанных недостатков

и придания целлюлозе новых ценных свойств, являются структурная и химическая модификации [4, 11, 12].

Методы структурной модификации целлюлозы основаны на направленном изменении взаимного расположения и степени ориентации макромолекул и особенно элементов надмолекулярной структуры в целлюлозном волокне. Такие изменения наблюдаются при обработке целлюлозных волокон растворами щелочей (процесс мерсеризации) [3, 10].

Этими методами можно значительно улучшить механические свойства волокон и пленок, но нельзя придать им новые свойства.

Методы химической модификации основаны на направленном изменении химического состава и строения любого из трех компонентов целлюлозного волокна — целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина — за счет осуществления химических реакций.

Для химической модификации целлюлозы используются все реакции классической химии целлюлозы, но практическое значение имеют следующие процессы:

- реакции этерификации;
- реакции алкилирования;
- привитая сополимеризация.

Процессы этерификации или алкилирования сводятся к частичной замене в макромолекуле целлюлозы гидроксильных групп на ацетильные, метильные, карбоксиметильные, цианэтильные, оксиэтильные и другие. Эти реакции сыграли большую роль в получении разнообразных производных целлюлозы, а также для улучшения бумагообразующих свойств волокон.

Синтез привитых сополимеров является одним из наиболее перспективных методов химической модификации целлюлозы. Для синтеза привитых сополимеров целлюлозы могут быть использованы все методы, применяемые для синтеза других полимеров, но практически перспективным является метод радикальной полимеризации.

При модифицировании целлюлозных волокон следует учитывать следующие особенности:

1. Химические превращения функциональных групп в макромолекуле целлюлозы протекают, как правило, в гетерогенной среде в условиях заторможенной диффузии реагента в волокно, особенно в кристаллические области надмолекулярной структуры целлюлозы.

2. Ацетильные связи между макромолекулами целлюлозы малоустойчивы к действию минеральных кислот, поэтому химические превращения целлюлозы необходимо осуществлять в таких условиях, в которых разрыв ацетильных связей, приводящий к снижению молекулярной массы и ухудшению механических свойств целлюлозных материалов, происходит в минимальной степени.

Известно, что молекулы высокомолекулярных соединений (ВМС) могут быть как цепочечного (целлюлоза, шерсть, шелк), так и глобулярного строения (гемоглобин, некоторые белки). Отличительной чертой ВМС цепочечного строения является их способность образовывать пленки и волокна, т.е. способность проявлять высокую анизотропию свойств. Полимеры, в цепях которых есть полярные функциональные группы  $-OH$ ,  $-COOH$ ,  $-NH_2$  и т.д., характеризуются очень высокой молекулярной когезией и обладают, как правило, высокой механической прочностью, но малым удлинением (целлюлоза, карбамидные смолы, белковые вещества).

Полимеры, имеющие неполярные или слабополярные функциональные группы  $-CH_3$ ,  $=CH_2$  и т.д. (каучуки

и т.д.), наоборот, обладают малой механической прочностью, но большим удлинением. Полярные соединения обладают большей когезионной прочностью, чем неполярные соединения, поэтому они получили широкое применение в качестве клеящих и пленкообразующих материалов.

При нанесении защитных или декоративных полимерных пленок следует учитывать, что полярные полимеры хорошо склеиваются полярными веществами — карбамидными смолами, казеином, мездровым клеем и т.д. Неполярные полимеры хорошо взаимодействуют с неполярными соединениями. Полимеры, в состав которых входят полярные функциональные группы, гигроскопичны и достаточно хорошо впитывают воду. Полимеры, имеющие неполярные группы, не взаимодействуют с водой, но хорошо растворяются в неполярных растворителях. Замена одних групп или атомов в цепи полимера другими приводит к изменению молекулярного взаимодействия [8, 9].

Появление в макромолекулах полярных групп сообщает полимеру большую прочность и хрупкость, но одновременно понижает упруго-эластические свойства и диэлектрические характеристики. Замена функциональных групп с малой длиной ( $-OH$ ,  $-CH_3$ ,  $-NH_2$ ) группами с большой длиной ( $-COOH$ ,  $-OCONH_2$ ) снижает прочность полимера, поскольку такие группы более резко раздвигают цепи и тем самым уменьшают энергию их взаимодействия. Чем длиннее вводимая группа, тем заметнее ослабляется полимер.

Полимерам, в макромолекулах которых есть атомы, обладающие высокой окисляющей способностью (фтор, кислород, хлор), присуща повышенная стойкость к действию кислот, щелочей и других агрессивных сред.

Придание ионообменных свойств полимерным материалам осуществляется путем введения в макромолекулу целлюлозы специфических функциональных групп, обладающих ионообменными свойствами.

*Выводы.* Существующие методы обработки и переработки бумаги и картона не всегда позволяют менять свойства материала в необходимых пределах. К тому же физико-химические методы обработки не обеспечивают придания композиционному целлюлозному материалу принципиально новых свойств. Тогда как, методы химической модификации целлюлозы позволяют получать на основе модифицированных волокон новые виды бумаг или картонов с заранее заданными потребительскими свойствами. Это позволит значительно расширить спектр применения упаковочных материалов на основе бумаги и картона.

#### Литература:

1. Аким Э.Л. Синтетические полимеры в бумажной промышленности / Э.Л. Аким. М.: Лесная промышленность. — 1986. — 248 с.
2. Аким Э.Л. Обработка бумаги (основы химии и технологии обработки бумаги и картона). М., 1979.
3. Все о модифицированных крахмалах [Электронный источник]: — Режим доступа: <http://kmv.com.ua/vse%20o%20mod1.html>

4. Ермаков С.Г., Хахимов Р.Х. Технология бумаги. — Пермь: Пермский гос. Тех. Университет, 2002.
5. Мишурина О.А., Тагаева К.А. Исследование влияния композиционного состава по волокну на влагопрочностные свойства исходного сырья при производстве картонных втулок // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. — 2013. — Т. 1. № 71. — С. 286–289.
6. Мишурина О.А., Чупрова Л.В., Муллина Э.Р. Исследование влияния химического состава углеводородной части различных видов целлюлозных волокон на физико-механические свойства бумаг для гофрирования // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2013. № 8. С. 52–55.
7. Мишурина О.А., Чупрова Л.В., Муллина Э.Р., Ершова О.В. Исследование влияния качества исходного сырья на прочностные свойства картонных втулок // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 1. С. 254.
8. Мишурина О.А., Муллина Э.Р., Жерякова К.В., Корниенко Н.Д., Фёдорова Ю.С. Анализ влияния сорбционных свойств бумаги-основы на процесс адгезии при получении различных видов бумажной упаковки // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 6–2. С. 200–202.
9. Мишурина О.А., Муллина Э.Р., Жерякова К.В., Корниенко Н.Д., Фёдорова Ю.С. Перспективы использования влагопрочного картона и гофрокартона на рынке упаковочных материалов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 6–2. С. 203–205.
10. Муллина Э.Р., Мишурина О.А., Чупрова Л.В., Ершова О.В. Влияние химической природы проклеивающих компонентов на гидрофильные и гидрофобные свойства целлюлозных материалов // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. С. 250.
11. Производство модифицированных крахмалов [Электронный ресурс]: Основные направления применения модифицированных крахмалов — Режим доступа: [http://chemanalytica.com/book/novyuy\\_spravochnik\\_khimika\\_i\\_tekhnologa/06\\_syre\\_i\\_produkty\\_promyshlennosti\\_organicheskikh\\_i\\_neorganicheskikh\\_veshchestv\\_chast\\_II/5371](http://chemanalytica.com/book/novyuy_spravochnik_khimika_i_tekhnologa/06_syre_i_produkty_promyshlennosti_organicheskikh_i_neorganicheskikh_veshchestv_chast_II/5371)
12. Mishurina O.A., Mullina E.R., Chuprova L.V., Ershova O.V., Chernyshova E.P., Permyakov M.B., Krishan A.L. Chemical aspects of hydrophobization technology for secondary cellulose fibers at the obtaining of packaging papers and cardboards // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Т. 10. № 24. С. 44812–44814.

## Перспективы использования модифицированного крахмала для улучшения эксплуатационных свойств бумаги и картона

Пинчукова Ксения Владимировна, студент;

Глазкова Яна Васильевна, студент;

Кужугалдинова Зухра, студент

Магнитогорский государственный технический университет имени Г. И. Носова (Челябинская обл.)

*В статье представлен анализ гидрофобизирующих форм модифицированного крахмала, используемого в производстве бумажной упаковки. Рассмотрены способы модификации крахмала. Проанализирован химический состав крахмалопродуктов и его влияние на сорбционные и прочностные характеристики бумажной упаковки.*

**Ключевые слова:** бумага, гидрофобизирующие материалы, модифицированный крахмал, химический состав, свойства

Крахмал является одним из старейших и наиболее распространенных вспомогательных веществ, используемых в производстве бумаги и картона. Он один из основных связующих материалов, применяемых в бумажном производстве, и притом наиболее дешевый по сравнению с другими связующими [1, 2, 4, 5].

Основное направление применения крахмала — это повышение прочности бумаги (в особенности поверхностной прочности). Применение модифицированных крахмалов дает дополнительный эффект, связанный с повышением удержания ими мелкого волокна, наполнителя,

оптически отбеливающих и проклеивающих веществ. Этот эффект выражается в снижении неравномерности свойств бумаги по сторонам листа, что особенно важно для тех видов продукции, у которых рабочими являются обе стороны, например, у бумаги для письма и печати. Добавка крахмала в массу снижает пылимость бумаги, повышает удержание наполнителей, улучшает и стабилизирует канифольную проклейку [2, 4, 5].

Производство многих видов упаковочных бумаг и картонов, как, например, картона для плоских слоев, бумаги для гофрирования и оберточной бумаги предусма-

тривает использование макулатуры в качестве основного сырья. Этот ассортимент требует наименьших затрат на тонну продукции. Чтобы применять макулатурную массу в широком ассортименте целлюлозно-бумажных изделий, ее необходимо подвергать глубокому облагораживанию с высокой степенью восстановления бумагообразующих свойств, что требует больших капиталовложений. Материалы, получаемые из такого сырья, не имеют достаточного уровня прочности, жесткости и чистоты поверхности [6–10].

Многие годы для устранения этих проблем использовались натуральные крахмалы. Их основное преимущество — низкая стоимость, а главный недостаток — большой расход на тонну продукции и замедление обезвоживания. Катионные модификации крахмала позволили устранить эти недостатки [14]. Они имеют прочную адсорбцию к волокну и хорошо удерживаются в массе, благодаря чему покрывают большую поверхность волокон и дают хорошее внутреннее сцепление при низком расходе. В дополнение, катионные крахмалы являются эффективным средством удержания мелочи, наполнителей и вредной смолы. Если удержание катионных крахмалов в бумажном полотне достигает 95%, то они ведут себя как полимерные флокулянты, что обычно характерно для низкомолекулярных катионных полимеров.

Катионный крахмал — замещенный крахмал, содержащий группы, способные придавать ему положительный заряд в водной среде при соответствующем значении pH. Технологией получения катионного крахмала является обработка крахмала соединениями аминного характера. Чаще всего в бумажной промышленности в качестве положительно заряженных групп катионных крахмалов используются четвертичные аммониевые группы ( $\text{NH}_4^+$ ). Положительно заряженная функциональная группа может дать слабую ионную связь с отрицательно заряженной целлюлозой [3, 12].

Катионизацию крахмала обычно проводят в водной суспензии в присутствии избытка гидроксида натрия или кальция. Для достижения высокой скорости алкилирования необходимо поддерживать высокую температуру, не допуская, однако, набухания и клейстеризации крахмала. Химическая модификация, как правило, осуществляется в водной среде. Вначале происходит набухание крахмальной гранулы, в результате которого в нее проникают свободные молекулы воды и молекулы растворенного в воде химического агента [11, 13]. Иногда в качестве растворителя используют органическое вещество при химической модификации.

Анионный крахмал, содержащий группы, способные придавать отрицательный заряд в водной среде при заданном значении pH, реже применяют при проклейке бумаги, из-за низкой степени его удержания на волокне. Удерживание анионного крахмала на волокнах бумаги осуществляется за счет комплексообразования с алюминием обычно в слабокислой среде. Катионный

крахмал — вначале оседает и удерживается на волокнах за счет электростатического взаимодействия с отрицательно заряженной целлюлозой. Считается, что удерживание неионного (природного) крахмала происходит путем адсорбции на волокнах и установления дополнительных водородных связей.

Предполагают, что взаимодействие крахмала с целлюлозными волокнами протекает по механизму мозаичного сцепления: полимерные цепи положительно заряженного крахмала оседают подобно элементам мозаики на волокнах и частицах наполнителя, тем самым перезаряжая лишь отдельные области. Взаимодействие участков с противоположным зарядом приводит к мозаичному сцеплению частиц с образованием макрофлокул, относительно устойчивых к воздействию сил среза [12, 14].

Применяются катионные и анионные крахмалы для непосредственного введения их в бумажную массу, в том числе для и мелованных видов бумаги с различной степенью наполнения. А так же применяются специализированные катионные крахмалы для производства флютинга и тестлайнера из макулатуры, крахмалы для поверхностной проклейки различной вязкости (окисленные, карбоматные, катионные), пригодные в качестве связующих для пигментов, суспензионные крахмалы для обработки поверхности через распыление, клея для склеивания бумажных мешков.

В отличие от нативного крахмала, катионные крахмалы не только повышают прочность бумаги и картона, но при определенных условиях способны значительно повысить удержание мелочи на сетке БДМ и естественно снизить содержание взвешенных веществ в подсеточной воде, улучшить работу отстойников для избыточной оборотной воды, а также имеют ряд других преимуществ. Однако специфика бумажно-картонного производства настолько сложна, что на каждом конкретном предприятии уровень результатов от применения катионного крахмала может быть различен. Здесь важно учитывать все: концентрацию массы, степень ее загрязнения анионными и катионными примесями, степень прессования, вид волокон, основной желаемый эффект от применения добавки (повышение прочности, удержание мелкого волокна) и многое другое. Поэтому, как правило, для каждого конкретного потребителя катионного крахмала разрабатывается индивидуальная технология его применения с учетом конкретных целей и вида продукции.

Практический опыт показал, что наиболее часто катионные крахмалы применяются для решения следующих технологических проблем [11, 13]:

- при изготовлении флютинга и тестлайнера из 80–100%-ной макулатуры для повышения сопротивления продавливанию, торцевому и плоскостному сжатию, а также сопротивлению сжатию кольца;
- для повышения прочности крафтлайнера и мешочной бумаги с целью снижения их массоемкости;
- для возможности повышения величины наполнения бумаги без снижения ее прочности.

Следует отметить, что при подборе крахмала с требуемой степенью замещения прежде всего необходимо определить главный ожидаемый эффект от его применения — повышение прочности или общего удержания и скорости обезвоживания.

Анализ последних исследований в области применения модифицированных форм крахмала в производстве целлюлозных материалов показал, что на основе крахмала можно создать полиэлектролитные флокулянты, если ввести в макромолекулы амилозы и амилопектина ионизируемые группы. Одновременно было установлено, что обработка крахмала окислителями, ферментами, прививка карбоксиметильных, карбонатных и оксипропильных групп могут существенно улучшить функциональные свойства нативного крахмала при склеивании, исполь-

зовании для поверхностной проклейки и в качестве связующего в меловальных пастах [6—14]. Следовательно, возникает целое направление в промышленности — создание и производство высокоэффективных модифицированных крахмалопродуктов, предназначенных для целлюлозно-бумажного производства.

**Выводы.** Крахмал различного природного происхождения и его многочисленные модифицированные продукты был и остается самым востребованным химическим средством для упрочнения бумаги и картона. Катионно-модифицированные крахмалы позволяют создавать новые высокоэффективные композиции бумажной массы и являются наиболее актуальным и перспективным проклеивающими материалами, используемыми в современном бумажном и упаковочном производстве.

#### Литература:

1. Аким Э.Л. Синтетические полимеры в бумажной промышленности / Э.Л. Аким. М.: Лесная промышленность. — 1986. — 248 с.
2. Аким Э.Л. Обработка бумаги (основы химии и технологии обработки бумаги и картона). М., 1979.
3. Все о модифицированных крахмалах [Электронный источник]: — Режим доступа: <http://kmv.com.ua/vse%20o%20mod1.html>
4. Ермаков С.Г., Хакимов Р.Х. Технология бумаги. — Пермь: Пермский гос. Тех. Университет, 2002.
5. Леман Х., Рихтер Л. Материалы для переработки бумаги: Пер. с нем. С.В. Бабурина. — М.: Лесная промышленность, 1984. — 248 с.
6. Мишурина О.А., Тагаева К.А. Исследование влияния композиционного состава по волокну на влагонепрочностные свойства исходного сырья при производстве картонных втулок // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. — 2013. — Т. 1. № 71. — С. 286—289.
7. Мишурина О.А., Чупрова Л.В., Муллина Э.Р. Исследование влияния химического состава углеводородной части различных видов целлюлозных волокон на физико-механические свойства бумаг для гофрирования // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2013. № 8. С. 52—55.
8. Мишурина О.А., Чупрова Л.В., Муллина Э.Р., Ершова О.В. Исследование влияния качества исходного сырья на прочностные свойства картонных втулок // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 1. С. 254.
9. Мишурина О.А., Муллина Э.Р., Жерякова К.В., Корниенко Н.Д., Фёдорова Ю.С. Анализ влияния сорбционных свойств бумаги-основы на процесс адгезии при получении различных видов бумажной упаковки // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 6—2. С. 200—202.
10. Мишурина О.А., Муллина Э.Р., Жерякова К.В., Корниенко Н.Д., Фёдорова Ю.С. Перспективы использования влагонепрочного картона и гофрокартона на рынке упаковочных материалов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 6—2. С. 203—205.
11. Михайлова О.С., Крякунова Е.В., Казаков Я.В., Дулькин Д.А., Канарский А.В. Влияние ферментативной обработки крахмала картофельного на физико-механические свойства бумаги // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18. № 4. С. 203—207.
12. Муллина Э.Р., Мишурина О.А., Чупрова Л.В., Ершова О.В. Влияние химической природы проклеивающих компонентов на гидрофильные и гидрофобные свойства целлюлозных материалов // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. С. 250.
13. Производство модифицированных крахмалов [Электронный ресурс]: Основные направления применения модифицированных крахмалов — Режим доступа: [http://chemanalytica.com/book/novyy\\_spravochnik\\_khimi-ka\\_i\\_tekhnologa/06\\_syre\\_i\\_produkty\\_promyshlennosti\\_organicheskikh\\_i\\_neorganicheskikh\\_veshchestv\\_chast\\_II/5371](http://chemanalytica.com/book/novyy_spravochnik_khimi-ka_i_tekhnologa/06_syre_i_produkty_promyshlennosti_organicheskikh_i_neorganicheskikh_veshchestv_chast_II/5371)
14. Mishurina O.A., Mullina E. R., Chuprova L. V., Ershova O. V., Chernyshova E. P., Permyakov M. B., Krishan A. L. Chemical aspects of hydrophobization technology for secondary cellulose fibers at the obtaining of packaging papers and cardboard // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Т. 10. № 24. С. 44812—44814.

## Повышение производительности автогрейдера путем установки на него системы позиционирования

Пираматов Уллубий Арсланбекович, магистрант  
Пермский национальный исследовательский политехнический университет

*В данной статье рассматривается вопрос повышения производительности обработки грунтовых оснований при применении систем позиционирования на автогрейдере. Автором произведен обзор системы позиционирования, а также произведены расчеты, позволяющие оценить эффект от внедрения систем позиционирования.*

**Ключевые слова:** электронное управление, система позиционирования, GPS, ГНСС

## Increased motor grader productivity through the installation of a positioning system

Piramatov Ullubiy Arslanbekovich

Система позиционирования 3-D ГНСС для автогрейдера на данный момент самое оптимальное решение для автоматизации процесса профилирования грунтовых оснований автогрейдером. Рассматриваемая система позиционирования обеспечивает точность работ до одного сантиметра. Также данная спутниковая система не требует обеспечения прямой видимости до станции, не требует перемещений станций по рабочим площадям для обеспечения работоспособности, все что необходимо для нормальной работы рассматриваемой системы это открытое небо. Высокую точность обработки грунта позволяют достичь комплекс датчиков, таких как датчики поворота, датчик наклона отвала, датчик наклона машины, а также информация, поступающая непосредственно со спутника и других датчиков. [2]

На сегодняшний день производительность труда играет очень высокую роль во всех сферах производства. Сфера строительства автомобильных дорог заинтересована не только производительности труда, но и в производительности техники. Для производителя повышение производительности является чуть ли не основной задачей наряду с повышением качества и объема производимых работ. Эту цель позволяют достичь оборудование и программное обеспечение 3-D позиционирования.

Практически в любой отрасли промышленности используются автоматизированные комплексы с программно-выполняемыми работами. В дорожной строительной технике использование программно-аппаратных средств стало возможным, благодаря появлению автоматизированных систем управления дорожными машинами. Они позволяют справляться с поставленными задачами в установленные сроки с требуемым качеством выполняемых работ меньшим количеством техники.

Столь высокая точность рассматриваемой системы достигается за счёт базовой станции устанавливаемой в определенной точке с известными координатами, отличительной особенностью является то, что базовую станцию не нужно перемещать по объекту на котором производятся работы. Окончательные вычисления местоположения отвала в пространстве производятся за счёт полученной от базовой станции информации. После проведения системой всех необходимых расчетов отвала система отправляет сигнал на гидравлическую систему автогрейдера. [4]

Производительность автогрейдера при профилировании дороги определяют в километрах спрофилированной дороги в единицу времени. Она зависит от основных параметров автогрейдера и от условий работы.

Когда известна схема проходов автогрейдера по участку и определено число проходов, необходимое для выполнения работ при постройке земляного полотна или корыта, производительность автогрейдера можно определить по формуле:

$$P = \frac{60L_{np}K_v t_{см}}{T} \quad (1)$$

где  $L_{np}$  — длина участка профилирования,  $L_{np}=100$ м;

$K_v$  — коэффициент использования машины по времени,  $K_v=0,85$ ;

$t_{см}$  — число рабочих часов в смене,  $t_{см}=8$ ч;

$T$  — время профилирования;

$$T = 2L_{np} \left( \frac{n_1}{v_1} + \frac{n_2}{v_2} + \frac{n_3}{v_3} + \dots \right) + 2nt_1 = 2 * 100 * \frac{8}{66.7} + 2 * 8 * 1 = 40 \text{ мин}, \quad (2)$$

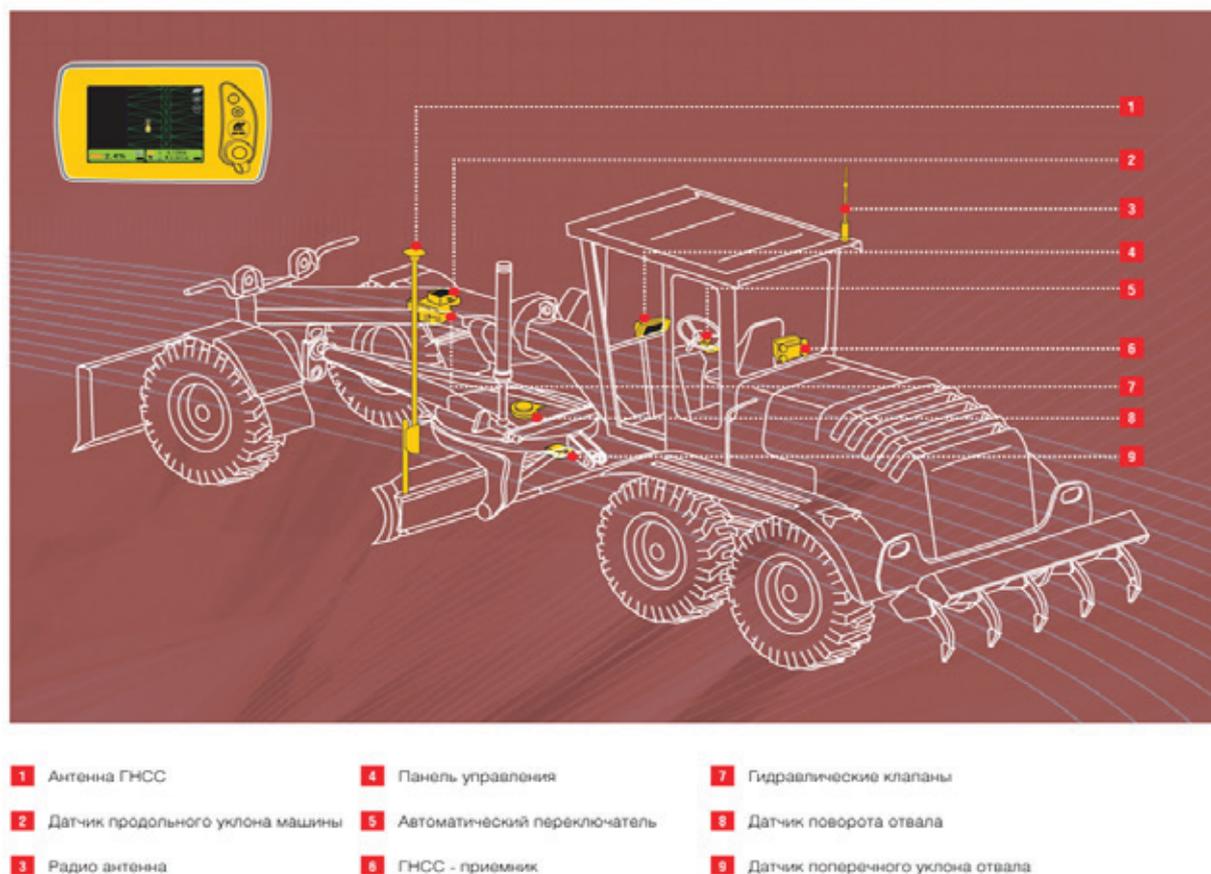


Рис. 1. Система TOPCON3D ГНСС на автогрейдере

здесь  $n_1, n_2, n_3$  — число проходов, выполняемых соответственно на первой, второй и третьей передачах коробки скоростей автогрейдера,  $n_1=8, n_2=0, n_3=0$ ;

$v_1, v_2, v_3$  — скорости соответственно на первой, второй и третьей передачах,  $v_1=4 \text{ км/ч}=66,7 \text{ м/мин}$ , скорости  $v_2$  и  $v_3$  в расчет не берут, так как при второй и третьей передачах автогрейдер не выполняет работу;

$n$  — общее число проходов,  $n=8$ ; [3]

$t_1$  — время на поворот автогрейдера или поворот его отвала на  $90^\circ$  на концах рабочего участка для движения в обратную сторону,  $t_1=1 \text{ мин}$ .

Рассчитаем производительность

$$P = \frac{60L_{np}K_v t_{см}}{T} = \frac{60 \cdot 100 \cdot 0,85 \cdot 8}{40} = 1020 \frac{\text{м}}{\text{смена}}; \quad (3)$$

Расчет производительности при применении системы 3D позиционирования.

$$T_n = 2L_{np} \left( \frac{n_1}{v_1} \right) + 2nt_1 = 2 \cdot 100 \cdot \frac{3}{66,7} + 2 \cdot 3 \cdot 1 = 15 \text{ мин}, \quad (4)$$

где  $n_1$  — количество проходов при использовании системы 3D позиционирования,  $n_1=3$ ;

$n$  — общее число проходов,  $n=3$ ; [1]

Рассчитаем производительность

$$P_n = \frac{60L_{np}K_v t_{см}}{T} = \frac{60 \cdot 100 \cdot 0,85 \cdot 8}{15} = 2720 \frac{\text{м}}{\text{смена}}; \quad (5)$$

Исходя из полученных результатов мы можем сделать вывод, что применении системы 3D позиционирования повышает производительность более чем в 2,5 раза. Повышение производительности в 2,5 раза является подтверждением эффективности системы 3D позиционирования.

Литература:

1. Скловский А. А. Автоматизация дорожных машин. — Рига: «АВОТС», 1984. — 289с.
2. Шишмарев В. Ю. Типовые элементы систем автоматического управления. — Москва «Академия» 2004 г. — 378с.

3. Белоногов Л.Б, Репецкий Д.С. Устройство автогрейдера и расчет рабочего оборудования: методич. Указания. Перм. гос. техн. ун-т. — Пермь, 2003. — 83с.
4. Сайт о лучших технологических решениях Topcon [Электронный ресурс] //http://topcon.pro/

## Обзор процесса установки системы позиционирования 3D ГНСС на автогрейдер

Пираматов Уллубий Арсланбекович, магистрант  
Пермский национальный исследовательский политехнический университет

*В данной статье рассматривается процесс установки системы позиционирования 3D ГНСС на автогрейдер. Автором произведено подробное описание процесса установки всех устройств системы позиционирования 3D ГНСС на автогрейдер.*

**Ключевые слова:** электронное управление, система позиционирования, ГНСС

## Installation Overview positioning systems 3D GNSS on grader

Piramатов Ullubiy Arslanbekovich

На сегодняшний день в сфере строительства и ремонта актуален вопрос повышения производительности техники, а также понижение затрат на материалы. Для любой строительной компании освоение методов, ведущих к этому, становится ключевой задачей. И для достижения этих задач в сфере строительства отлично подходят системы позиционирования, позволяющие повысить производительность работ за счет уменьшения количества проходов техники, понизить требования к навыкам оператора, а также добиться высокой точности, что сказывается на экономии материалов. [1]

В данной статье рассматривается процесс установки системы позиционирования 3D ГНСС на автогрейдер.

Спутниковый приемник системы 3D ГНСС прикручивается к штоку при помощи винта на приемнике и резьбы на штоке. Непосредственно шток же устанавливается на рабочий орган машины. На отвал автогрейдера приваривается прямоугольный, полый металлический брусок с тремя отверстиями с резьбой на одном из ребер.

Горизонтальную часть штока помещают внутрь приваренного бруска и фиксируют болтами.

Датчик продольного уклона машины крепится при помощи специального устройства под основную раму. Устройство представляет из себя пластину с отверстиями через которые к ней болтами крепятся г-образные металлические бруски необходимые для закрепления устройства на машине. [2]

Датчик поворота отвала крепится к поворотному кругу автогрейдера. Непосредственно датчик крепится к элементу гидросистемы, крышка которого меняется на пластину, вокруг датчика устанавливаются пластины с отверстиями которые фиксируют датчик после закрутки болтов.

Датчик поперечного наклона отвала устанавливается к раме автогрейдера в районе отвала. Устанавливается датчик на приваренную металлическую пластину.

Рассматриваемая система позиционирования предполагает автоматическое управление рабочим органом машины, а, следовательно, предполагается установка оборудования для управления рабочим органом.

Гидравлические клапана встраиваются в сеть гидросистемы для того, чтобы автоматическое управление отвалом стало возможным. Во время установки клапанов требуется некоторая разборка системы в результате, ко-



Рис. 1. Антенна GPS/ГЛОНАСС



Рис. 2. Инерциальный датчик



Рис. 3. Датчик поворота отвала



Рис. 4. Датчик поперечного наклона

торой происходит слив небольшого количества гидравлической жидкости. [3]

После устанавливают оборудование в салон автогрейдера необходимое для смены режимов работы, то есть автоматический переключатель, воспользовавшись им машинист автогрейдера может отключить автоматическое управление рабочим органом и взять управление в свои руки. Данное оборудование крепится на один из рычагов необходимых для управления отвалом.

Панель управления и ГНСС приемник же устанавливаются в кабине автогрейдера на специальные крепления.

Для установки панели управления, в салоне устанавливается специальный шток с винтом на вершине, крепится панель путем прикручивания к штоку, для этого в панели предусмотрено отверстие с резьбой.

В заключении необходимо отметить, что системы позиционирования играют важную роль в современном строительстве

#### Литература:

1. Скловский А. А. Автоматизация дорожных машин. — Рига: «АВОТС», 1984. — 289с.
2. Шишмарев В. Ю. Типовые элементы систем автоматического управления. — Москва «Академия» 2004 г. — 378с.
3. Системы нивелирования Topcon // <http://topcon.pro/>. URL: [http://topcon.pro/stroitelstvo/systems3d\\_grader\\_gnss/](http://topcon.pro/stroitelstvo/systems3d_grader_gnss/) (дата обращения: 14.12.2016).

## Улучшение качества уборки в кузове вагона железнодорожного транспорта путём внедрения робота GES

Поезжаева Елена Вячеславовна, кандидат технических наук, профессор  
Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Кладова Дарья Юрьевна, студент;

Попова Анна Михайловна, студент

Пермский институт железнодорожного транспорта Уральского государственного университета путей сообщения

*В данной статье смоделирована роботизированная техника, в основе которой мы использовали существующий робот-пылесос iRobot Roomba 500. Характерной чертой модернизации было оснащение этого пылесоса манипулятором с автоматизированной щёткой для чистки стекла. Разработанный робот осуществляет уборку в вагонах поездов, обеспечивая наиболее благоприятные условия, удовлетворяющие санитарным нормам.*

**Ключевые слова:** робот-помощник, мобильная роботизированная платформа, санитарные нормы на железнодорожном транспорте, робототехнический комплекс

На сегодняшний день, происходит популяризация роботизированной аппаратуры, заменяющей человека во многих сферах. Наиболее широкое применение получили мобильные роботы, позволяющие существенно облегчить не только производственные процессы, но и отстранить человека от бытовой работы. Главное достоинство робототехнического комплекса — отсутствие человеческого фактора.

На железнодорожном транспорте происходит активная автоматизация процессов для достижения безопасности и комфорта пассажирских перевозок. Обеспечение благоприятных условий в кузове вагонов на железнодорожном транспорте требует поддержания в них чистоты в соответствии с санитарными условиями. Ведь пассажирский вагон, как и другие единицы подвижного состава, требует особого внимания не только на техническое состояние, но и на санитарно-гигиеническую ситуацию. «Санитарные нормы — нормативные акты, устанавливающие критерии безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды его обитания и требования к обеспечению благоприятных условий его жизнедеятельности» [1]. В настоящее время уборку в поездах осуществляют специально обученные люди, однако, сегодняшняя действительность такова, что они не справляются с поставленной задачей. Комфорт и чистота окружающей обстановки оставляют желать лучшего. Возникает необходимость построения мобильной роботизированной платформы, основной задачей которой является наиболее эффективная чистка пола и окон в вагонах поездов. Робот «GES» позволит значительно упростить выполнение влажной уборки вагонов на железнодорожном транспорте.

Целью исследования являлась разработка проекта «GES» — мобильной роботизированной платформы, выполняющей функции уборщика в вагонах железнодорожного транспорта. Поставленная цель определила следующие основные задачи исследования:

1. Провести информационный поиск;
2. Смоделировать конструкцию робота;
3. Составить техническую характеристику данного робототехнического комплекса;
4. Выделить перечень обязанностей, осуществление которых должна выполнять модернизированная аппаратура.

Гипотеза представленной работы заключается в следующем: использование «Робота GES» для уборки пола и чистки окон в вагоне поездов позволит обеспечить условия, пригодные для комфортной перевозки пассажиров.

Для проведения теоретического эксперимента, были использованы такие методы, как: моделирование (смоделирована мобильная роботизированная платформа), анализ и синтез (проанализировали существующие типы бытовых роботов и выявили наиболее удовлетворяющий), сравнение, идеализация. В работе смоделирован новый тип робота, осуществляющего чистку внутри кузова пассажирских вагонов.

В ходе исследования была создана модель робота (См. рис. 1), который осуществляет уборку в кузове вагона.

В основу робота взят пылесос iRobot Roomba 500 (См. рис. 2), характеристики которого были применены для моделирования новой модернизированной аппаратуры. GES предназначен для мытья твердых покрытий. Корпусы робота изготовлены из прочного пластика с гладкой полуматовой поверхностью. Они немаркие, мелкие повреждения на них незаметны, и их легко очищать. На верхней панели корпуса1 расположены индикаторы состояния, решетка звукового сигнализатора, механический выключатель питания и разъем низковольтного питания. [4]

На днище корпуса2 расположены два колеса, на которые закрепляются чистящие салфетки, изготовленные из синтетической махровой ткани с двухсторонним ворсом средней длины (См. рис. 3). Каждое колесо имеет свой электрический привод и может вращаться независимо от



Рис. 1. Разработанная модель робота



Рис. 2. IRobot Roomba 500 Series



Рис. 3. Корпус 2

второго. Мощный вентилятор в корпусе робота во время работы постоянно откачивает воздух из центральной части колес. Колеса с закрепленными кольцами, образуют своеобразные присоски, удерживающие робота на вертикальных поверхностях. [5]

Манипулятор управляется с помощью ЭВМ. Подъезжая к окну, он расправляется до максимальных размеров и прижимает корпус2 к окну: сначала одно колесо сильно прижимается к стеклу, а корпус робота начинает медленно вращаться относительно оси этого колеса, в это

время второе колесо вращается быстрее, очищая поверхность стекла. После выполнения первого шага робот меняет функции колес и делает следующий шаг. Такой алгоритм движения позволяет перемещаться по стеклу по направлениям: вверх-вниз и вправо-влево, при этом стойка во время движения вниз снова складывается и раскладывается при перемещении в обратном направлении. Границы робот определяет по тому, что упирается колесом в бортик и не может завершить вращение, а также с помощью датчиков, расположенных на корпусе 2, начиная движение в другом направлении.

Для расширения функционала в сенсорную систему данной модернизированной техники включены восемь ультразвуковых датчиков для обнаружения препятствий. Для сбора данных с датчиков предусмотрена плата распознавания аварийной ситуации. Если робот оказывается в непосредственной близости от препятствия, то принимается решение об экстренной остановки, отправляется

сигнал оператору и сигнал о необходимости включения аварийной сигнализации. Когда у устройства батарея близка к разрядке, он отправляется на базу для немедленной подзарядки аккумулятора.

Технические параметры робота: общая высота при расправленном состоянии манипулятора составляет 200 см; высота при начальном состоянии манипулятора 120 см; масса корпуса 2 в готовом для работы состоянии немного не доходит до килограмма; внешний диаметр колец под салфетки 14 см; скорость 0,3 м/с; время работы без подзарядки 6–8 часов.

Роботизированная мобильная платформа имеет возможность распознавания наиболее загрязненных участков. Робот оснащен выдвижной щёткой (См. рис. 5), которая позволяет производить уборку не только открытого пространства, но и пространства под мебелью, вокруг нее, в углах и вдоль стен. В связи компактными размерами данной аппаратуры, устройству не составит труда

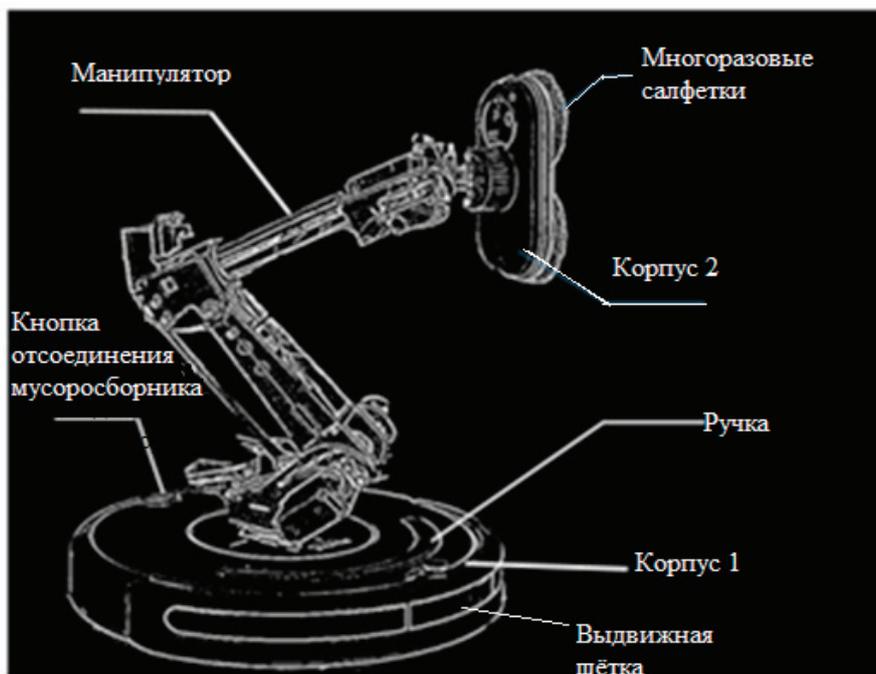


Рис. 4. Общее строение механизма



Рис. 5. Выдвижная щётка

убирать в труднодоступных местах. Оператор может задавать время начала уборки и дату, аппарат будет работать строго по расписанию.

Научная новизна:

- 1) Смоделирован новый тип робота;
- 2) Рассмотрены принципы работы робота-помощника, способного производить уборку в кузове вагонов на железнодорожном транспорте;
- 3) Данная модель ранее не была предложена.

Выводы:

В ходе исследования был смоделирован «Робот GES», рассмотрены принципы работы, технические характеристики устройства, а также выявлены основные преимущества данного робототехнического комплекса. Перечис-

ленные достоинства позволяют эффективно производить уборку в железнодорожных вагонах и ускорять этот процесс.

Робот GES является одним из шагов к решению функциональных, технологических, сервисных и организационных задач, возникающих в ходе обеспечения обслуживания людей.

Данная модель бытового робота заменяет человека на монотонной и тяжелой работе.

Возможна и дальнейшая модернизация модели при более подробном изучении планировки и обустройства вагонов поездов.

В результате проведенной работы была достигнута поставленная цель и реализованы задачи.

Литература:

1. Гигиенические требования при работах с источниками воздушного и контактного ультразвука промышленного, медицинского и бытового назначения: Санитарные правила и нормы. — М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997.
2. Е. В. Поезжаева «Теория механизмов и механика машин» дистанционное образование, Пермь 2007.
3. Агапов Е. В., Никулин В. С. «Модернизация модели робота-пылесоса» Автоматика и программная инженерия. 2015, № 1(11) 52. ФГБОУ ВПО «НГТУ», Новосибирск, Россия
4. Инструкция робота-пылесоса iRobot Roomba 500
5. Использование робота для мытья окон (Интернет источник) URL: <http://ubirai.ru/equip/ispolzovanie-robot-dlya-mytya-okon.html>

## Роботизация диагностики загазованности шахт и рудников

Поликарпова Кристина Николаевна, студент

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

*В статье рассмотрен шагающий робот, используемый для диагностики вредных примесей в воздухе.*

**Ключевые слова:** робот, диагностика, датчик

Роботизация диагностики шахт и рудников является актуальной на сегодняшний день. Летального исхода на Воркутинских шахтах можно было бы избежать при использовании робота, способного определять загазованность помещений. Он способен своевременно оповещать о повышении концентрации метана, опасного для жизни человека на конкретной территории.

Конструкция робота представляет собой паука (рис. 1), который содержит в себе следующие подсистемы: газовый датчик, ультразвуковой датчик измерения расстояния, шагающий 8-ногий робот, система управления.

Частью, обеспечивающей передвижение, является шагающий восьминогий робот. Шагающий робот — это машина относительно медленная в перемещении. Её



Рис 1. Корпус робота

скорость зависит от числа ног, которое имеет машина. Корпус робота вмещает все необходимые подсистемы робота и обеспечивает место для крепления 8 ног. При шагающем движении робот попеременно опирается на четыре из восьми ног: две несмежные ноги с одной стороны корпуса и две несмежные с другой. Корпус робота и расположение ног позволяют передвигаться по шахте. Для шагающего робота необходима нога, обеспечивающая контакт с землей в точке. Таким образом, можно использовать ногу с 3 степенями свободы.

У манипулятора робота имеется газовый датчик, который используется для обнаружения утечки газа в шахте. Данный датчик быстро распознает метан, природный газ, сжиженный природный газ, при этом он не реагирует на запах алкоголя и дыма.

При обнаружении роботом утечки газа, его местонахождение отмечается в базе данных системы. Затем следует анализ состава. В случае повышенной концентрации газа поступают сигналы тревоги.

Конструкция газового датчика показана на рис. 2, датчик состоит из керамической трубки, слоя, распознающего газ, измерительного электрода и нагревательной катушки, фиксируемых в корпусе сеткой из нержавеющей стали. Нагревательная пружина обеспечивает необходимые условия работы для чувствительных компонентов. Датчик имеет 6-контактов, 4 из них используются для распознавания сигналов, а оставшиеся 2 используются для подачи тока накаливания.

Для измерения расстояния до препятствия применяется бесконтактный ультразвуковой датчик. Используя

ультразвуковые волны, он измеряет расстояние до объекта или просто обнаруживает препятствие на пути движения робота. На плате модуля размещается пьезоизлучатель ультразвука и воспринимающий отраженную волну микрофон.

Принцип действия локационного датчика показан на рис. 3.

Датчик отправляет ультразвуковые импульсы и слушает отклик. На цифровой вход для включения измерения датчика подаем импульс высокого уровня длительностью 10–15 микросекунд. Датчик отправляет ультразвуковой сигнал из восьми коротких импульсов частотой выше предела диапазона слуха человека. Электроника датчика знает скорость звука в воздухе. Измеряя время между отправленным и принятыми сигналами ультразвука, датчик формирует выходной сигнал.

Спустя примерно микросекунду ультразвуковой датчик сигнализирует на выходе «Отклик» — импульс высокого уровня длительностью до 38 миллисекунд. Если препятствий не обнаружено, то на выходе будет сигнал с длительностью 38 мс. Таким образом, для работы с датчиком от электроники прибора требуется один цифровой управляющий выход и один вход для сигнала датчика. Длина импульса на выходе «Отклик» пропорциональна расстоянию до препятствия. Расстояние вы-

числяется по формуле:  $S = \frac{F}{60}$ , где  $S$  — расстояние в сан-

тиметрах,  $F$  — продолжительность импульса в микросекундах.

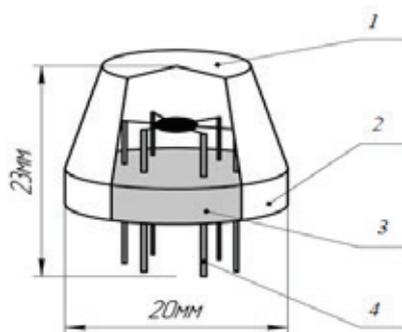


Рис. 2. Конструкция газового датчика

(1 — Антивзрывная сеть, 2 — Зажимное кольцо, 3 — Смолистая база, 4 — Ножки)

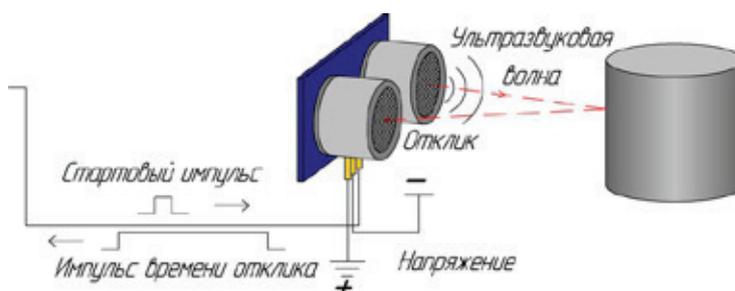


Рис. 3. Принцип действия ультразвукового датчика

**Выводы:**

Робот можно применять для исследования шахт и рудников в процессе работы шахтеров для диагностики загазованности пространства.

В настоящее время существует необходимость заблаговременного обнаружения и устранения утечки или на-

личия газа, поэтому робототехническая операция актуальна для проведения подобного рода работ.

Возможно использование в труднодоступных местах шахты или рудника для точного мониторинга состояния безопасности участка. В этом случае робот имеет преимущество перед другими видами контроля.

Литература:

1. Поезжаева Е.В.// Промышленные роботы: учеб. пособие: в 3 ч. / Е. В. Поезжаева. — Пермь: Изд-во Перм. Гос. техн. ун-та, 2009. — Ч.2. — 185.
2. Поезжаева Е. В., Новикова А. А., Поликарпова К. Н., Сайкинова В. А., Робот для диагностики вредных примесей в воздухе // Строительные и дорожные машины. — 9/2016. — С. 43–45.

## Архитектоника объемных структур в проектной деятельности художника по костюму

Прилепская Ольга Анатольевна, старший преподаватель;  
Родкина Анна Алексеевна, кандидат технических наук, доцент  
Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева

*В статье освещаются вопросы о месте архитектоники объемных структур в проектной деятельности художника по костюму.*

**Ключевые слова:** *архитектоника, объемные структуры, формообразование, художественное конструирование, проектирование костюма, одежда, художник по костюму*

Костюм — это важнейший элемент в системе культурных ценностей человечества. В нем сосредоточены философские мировоззрения, национальные традиции, культурно-исторические ценности. Костюм отражает перемены в обществе и концентрирует в себе характерные черты временного периода.

Образ костюма понимается через образ определенного лица, через его индивидуальные особенности, обобщающие и выражающие черты времени. [1]

В костюме, как целостном образе, собирается целый набор элементов, при помощи которых можно достигнуть эмоциональной выразительности. Проектируемая модель приобретает эстетическую выразительность. Форма, цветовая гамма, ритм, метр, пропорции и последовательности, создают впечатления иногда совершенно противоположные.

В проектировании одежды форма и формообразование занимают одно из центральных позиций. Вбирая в себя наиболее характерные черты временного периода, одежда помогает определять признаки, представляющие собой обобщение, отвлеченное от сложности реального мира.

В процессе создания одежды все архитектонические составляющие формообразования: идейно-социальная, утилитарно-функциональная, эстетическая и пр., включая и элементы архитектоники костюма, часто проявляются системно, в тесной взаимосвязи, подчиняясь социальному заказу потенциального потребителя.

Архитектоническими искусствами называют группу пространственных искусств, в которую входят: архитектура, прикладное и промышленное искусство, к сфере которых относится и костюм. В более полном и точном содержании ее методы применимы к произведениям искусства, имеющим прикладное значение в быту человека. [2]

В связи с этим, мы рассматриваем архитектонику объемных структур, как составную часть проектирования одежды.

Архитектоника одежды обуславливается антропологическими признаками фигуры человека. Одежда, при всем ее разнообразии должна подчиняться тектонике человеческой фигуры. При проектировании одежды проявляется тесно связанная система «костюм-фигура», в виде единой гармоничной пространственной структуры. С древних времен пропорции тела человека считаются образцом красоты и гармонии. Поэтому, одежда, спроектированная в системе «костюм — фигура», является «совершенной».

При проектировании одежды необходимо учитывать, что ее поверхность может частично повторять форму поверхности человеческого тела. Поэтому архитектонические формы делятся на топографические поверхности, которые точно повторяют контур поверхности человеческого тела и геометрические, которые не прилегают к фигуре. Форма костюма связывает между собой простран-

ственные элементы, становясь при это либо сложной, либо простой. Архитектоника контролирует систему связей между структурными элементами и служит средством достижения композиционной гармонии, что отвечает современным требованиям, предъявляемым к одежде [3].

В Орловском государственном университете проводятся исследования по совершенствованию процесса объемного формообразования одежды. Архитектоника костюма является базовым элементом при объемном формообразовании.

Для будущих художников по костюму «Архитектоника объемных структур» является профессионально-ориентированной дисциплиной. Целью курса «Архитектоника объемных структур» является развитие образно-ассоциативного мышления, умения самостоятельно ставить задачи и искать пути их экспериментального решения.

В задачи курса «Архитектоника объемных структур» входит:

- формирование у обучающихся объемно-пространственного мышления, ориентированного на поиск и решение проблемных ситуаций;
- приобретение обучающимися практических умений и навыков разработки объемных структур в материале;
- умение строить эксперимент при решении задачи и получение новых форм одежды;
- приобретение обучающимися теоретических знаний по формообразованию объемно-пространственных форм костюма.

Качество полученной формы костюма и ее уровень зависят от многих факторов, прежде всего от основных составляющих понятия архитектоники: совершенства формы, взаимосвязи формы и содержания, совершенства самого содержания, эстетичности формы (а также от критерия архитектоничности).

Дисциплина «Архитектоника объемных структур» осваивается в несколько последовательных этапов.

На начальном этапе основы формообразования познаются через выполнение орнаментальных объемно-пространственных структур из бумаги. Студенты осваивают приемы работы с бумагой. Овладение техникой выполнения объемных композиций из бумаги требует определенных навыков и умений в работе с материалом, а также хорошо развитого чувства пластичности бумаги и умения использовать в процессе создания формы структурные свойства бумаги.

Технология выполнения макетов из бумаги имеет несколько характерных особенностей. Студенты начинают с простейших орнаментальных структур, не требующих специальной художественной подготовки. Выполнив предварительные упражнения и получив первичные навыки работы с бумагой, студенты уже смогут выполнять более сложные, с точки зрения пластики, модели.

Перед студентами ставится задача на развитие чувства формы, ее грамотное прочтение и трактовку. Структура и внешняя форма имеют утилитарное и эстетическое зна-

чение и, кроме того, внешняя форма подвергается гармонизации. Форма обладает рядом физических свойств, которые могут вызвать у зрителя разнообразные ощущения (величина, геометрический вид, массивность, фактура, цвет).

Любая форма разрабатывается на основе конструкции, представляющей собой систему ребер жесткости, которые получаются в результате сгиба плоского листа бумаги. При этом студенты используют только белую бумагу, что позволяет работать таким средствам художественно-образного формообразования как светотеневые, фактурно-пластические и объемно-пространственные характеристики материальных форм.

На данном этапе студентами изучается объем как проявление структуры объемно-пространственной формы, анализируются принципы структурообразования в живой природе, архитектуре и дизайне, для чего осваиваются методы трансформации листа в объем в техниках геометрической и скульптурной пластики, проводится анализ членений вертикали и горизонтали в архитектуре с последующим выполнением объемных структур в вертикальном и горизонтальном ритме.

Создание объемной композиции сопровождается применением полученных знаний по курсам «Общая композиция», «Рисунок», «Композиция костюма».

На втором этапе через выполнение более сложного задания (выполнение объемно-пространственной формы головного убора) раскрывается творческая индивидуальность студентов. Студентами изучаются принципы построения конструктивно-пространственных форм с последующим выполнением макета головного убора в геометрической пластике.

Завершающим этапом дисциплины является построение макета объемно-пространственной формы костюма. На основе выбранной исторической формы проводится разработка современной формы костюма и изготавливается макет костюма из бумаги. Этим самым можно определить уровень способностей образного объемно-пространственного мышления, приобретенных навыков лепки объемной формы, умение перейти от элементарного понимания костюма как набора направлений совершенствования подготовки швейного производства, что обуславливает необходимость его использования при подготовке художников по костюму.

В процессе изучения дисциплины у студента происходит не только усвоение знаний, формирование умений и навыков, но и развиваются общие свойства и характеристики личности. В ходе обучения меняются различные стороны психической деятельности, накапливаются и изменяются методы выполнения действий, меняются знания и представления, появляются новые интересы.

Таким образом, роль дисциплины «Архитектоника объемных структур» представляется достаточно значимой в свете современных требований профессиональной подготовки художника по костюму, поскольку в процессе обучения данной дисциплине формируется образно-про-

странственное мышление студентов, применительно к условиям будущей профессиональной деятельности. Объемное формообразование как совокупность творче-

ских средств художественного проектирования костюма является платформой исследовательской и научно-творческой работы.

Литература:

1. Козлова Т. В. Костюм. Теория художественного проектирования. / При участии Заболотской Е. А. (Часть VI), Рыбкиной Е. А. (Часть VIII). Учебник для вузов. — М.: МГТУ им. А. Н. Косыгина, 2005.
2. Композиция костюма: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Г. М. Гусейнов, В. В. Ермилова, Д. Ю. Ермилова и др. — М.: Издательский центр «Академия», 2003.
3. Рывтинская Л. Б. Основы формообразования костюма (архитектоника): Учебное пособие: М.: Альфа-М, 2005.

## О некоторых результатах лабораторных исследований для сокращения выноса песка при эксплуатации газовых скважин

Рязанов Антон Валентинович, кандидат технических наук, ведущий инженер  
Уренгойский филиал ПАО «ВНИПИгаздобыча» (Тюменская обл.)

*В статье приведены основные особенности, противоречия и факторы, осложняющие эксплуатацию газовых скважин на поздней стадии разработки сеноманских залежей нефтегазоконденсатных месторождений ЯНАО, связанные с обводнением призабойной зоны пласта и выносом воды и песка в ствол скважин, а также результаты лабораторных исследований зависимости выноса песка от депрессии на образец для различных типов насыпных моделей, в том числе, обработанных жидким стеклом. Статья предназначена для специалистов газодобывающих предприятий, научных и инженерно-технических работников проектно-конструкторских организаций при реконструкции и техническом перевооружении существующих объектов добычи газа.*

**Ключевые слова:** обводнение призабойной зоны пласта (ПЗП), пескопроявление, песчаные и псевдооживленные пробки, закрепление ПЗП жидким стеклом, проницаемость коллектора, дебит скважины, депрессия

На поздней стадии разработки сеноманских залежей нефтегазоконденсатных месторождений севера Тюменской области выявлены характерные особенности, затрудняющие эксплуатацию газовых скважин и снижающие их добычные характеристики [1, с. 7–8]:

- отобраны основные запасы газа, в результате чего пластовое давление снизилось с 12 до 1,0–3,5 МПа;

- наблюдается существенный подъем газо-водяного контакта (ГВК), развитие депрессионных воронок, обводнение призабойной зоны пласта (ПЗП) из-за конденсации воды в стволе скважины, а также подтягивания подошвенных вод, в том числе по причине негерметичности заколонного цементного камня;

- в результате вымывания водой связующих глинистых частиц происходит разрушение породы продуктивного пласта и интенсификация процесса выноса песка и воды в ствол скважины;

- в лифтовых колоннах скважин применены трубы большого диаметра ( $D_u=168$  мм), что позволяло в начале эксплуатации добывать более 1 млн м<sup>3</sup>/сут, а сейчас, ввиду падения пластового давления, обуславливают низкие скорости газового потока в скважинах.

В результате обостряются противоречия, осложняющие расчет режима эксплуатации скважин, а именно:

- песок, выносимый потоком газа в ствол скважины, не образует пробку [2], если скорость газа в лифтовых насосно-компрессорных трубах (НКТ) будет выше критической, равной скорости падения песчинок под действием силы тяжести (при этом сила подъема потока газа прямо пропорциональна квадрату диаметра частицы, а ее скорость падения под действием гравитации пропорциональна кубу диаметра частицы);

- увеличение скорости движения газа в стволе скважины возможно при повышении депрессии на пласт, что недопустимо вследствие интенсификации разрушения слабосцементированной породы ПЗП, особенно увлажненной водами;

- при скорости газового флюида более 10 м/с и большом содержании в нем механических примесей резко увеличивается абразивный износ НКТ, фитингов, запорно-регулирующей арматуры, труб промысловых газосборных сетей и промыслового оборудования установок комплексной подготовки газа (УКПГ).

Помимо указанного имеются следующие опасные факторы, способствующие интенсификации процесса выноса пластового песка [3, с. 323–330]:

- переупаковка зерен песка, потерпевшего дилатансию из-за уменьшения внутренних напряжений при бурении;

- ослабление скелета ПЗП при операциях по заканчиванию и освоению скважин, проводимых в условиях нагружения породы, выходящих за предел ее прочности;
- отклонение от технологического режима эксплуатации скважин с дестабилизацией режима фильтрации;
- эксплуатация скважин в условиях оборудования перфорированной обсадной колонной, ухудшающая сопротивляемость породы разрушению и пластическим деформациям по сравнению с открытым забоем;
- несоблюдение технологических мероприятий, обеспечивающих «плавный» ввод скважин в эксплуатацию после их останова для проведения исследований.

Вышеизложенное обуславливает эксплуатацию многих скважин на Межвежьем, Уренгойском, Ямбургском и других крупнейших газовых месторождениях ЯНАО с ограничением дебитов и депрессий на пласт. Это приводит к снижению скорости восходящего потока газа при имеющихся диаметрах НКТ, увеличению количества выносимых песка и воды, выпадению и отложению механических примесей в нижней части скважины, появлению забойной песчаной и псевдооживленной пробки [4, с. 4], которая при наличии жидкости постепенно уплотняется и упрочняется. В итоге происходит перекрытие перфорированного интервала скважины, НКТ, увеличение депрессии и ухудшение фильтрационно-емкостных свойств (ФЭС) призабойной зоны коллектора, снижение дебита скважины и ее останова (самозадавливание) [5].

Влияние самозадавливающихся скважин на общую добычу газа значительно. Количество таких скважин зависит от сезонных колебаний отбора газа, а также от количества проводимых геолого-технических мероприятий (ГТМ). Так за период с 2004 по 2010 год среднегодовое количество самозадавливающихся скважин, к примеру, на Медвежьем газоконденсатном месторождении увеличилось с 82 до 116 [6].

Самыми частыми ГТМ для поддержания устойчивой работы скважин, подверженных водо- и пескопроявлению, являются [1, с. 7]:

- технологические продувки скважин через факельную линию для периодического удаления скопившейся воды и песка;
- закачка на забой скважины жидких и твердых вспенивающих ПАВ;
- замена труб лифтовых колонн на трубы меньшего диаметра для увеличения скорости потока газа.

К недостаткам технологических продувок скважин можно отнести значительное возрастание депрессии на пласт, приводящее к разрушению призабойной зоны, а также большие потери газа в атмосферу, которые на Медвежьем месторождении, по мнению Епрынцева А. С. и др., могут в ближайшее время достигнуть 20 млн м<sup>3</sup> в год [6].

Кроме того, в последнее время на многих месторождениях РФ испытываются другие технологии: концентрическая лифтовая колонна (КЛК), закачка дополнительного газа в затрубье (газлифт), плунжерный лифт, колтюбинг и др., обеспечивающие вынос воды и песка из скважин.

Рациональные методы решения проблемы извлечения из пласта низконапорного газа в условиях выноса песка и воды, можно разделить на две группы [7, с. 28]:

- установка проволочных, щелевых, гравийных и других фильтров;
- закрепление пород в призабойной зоне различными способами и материалами (гампоновые составы, смолы, химические растворы и т.д.).

Одним из путей повышения отбора газа является внедрение сравнительно новой технологии закрепления ПЗП жидким стеклом с продувкой газом. Химическая формула жидкого стекла  $Na_2O_mSiO_2$ , где  $m$  — кремнеземистый модуль, может колебаться от 2 до 4,5 (оптимальный для закрепления пород находится в пределах 2,8–3,2). В зависимости от способа производства различают два вида стекла — содовое и содово-сульфатное. По свойствам они различаются незначительно.

Жидкое стекло — активное соединение, реагирующее со многими органическими и неорганическими соединениями. При этом образуется кремнегель, который при выпадении в песок, взаимодействует с ним и скрепляет отдельные частички. На этом и основан принцип укрепления пористых пород жидким стеклом, а основным фактором укрепления ПЗП является замещение эффективной пористости коллектора в призабойной зоне крепящим материалом. Вследствие действия сил адсорбции происходит аккумуляция жидкого стекла на поверхности горной породы, в результате действия сил адгезии — увеличение прочности коллектора и сокращение выноса песка и воды. Для снижения вредного воздействия после обработки скважины возможно проведение прокачки газом ПЗП, с целью создания поровых каналов с высокой проницаемостью за счет уменьшения их извилистости. Кроме того, для снижения времени затвердевания и предотвращения закрытия поровых каналов возможна прокачка сухого газа в ПЗП на малой репрессии в период времени затвердевания жидкого стекла.

Представляет интерес определение величины выноса песка в зависимости от депрессии на лабораторной установке для различных типов насыпных моделей, в том числе обработанных жидким стеклом. Схема лабораторной установки показана на рис. 1.

Основным объектом исследования является образец насыпной горной породы. Песчаник сеноманских залежей Уренгойского месторождения в пластовых условиях является слабосцементированным, поэтому для создания адекватной модели, отображающей процесс разрушения призабойной зоны в лабораторных условиях, состав, цементирующий насыпную модель, был подобран под условия реального месторождения. Цементирование песчаника проводилось суспензией глины, содержание глины составляло около 5% по массе. После приготовления суспензии происходило насыщение образца в кернодержателе (диаметр 0,03 м, длина 0,3 м) в течении 15 минут. После просушки образец был готов к испытаниям (пористость образцов составляла 35–40%).

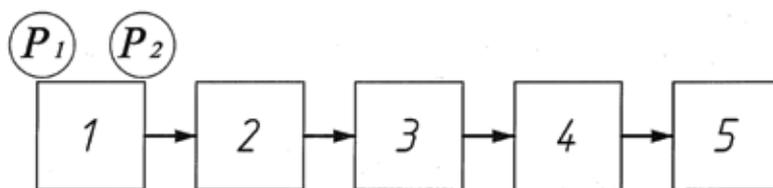


Рис. 1. Схема лабораторной установки при закачке крепящих реагентов: 1 — ресивер; 2 — установка регулирования выходного давления и расхода; 3 — сифон; 4 — образец керна; 5 — фильтр, улавливающий механические частицы,  $P_1$  — давление в емкости до эксперимента,  $P_2$  — давление в емкости после эксперимента

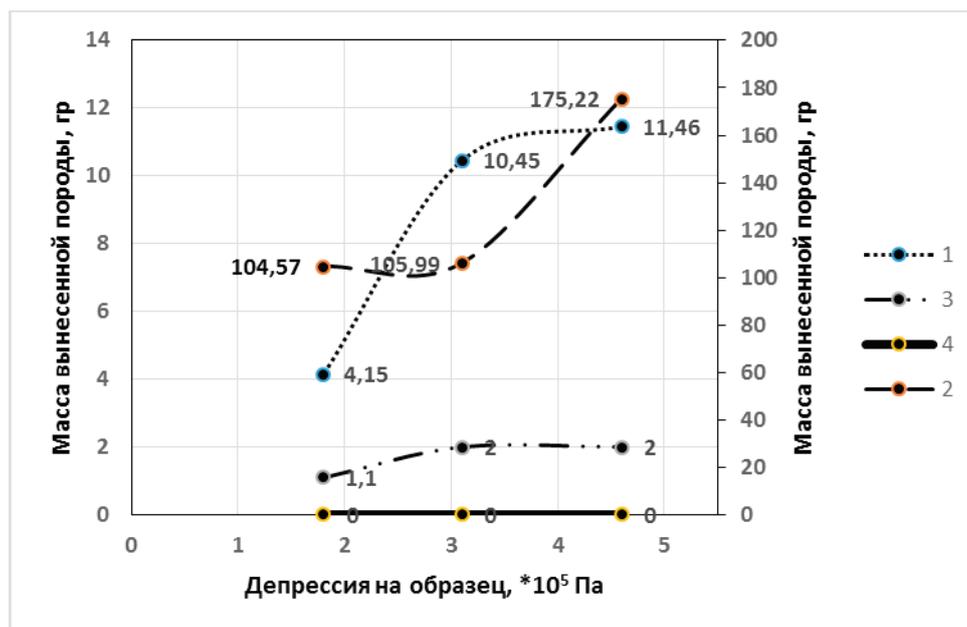


Рис. 2. Зависимость выноса песка от депрессии на образец для: 1 — сухих, необработанных образцов, 2 — влажных, необработанных образцов (по вспомогательной оси), 3 — сухих, обработанных жидким стеклом, образцов, 4 — сухих, обработанных жидким стеклом с продувкой газом, образцов

Исследования проводились на 3 величинах депрессии на образец. Замер выносимого песка проводился массовым методом. Измерение объема газа проводилось по падению давления в баллоне компрессора без использования расходомеров.

Некоторые результаты лабораторных исследований зависимости массы выносимого песка от депрессии на образец представлены на рис. 2.

Анализ графиков подтверждает, что высокая влажность песка интенсифицирует его вынос по сравнению с сухим образцом в 10 раз при депрессии  $3,1 \cdot 10^5$  Па, в 15 раз при депрессии 4,6 атм. и в 25 раз при депрессии 1,8 атм. Па (кривые 1 и 2). Обработка сухого образца жидким стеклом уменьшает вынос песка более чем в 3,5 раза при депрессии 1,8 атм. и более чем в 5,5 раз при депрессии 4,6 атм. Продувка газом, обработанного жидким стеклом, образца исключает вынос

песка при указанных депрессиях. При этом стоит отметить, что в результате неоднородности обработанных образцов по прочностным свойствам, вынос песка осуществлялся не постоянно, а группами по несколько граммов, в то время как, в случае исследования влажной породы, вынос песка фиксировался практически на всем протяжении фильтрации.

Анализ достоинств и недостатков существующих технологий закрепления призабойной зоны пласта скважин, подверженных водо- и пескопроявлению, а также результатов приведенных лабораторных исследований, актуализирует изыскания, направленные на изучение процессов и оптимизацию технологии закрепления ПЗП газовых скважин, в том числе, с помощью жидкого стекла с продувкой газом, с целью ее внедрения при разработке сеноманских залежей нефтегазоконденсатных месторождений ЯНАО на стадии падающей добычи.

Литература:

1. Дикамов Д.В. Совершенствование технологии эксплуатации скважин сеноманских залежей по концентрическим лифтовым колоннам на поздней стадии разработки: автореф. дис. ...к-та техн. наук: 25.00.17. — Москва, 2011. — 25 с.

2. Моторин Д. В., Кротов П. С., Гурьянов В. В. Проблемы добычи газа на завершающем этапе разработки месторождений. //Территория Нефтегаз, № 10, октябрь, 2011, с. 50–53.
3. К. А. Жуковский, А. А. Ахметов, А. М. Шарипов, В. Н. Хозяинов. Причины пескопоявления при добыче газа и методы их ликвидации, применяемые на Уренгойском месторождении. //Проблемы освоения месторождений Уренгойского комплекса. — М.: ОАО «Издательство »Недра», 1998. — 464с.
4. Ходжаев В. В. Совершенствование технологии эксплуатации газовых скважин с наличием жидкой фазы на забое (на примере Уренгойского месторождения) [Текст]: / дисс... к-та техн. наук: 25.00.17 / Ходжаев Владислав Владимирович. — Уфа. ГУП «ИПТЭР». — 2008. — 120с.
5. Шулятиков И. В., Сидорова С. А., Медко В. В., Пристанский А. Г. Технологические процессы и оборудование для эксплуатации газовых скважин в условиях, осложненных наличием жидкости и разрушением призабойной зоны пласта // Обз. инф. Сер.: Разработка и эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений. М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2005. — 103 с.
6. Епрынцева А. С., Кротов П. С., Нурмакин А. В., Киселев А. Н. Проблемы эксплуатации обводняющихся скважин газовых месторождений в стадии падающей добычи. // Вестник ОГУ № 16 (135)/декабрь 2011, с. 41–45.
7. Нескин В. А. Разработка и исследование композиции на основе кремнийорганического полимера для ликвидации выноса песка в газовых скважинах [Текст]: / дисс... к-та техн. наук: 02.00.11 / Нескин Вадим Алексеевич. — Москва. РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина. — 2016. — 129с.

## К вопросу о влиянии свойств текстильных материалов на формирование одежды

Стебакова Татьяна Геннадьевна, кандидат технических наук, доцент;  
Родкина Анна Алексеевна, кандидат технических наук  
Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева (г. Орел)

*В статье описываются основные методы влияния свойств текстильных материалов на процесс формирования одежды.*

**Ключевые слова:** *толщина, геометрический вид, ширина, свойства ткани, текстиль, поверхностная плотность, прочность, удлинение, износостойкость, сминаемость, жесткость, драпируемость площадь, материалы для одежды, костюм, проектирование*

Важную роль при проектировании и производстве швейных изделий играют свойства текстильных материалов. С учетом разнообразных свойств проектировщик может разрабатывать модели, которые будут отвечать требованиям современного потребителя.

Одежда, как совокупность швейных изделий, должна соответствовать социальным, утилитарным и эстетическим требованиям потребителя. С насыщением рынка продукцией массового выпуска, эти требования ужесточились. Сегодня покупатели предпочитают модную, качественно изготовленную одежду, отличающуюся разнообразием моделей. Однако при производстве такой продукции возникают различные проблемы, самой существенной из которых является создание разнообразных моделей при минимальных затратах на производство.

Улучшение качества швейных изделий и повышение их конкурентоспособности во многом зависят от совершенствования их конструкций, обновления ассортимента за счет применения новых материалов, а также от техники и технологии их изготовления. Оптимальный выбор текстильных материалов — один из важнейших факторов,

оказывающих влияние на формирование новых моделей одежды.

Свойства текстильных материалов должны учитываться на всех этапах изготовления модели. Всесторонний учет показателей свойств материалов помогает разрабатывать модели, соответствующие требованиям современного потребителя.

Свойства текстильных материалов условно подразделяются на: геометрические, механические, физические, оптические, технологические. [1]

К геометрическим свойствам текстильных материалов относят: толщину, ширину, длину, линейную и поверхностную плотность.

Толщина текстильных материалов должна учитываться при установлении припусков к деталям одежды, определении расхода швейных ниток на машинные строчки, расчете настилов тканей в раскройном цехе. Толщина ткани влияет на теплозащитные свойства материалов, воздухопроницаемость, жесткость, драпируемость и пр.

Ширина ткани — расстояние между краями ткани. Ее определяют измерением в направлении, перпендику-

лярном нитям основы. Ширину измеряется с кромками или без кромок. Современная промышленность выпускает полотна ткани шириной от 60 см до 250 см и более.

Длину ткани определяют ее измерением в направлении нитей основы. При настилении ткани перед раскроем длина куска может увеличиваться в результате растяжения. Поэтому ткани с большой растяжимостью должны укладываться в настил с использованием специального настильного оборудования без растяжения.

Линейная и поверхностная плотности текстильных материалов учитываются при оценивании качества и выборе материалов для изготовления швейных изделий. Данные показатели строго регламентируются в нормативно-технических документах.

Геометрические свойства текстильных материалов влияют на многие факторы при проектировании и изготовлении одежды, в том числе на подбор оборудования для изготовления модели. От толщины и поверхностной плотности ткани зависят номер иглы и ниток, регулировка высоты лапки и подъема рейки в швейной машине, натяжение нити в процессе образования строчки. Особое значение придается геометрическим свойствам ткани при формообразовании модели, так как какие-то ткани хорошо держат форму из-за своих свойств, а для каких-то необходима специальная технологическая обработка.

Механические свойства ткани можно разделить на: прочность, удлинение, износостойкость, сминаемость, жесткость, драпируемость и т.п.

Прочность, т.е. возможность противостоять нагрузке на материал — одна из основных характеристик ткани. Она зависит от волокнистого состава материала, толщины нити, поверхностной плотности и, особенно, от вида переплетения и др. наибольшая прочность принадлежит материалам из синтетических волокон.

Износостойкость — устойчивость к различным видам разрушения (воздействие солнца, температуры, многократной физической нагрузки, химическому воздействию и пр.).

Драпируемость характеризуется свойством ткани образовывать мягкие сборки и складки. Оно зависит от жесткости, мягкости материала, а также от его массы. Жесткие ткани способны к долгосрочному сопротивлению к изменению формы. Обратная величина (гибкость) характеризует возможности ткани легкому изменению.

К физическим или гигиеническим свойствам текстильных материалов относят: гигроскопичность, воздухо-паро-водонепроницаемость, намокаемость, пылеемкость, способность к электризации и др.

Оптические свойства ткани зависят от их способности менять поток падающего света, в связи с чем происходит визуальное восприятие сминаемости, геометрического вида изделия и пр. основными характеристиками оптических свойств ткани являются блеск, прозрачность, колорит, сюжетные и тематические рисунки.

От технологических свойств текстильных материалов зависит подготовительно-раскройные работы, выбор оборудования и процессов влажно-тепловой обработки.

Таким образом, свойства текстильных материалов воздействуют на все стадии формообразования одежды: художественное проектирование, конструирование и технологию изготовления.

Свойства тканей зависят от качественных особенностей волокнистого состава исходного сырья. Наиболее распространенным материалом является хлопчатобумажная ткань. Ее часто используют для изготовления белья и одежды для повседневной носки. Такую известность придали хлопчатобумажной ткани гигроскопичность, прочность и гигиеничность. Волокнистый состав ткани составляют как натуральное сырье растительного происхождения (хлопок), так и небольшой процент искусственных добавок. [3]

В производстве изделий легкой промышленности используется огромное количество разнообразных текстильных материалов, отличающиеся и по сырьевому составу, и по волокнистому составу, и своим свойствам. Все вышеназванные свойства оказывают глубокое влияние на выбор геометрического вида модели, ассортиментную группу, конструкторско-технологическое обеспечение процесса изготовления одежды. От свойств зависят также эксплуатационные характеристики.

Создавая форму определенного геометрического вида, проектировщик опирается на характер линий, полученных при формообразовании. Мягкие и пластичные ткани дают плавные формы, и наоборот, жесткий материал даст резкие, ломкие очертания силуэта. Фактура текстильных материалов оказывают влияние на визуальное восприятие массы и объема модели, придают ей либо тяжесть, либо легкость. Ярко выраженная рельефная поверхность материала способна зрительно увеличить объем и воспринимаемую массу костюма, создавая ощущение тяжести. [2]

Чтобы получить одежду, визуальную массивную, необходимо выбирать ткани с максимальной толщиной и жесткостью. Акцент ставиться на конструктивном решении композиционного построения модели. Ткани с повышенной жесткостью дают визуальную угловатые линии, образуя при этом, четкие складки. При невозможности получить «летающий» силуэт данные материалы образуют строгие прямолинейные формы. К данным тканям можно отнести тафту, парчу, деним и другие. Достаточно жесткие костюмные ткани образуют четкие формы.

Легкие ткани чаще всего используются для проектирования моделей со средним объемом, так как они обладают хорошей драпируемостью. Мягкие, легкие ткани образуют хорошие сборки, складки и фалды. Ткани с хорошей драпируемостью придают мягкость и округлость силуэтным и конструктивным линиям в модели. К подобным материалам можно отнести крепы различных видов, креп-дешин, шифон, шелк, атлас и др. данные материалы часто используют для изготовления вечерней женской одежды. Композиция вечерней женской одежды строится на визуальности фактуры материала и декоративной отделке.

Для формообразования «летающих» форм, некоторых видов отделки, разнообразных вставок и других конструктивных элементов модели используются прозрачные

ткани (шифон, маркизет и т.п.). Данные материалы более всего подходят для формообразования мелких кладок, сборок, разных драпировок, получая при этом пышность объема изделия.

Трикотажные материалы отличаются большой растяжимостью и эластичностью. При этом трикотажное полотно может растягиваться в разных направлениях. Отличительной особенностью трикотажа является низкая сыпучесть. В связи с этим, край изделия из данного материала можно не обрабатывать. Изделиям из трикотажа характерно прилегание непосредственно по фигуре человека либо подчеркнута свободная форма.

Таким образом, объемно-пространственная форма одежды зависит от формообразующих свойств ткани, из которой она изготавливается. Современные модели различного ассортимента изготавливаются сегодня в основном из тканей, нетканых и трикотажных полотен. Формообразование той или иной модели зависит от свойств данных материалов. В настоящее время стало уделяться больше внимания к формообразующим свойствам текстильных материалов. Создание форм с учетом различных свойств ткани позволит сократить конструктивные формообразующие средства и получить новые интересные формы с минимальными издержками.

Литература:

1. Калмыкова Е. А., Лобацкая О. В. Материаловедение швейного производства: Учеб. пособие. — Мн.: Выш., 2001. — 412 с: ил.
2. Пармон Ф. М. Композиция костюма. Одежда, обувь, аксессуары. Учебник для вузов (3-е издание, переработанное и дополненное). — М.: «Триада Плюс», 2002. — 312 с.
3. Савостицкий Н. А., Амирова Э. К. Материаловедение швейного производства. — М.: Академия, 2012. — 270 с.

## Исследование элементов троичной логики на примере троичного инвертора

Султанов Иван Александрович, магистрант

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана

*В статье представлены обзор, описание и исследование троичной логики, базовых троичных логических элементов на КМОП транзисторах, представлен обзор возможных троичных операций. В качестве примера троичного базового логического элемента рассмотрен троичный инвертор на КМОП транзисторах, его моделирование и испытание на практике. Даны рекомендации по разработке и проектированию базовых логических элементов троичной логики. Представлена топология троичного инвертора в кристалле.*

*Ключевые слова: троичная логика, КМОП, троичный инвертор, базовый логический элемент, топология*

## Trinary logic elements research on the example of trinary invertor

Sultanov I. A., master, graduated Bachelor

Bauman Moscow state technical University

*The article provides an overview, description and research of ternary logic, basic of ternary logic elements on the CMOS transistors, and provides an overview of the possible ternary operations. As an example, the base ternary considered ternary logic element inverter CMOS transistors, simulations and test it in practice. The recommendations on the development and design of the basic logic elements ternary logic. Presented ternary inverter topology on the crystal.*

*Keywords: ternary logic, CMOS, ternary inverter, basic logic element, topology*

Современная двоичная электроника, особенно, двоичные ЭВМ, ушла далеко вперед и, в некоторых сферах, её развитие постепенно заходит в тупик. К примеру, малые топологические нормы, которые становятся приблизительно равными шагу кристаллической решетки кремния, а, отсюда, и малая ширина поликремниевое затвора КМОП транзистора, задают границу развития КМОП ИМС, так как при техпроцессе при-

мерно равном шагу кристаллической решетки кремния, становится неизбежно влияние различных квантовых эффектов. Тот же закон Мура, также имеет свои границы, дальше которых перешагнуть, к сожалению, невозможно из-за влияния квантовых эффектов [1]. Остается только полностью поменять концепцию КМОП схем и ЭВМ на КМОП ИМС и предложить нечто совершенно новое.

Казалось бы, зачем кардинально все менять, если даже при техпроцессе 14 нм (FinFET) довольно многих все устраивает даже более чем? И ведь правда, большими частотами (единицы-десятки ГГц), количеством ядер (до 8–10) сейчас уже никого не удивишь, вся ответственность за быстродействие в большей степени переключается на программистов. А если нужны по-настоящему большие частоты (до терагерцового диапазона), то на помощь приходят полевые транзисторы с оптическим затвором, проводимость которых модулируется светом, либо же, чисто оптические транзисторы. Бытует мнение [2], что полевые транзисторы с оптическим затвором способны несколько сдвинуть границу закона Мура вверх.

Количество передаваемой информации за единицу времени можно также увеличить за счет увеличения разрядности, вместо частоты. Здесь на ум приходят квантовые ЭВМ [3], в которых каждый бит (кубит) может находиться в одном из двух состояний, подобно спину электрона [4]. Но проблема данного компьютера состоит в невозможности считать эту вероятность и оперировать ею: однажды считав кубит, он превращается в обычный бит и вся «квантовость» теряется. Также можно упомянуть биокомпьютеры, либо ДНК-компьютеры [5], но, к сожалению, эти виды ЭВМ, как и квантовые, не предназначены для решения широкого круга задач, а только каких-нибудь специфических (к примеру, кратчайший маршрут обхода вершин графа).

Но возможно ли поменять концепцию ЭВМ не используя различную экзотику, такую как квантовые, биокомпьютеры и оптические транзисторы, не теряя при этом всей функциональности современных ЭВМ? Действительно, у удобной, компактной и дешевой КМОП технологии нет аналогов. Она, как никакая другая, подходит для двоичных ЭВМ. Однако, разве на многоядерных, высокочастотных и технологичных двоичных ЭВМ на КМОП разве должно все заканчиваться? Возможно, это так, если потребности пользователей и программистов двоичной ЭВМ удовлетворены, и вся работа по достижению быстродействия лежит на разработчиках программ и ОС.

Однако, не дает покоя мысль о многозначных логиках [6]. Да, они сложнее, нежели двоичная (включил/выключил) и, возможно, не смогут обеспечить должного быстродействия и помехоустойчивости. Среди всех многозначных логик выделяется **троичная логика**, которая сохраняет в себе все свойства двоичной логики и добавляет новые [7, 8].

Чем так примечательна троичная логика и почему не выбрать, к примеру, четырехзначную или, вообще, десятичную логику, где в каждом разряде передается куда большее количество информации? Ответ кроется в **экономичности** различных видов логик [9].

*Экономичность* характеризуется количеством информации, которое можно представить с помощью некоторого *числа знаков*  $n$  в данной логике. В свою очередь,  $n$  выражается через *количество триггеров*  $r$  (запомина-

ющих ячеек), умноженное на *число логических уровней данной логики*  $p$  (основание)

$$n = rp \tag{1}$$

Теперь попробуем представить какой *диапазон значений*  $m$  (количество информации) можно охватить, используя одинаковое число знаков  $n$  в различных видах логик. Для этого необходимо составить график функции при  $n = 8$  (рисунок 1)

$$m(p) = p^{\frac{n}{p}} = p^{\frac{8}{p}} \text{ или } f(x) = x^{\frac{8}{x}} \tag{2}$$

Далее, попробуем найти экстремум функции  $f(x) = x^{\frac{8}{x}}$ . Для этого вычислим её производную

$$\frac{df(x)}{dx} = x^{\frac{8}{x}-1} = 0 \tag{3}$$

$$8x^{\frac{8-2x}{x}}(1 - \ln(x)) = 0$$

$$\ln(x) = 1$$

$$x = e \approx 2.7$$

Следовательно, самой экономичной логикой с целочисленным основанием является троичная, так как 3 ближе к числу  $e$ . И, если взять основание, равное 4 и более, то, как видно из рисунка 1, при  $n = 8$ , к примеру, для четырехзначной логики ( $r = 2, p = 4$ ), мы сможем представить числа в диапазоне всего лишь от 0 до 15 (либо от -8 до 7), а в случае троичной логики ( $r = 3, p \approx 3$ ) — в диапазоне от 0 до, примерно, 18 (или от -9 до 8). Для двоичной логики при  $n = 8$  ( $r = 4, p = 2$ ) диапазон чисел будет равен также от 0 до 16, как и в случае четырехзначной логики.

Преимущества троичной логики перед всеми возможными видами логик очевидны, но можно рассмотреть преимущество ещё на одном примере. Допустим, нам дано число 30, и надо его представить в двоичной, троичной и четырехзначной логиках. Для двоичной логики понадобится  $r = 5$  триггеров, для троичной  $r = 4$  триггера, для четырехзначной  $r = 3$  триггера. Числа знаков, соответственно, будут равны 10, 12 и 12, а диапазоны значений при указанных количествах триггеров, соответственно, равны 0...31, 0...80 и 0...63. В этом примере примечательно то, что числа знаков у троичной и четырехзначной логик равны, но, количество информации, которое можно представить с помощью данного числа триггеров и количества логических уровней, у троичной логики выше, чем у четырехзначной. Иными словами, троичная логика является «золотой серединой» среди всех целочисленных логик при представлении некоторого числа минимальным набором триггеров и логических уровней. В четырехзначной логике и всех последующих триггеров хоть и меньше, но количество уровней приходится увеличивать, что ведет к снижению помехоустойчивости в разы.

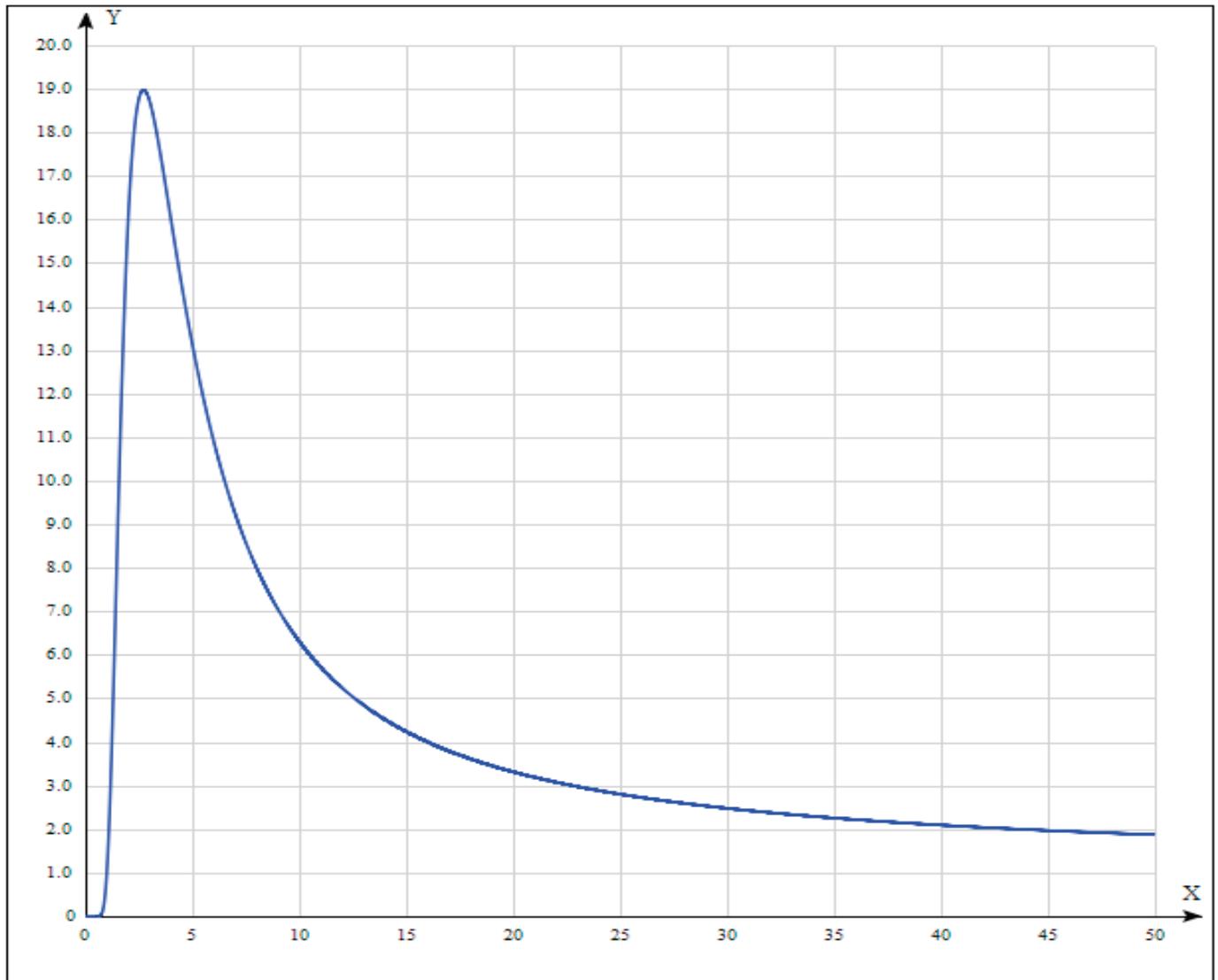


Рис. 1. Зависимость диапазона значений (Y) от основания логики (X) при одинаковом числе знаков  $n$

Ещё одно достоинство троичной логики — это возможность симметрии. Иначе, в двоичной логике используются логические уровни 0, 1, в троичной несимметричной 0, 1, 2, а в симметричной  $-1, 0, +1$  или  $-, 0 +$ . В четырёхзначной логике используются уровни 0, 1, 2, 3, а ось симметрии появляется только в пятизначной логике (0, 1, 2, 3, 4) относительно числа 2, но уже значительно снижается помехоустойчивость из-за увеличения количества логических уровней.

Симметрия даёт довольно значимое преимущество — это возможность безо всяких трудностей (вроде перевода в обратный и дополнительный коды, как в случае двоичной логики и иных несимметричных) представлять отрицательные числа и проводить различные операции над ними. К примеру, если взять число 10 в симметричной логике (+0+), то, для того чтобы получить  $-10$ , нам необходимо инвертировать все троичные разряды (триты) относительно 0. В итоге получаем  $-0-$ . При проведении операции суммирования, используя отрицательные числа, сумматор автоматически становится субстрактором (вы-

читателем). К примеру,  $10 + (-10) = 0$ , что аналогично  $(+0+) + (-0-) = 000$ .

Ещё одно преимущество троичной логики кроется в представлении чисел с плавающей запятой, однако, в этом случае придется использовать несимметричную логику. Преимущество состоит в наилучшем округлении числа при отбрасывании разрядов после запятой. К примеру, даны числа с плавающей точкой в троичной логике 0.2222 и, аналогичное, в двоичной 0.1111. Числа после запятой будут равны, соответственно, 0.987 для троичной и 0.937 для двоичной. Если отбросить один разряд, то будем иметь 0.222 и 0.111, а погрешности относительно первоначальных чисел будут, соответственно, равны 0.024 и 0.062. При 0.22 и 0.11 погрешности составят для троичного числа 0.098, а для двоичного уже 0.185. Таким образом, в случае троичной логики, погрешность при отбрасывании разрядов увеличивается не столь значительно. В случае двоичной логики приходится прибегать к различным дополнительным методам по округлению чисел.

Стоит отметить некоторую особенность в схемотехнике троичных логических элементов на КМОП транзисторах, которая будет рассмотрена далее. Троичные логические элементы используют в качестве входных и выходных сигналов используют дифференциальные пары сигналов. С одной стороны это преимущество (снижается влияние помех), с другой — некоторый недостаток (увеличение количества входов и выходов в 2 раза, либо увеличение металлизации на топологии).

В некоторых источниках [8] предлагается использовать *лямбда-транзистор* ( $\lambda$ -транзистор) для построения троичных логических элементов, пример которого изображен на рисунке 2 (NLT  $\lambda$ -транзистор). Такой транзистор строится либо на полевых JFET транзисторах, либо на полевых транзисторах со встроенным каналом. Но, к сожалению,  $\lambda$ -транзистор не способен решить проблему энергопотребления логическим элементом, так как при нулевом напряжении на базе (логический 0), транзистор проводит довольно значительный ток.

Некоторые особенности троичной логики, возможно, ещё только предстоит узнать, так как она довольно плохо изучена в КМОП [8]. Однако, можно сказать наверняка, что троичная система счисления более характерна для повседневной жизни и различных реальных процессов, так как даже на любой заданный вопрос, иногда, невозможно однозначно ответить «да» (1) или «нет» (0), поэтому на помощь приходит троичная логика «да» (+ или 2), «нет» (— или 0) и «наверное» (или «не знаю», «неизвестно») (0 или 1). Можно привести несколько примеров доминирования только трёх состояний и не более:

- через 3 точки проходит только 1 плоскость (к примеру, табурет с тремя ножками намного устойчивее, чем с двумя);
- пространство, окружающее нас, имеет размерность 3, то есть, например, X(–), Y(0), Z(+);
- конденсатор заряжен либо положительно(+), либо отрицательно(–), либо вообще не заряжен(0);

– студент либо точно знает ответ на вопрос(+), либо точно не знает(–), либо неизвестно знает или нет(0).

И это далеко не все множество примеров троичной логики, перечислять их можно бесконечно.

Далее, будем исследовать троичную логику на практике путем построения и тестирования различных логических элементов.

### 1. История развития троичной логики

Для начала, проведем краткий экскурс в историю развития троичной логики и троичных ЭВМ, которая была довольно короткой и неприметной:

– 1840 г., Томас Фуллер построил механическую троичную вычислительную машину (умножитель с 55-тритным регистром результата), одну из самых ранних механических вычислительных машин [12];

– 1947 г., после столетнего затишья, в работе [13], выполненной под руководством Джона фон Неймана, упоминается, но не обсуждается троичная система счисления;

– 1958 г., Н.П. Брусенцов построил в МГУ первую в мире опытную электронную троичную ЭВМ «Сетунь» [11] на ячейках из ферритдиодных магнитных усилителей переменного тока, работавших в *двухбитном троичном коде* (00 = 0, 01 = –, 10 = +, 11 = 0), четвёртое состояние двух битов не использовалось, либо принималось равным нулю. Для передачи данных по линиям использовалась однопроводная система, а для вычислений — двухпроводная [10]. Недостатком двухбитного троичного кода является различие результатов таких операций как троичное ИЛИ и троичное И, по сравнению с трехбитным (трехуровневым) троичным аналогом. В США, в то время, тоже рассматривали преимущества и недостатки троичного компьютера и после проведённых теоретических исследований строить троичный компьютер не стали;

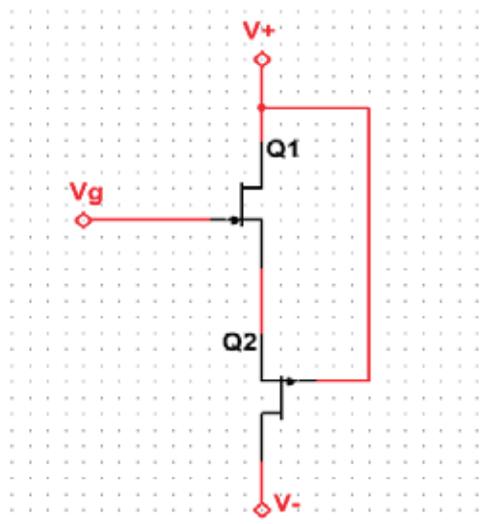


Рис. 2. NLT  $\lambda$ -транзистор

– 1959 г., под руководством Н. П. Брусенцова разработана первая в мире серийная троичная ЭВМ «Сетунь». С 1962 г. по 1964 г. Казанским заводом математических машин было произведено 46 ЭВМ «Сетунь»;

– 1970 г., Н. П. Брусенцов построил в МГУ вторую электронную троичную ЭВМ «Сетунь-70»;

– 1973 г., Г. Фридер, А. Фонг и С. И. Чао, создали Тегнас — экспериментальный троичный эмулятор;

– 2008 г., после более чем 30-летнего перерыва, Джефф Коннелли, Кираг Патель и Антонио Чавез, при поддержке профессора Филлипа Нико, построили трёх-тритную цифровую компьютерную систему ТСА2, версия 2.0 [14], в трёхуровневой однопроводной системе троичных логических элементов на 1484-х интегральных транзисторах. Однако, в данной ЭВМ используются те же двоичные КМОП транзисторы и проблема энергопотребления решается включением резисторов в стоки, что недопустимо, если речь заходит о большом быстродействии.

Больше никаких новшеств в области троичных ЭВМ не наблюдалось. Вообще, отношение к троичной логике наблюдается довольно скептическое, поскольку считается, что обычный транзистор может принимать только 2 логических состояния (открыт/закрыт), что не подходит для троичной логики, где предполагается третье промежуточное состояние. Однако, далее, мы попытаемся синтезировать элементарный троичный инвертор (основной элемент троичной логики) и показать, что не все так плохо, несмотря на то, что ни одного эффективного троичного логического элемента не было синтезировано в КМОП.

## 2. Элементы троичной логики и схемотехники

### 2.1. Синтезирование троичного инвертора и его сравнение с двоичным

*Троичный инвертор*, как упоминалось ранее, является самым элементарным, наряду с троичным буфером [8]. Было решено строить инвертор исключительно в симметричной логике. Логический элемент КМОП будем синтезировать на основе существующего двоичного КМОП инвертора (рисунок 3). Из рисунка видно, что ток потребления при логическом 0 на входе составляет 62 мкА, что превышает в тысячи раз ток потребления в состояниях + и — (обычно 2–3 нА), поскольку транзисторы Q1 и Q2 при 0 на входе находятся в активном режиме (почти открыты оба) и пропускают некоторый, довольно большой, сквозной ток.

Основной проблемой троичной логики на КМОП является создание логического элемента с почти нулевым (десятки-единицы наноампер) током потребления во всех состояниях (+, — и 0). Чтобы обеспечить минимальный ток, понадобится не 2 ключа (транзистора) как в двоичном случае, а 3 (рисунок 4).  $V_{упр1}$ ,  $V_{упр2}$  и  $V_{упр3}$  являются управляющими напряжениями для ключей (для затворов транзисторов). В зависимости от входного сигнала  $V_{вх}$ , замыкается один из ключей, и на выходе  $V_{вых}$  появляется соответствующее напряжение. Таким образом, сквозные токи исключаются.

Следуя разработанной концепции троичного элемента, продолжим синтезирование его в КМОП. Для этого пред-

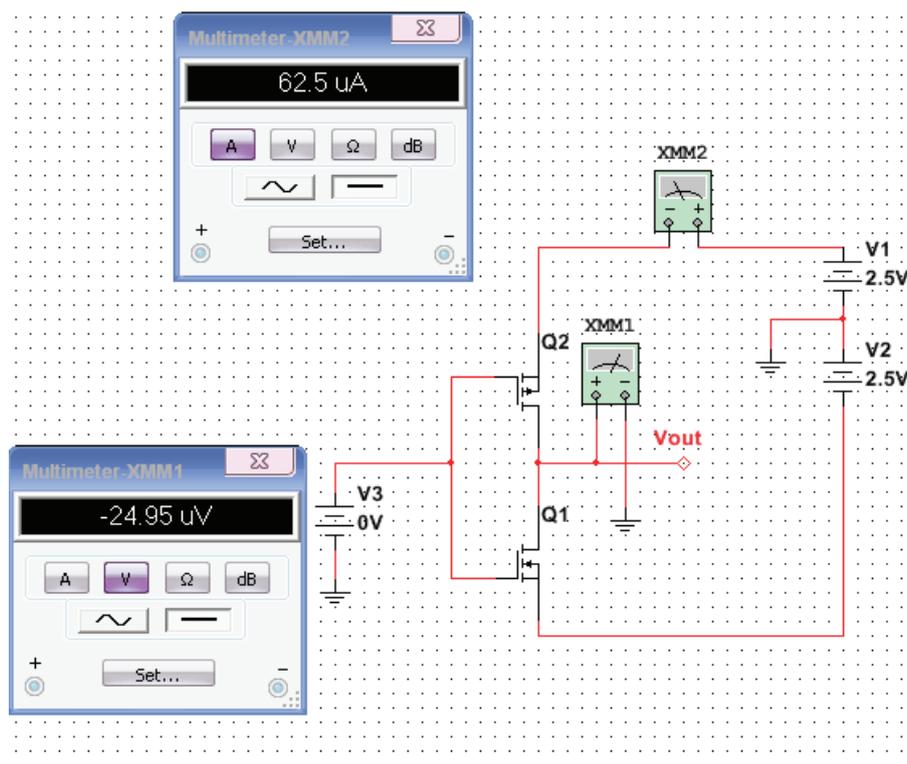


Рис. 3. Двоичный инвертор КМОП в симметричной троичной логике

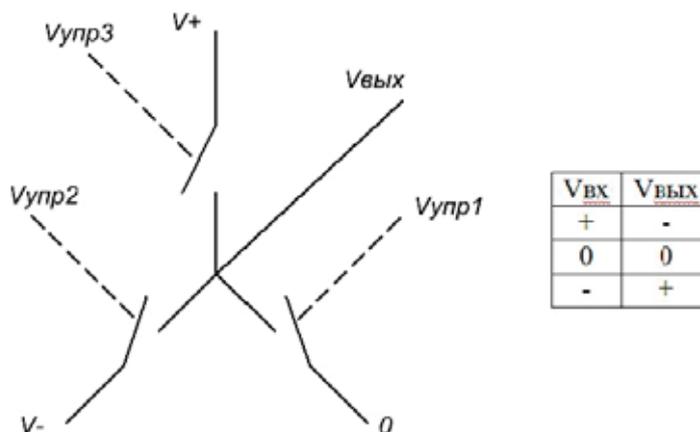


Рис. 4. Модель троичного инвертора КМОП и его таблица истинности

ставим ключи на модели в виде транзисторов, стоки которых соединены в одной точке на выходе, а истоки подключены к соответствующим сигналам (рисунок 5). Здесь отпадает необходимость в  $V_{упр1}$  и требуется схема управления для  $V_{упр2}$  и  $V_{упр3}$ . Троичные сигналы показаны для каждого участка схемы.

Идеальной схемой управления послужил полевой транзистор, включенный по схеме с общим затвором (рисунок 6). Входной сигнал подается, непосредственно, на истоки транзисторов Q5 и Q6. Резисторы нагрузки R1 и R2 ухудшают значительно параметры логического элемента (либо увеличивается энергопотребление, либо снижается максимальная частота работы). Чтобы этого не допустить, необходимо заменить эти резисторы чем-нибудь.

Единственной верной заменой послужили КМОП транзисторы, включенные по схеме с общим истоком, лучшей замены не нашлось и, скорее всего, не найдется. Чтобы управлять этой комплементарной парой, необходим, к сожалению, дополнительный (*вспомогательный*) управляющий сигнал V2 (рисунок 7), который

является противоположным входному инвертируемому сигналу V1 (*информационному*). Из рисунка можно заметить, что, теперь, при 0 на входе инвертор почти не потребляет тока от источника.

Оценим работу инвертора в динамике. Для этого соединим последовательно 2 инвертора и подключим на вход, через резисторы, генератор троичного сигнала (рисунок 8). Осциллограммы входного и выходного сигналов изображены на рисунке 9. Выходной инвертор нагружен на емкость 10 пФ.

Из результатов тестирования инвертора в динамике, можно с уверенностью сказать, что среднее значение потребляемого тока троичным инвертором теперь находится в пределах нормы и примерно равно току, потребляемому двоичным инвертором в динамике при одинаковой нагрузке (рисунок 10).

Сравнивая быстродействия логических элементов по передним и задним фронтам, приходим к выводу, что фронт двоичного инвертора на нагрузку 10 пФ длится около 500–600 нс, а фронт троичного, при переходе из —

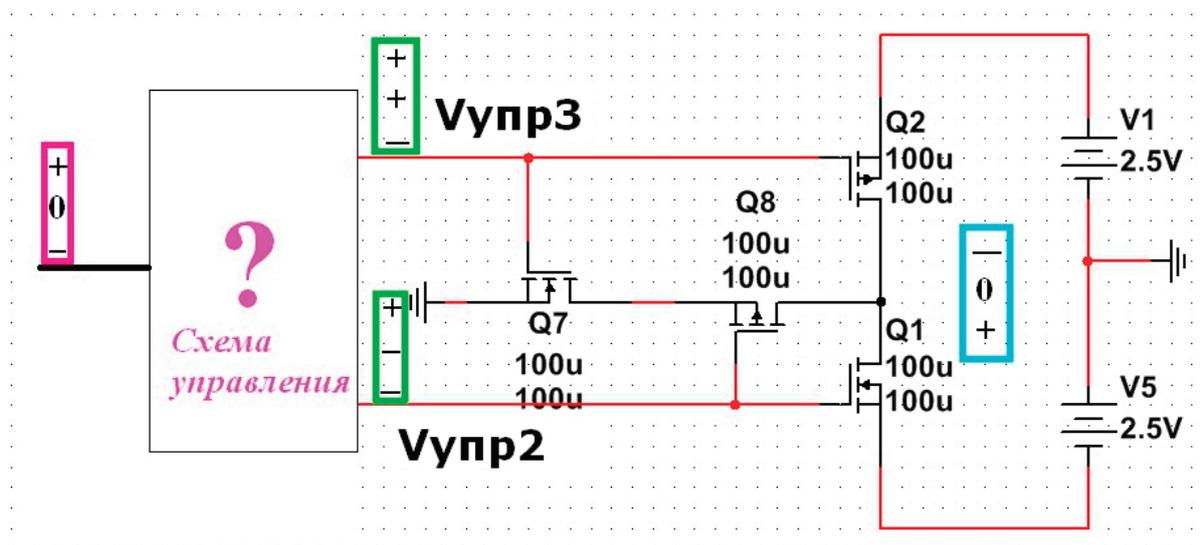


Рис. 5. Синтезированная схема троичного инвертора без схемы управления

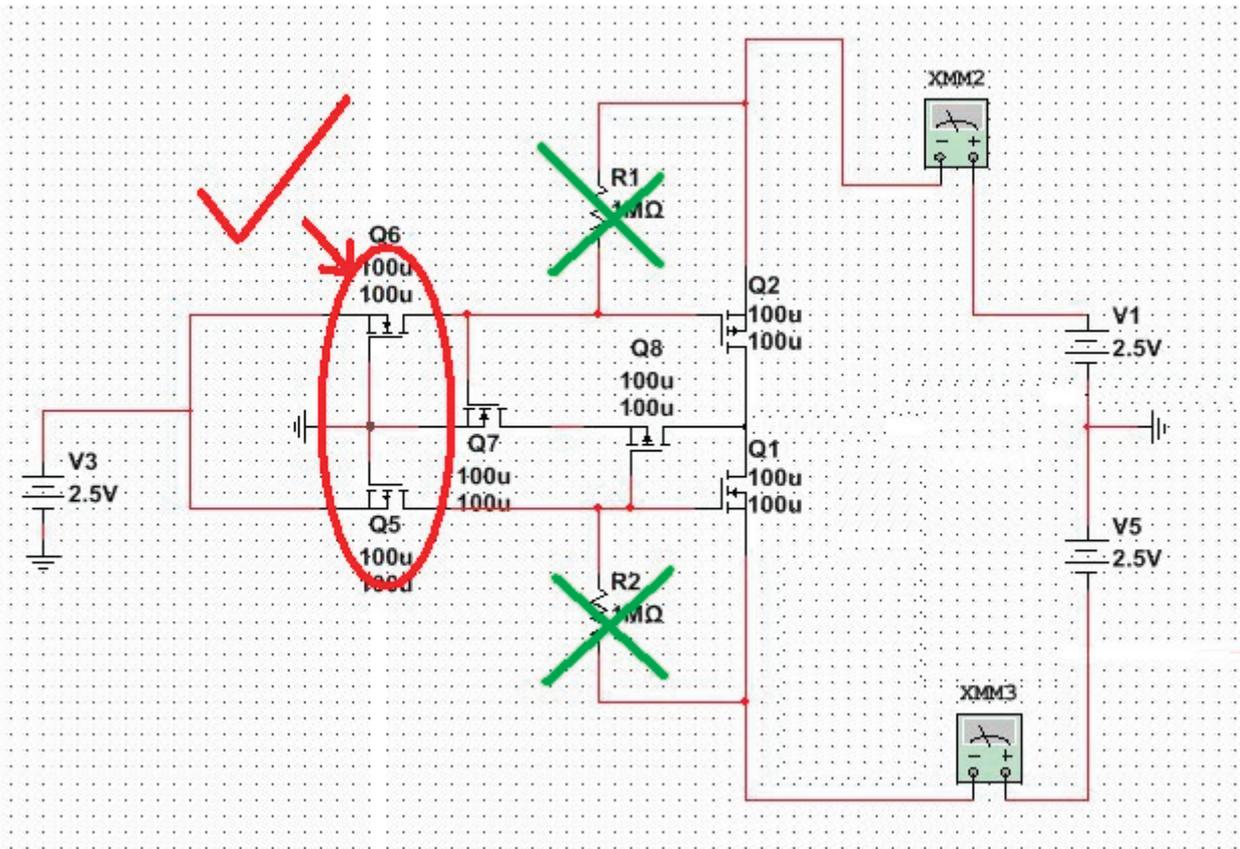


Рис. 6. Синтезированная схема троичного инвертора со схемой управления и резисторами нагрузки

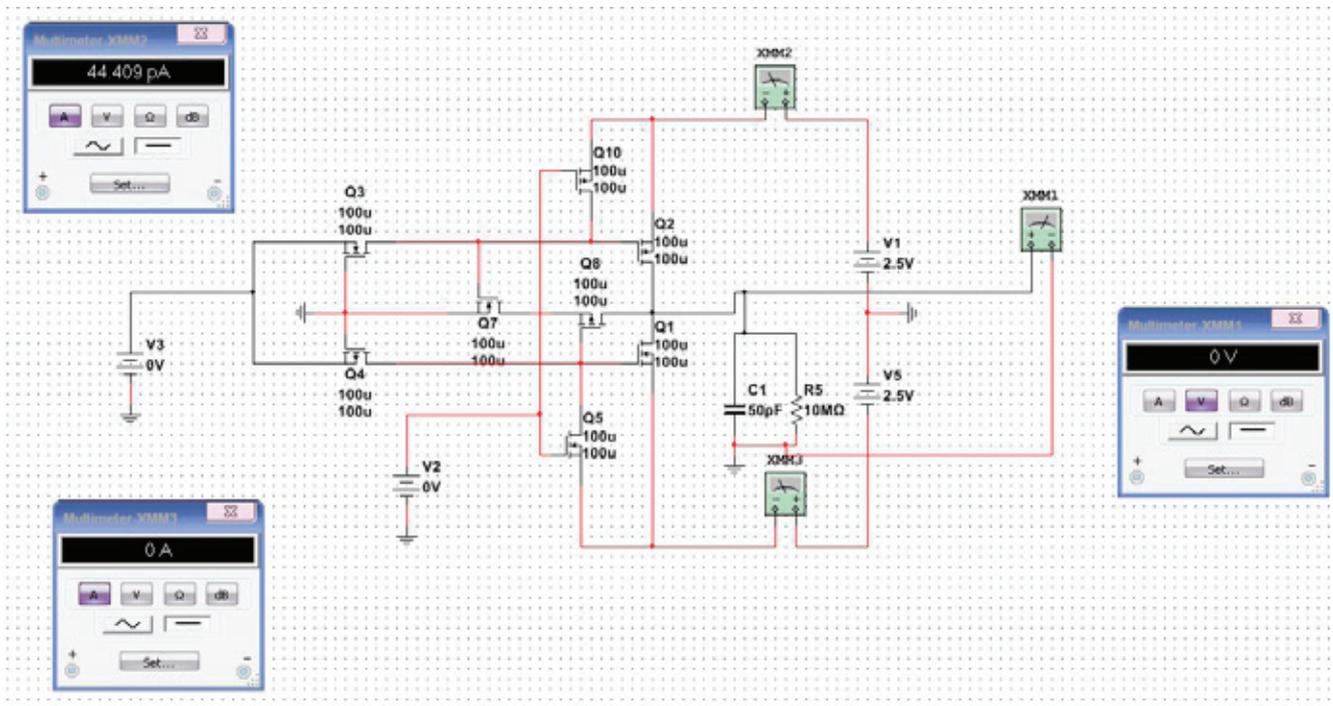


Рис. 7. Окончательно синтезированная схема троичного инвертора

в 0 и из + в 0, при котором достигается наименьшее быстроедействие, длится около 1–2 мкс. Следовательно, быстроедействие троичного инвертора в 2–4 раза ниже, чем двоичного.

Ещё одним недостатком синтезированного троичного инвертора является низкое входное сопротивление со стороны информационного сигнала, но он устраняется с применением буфера-повторителя с низким выходным

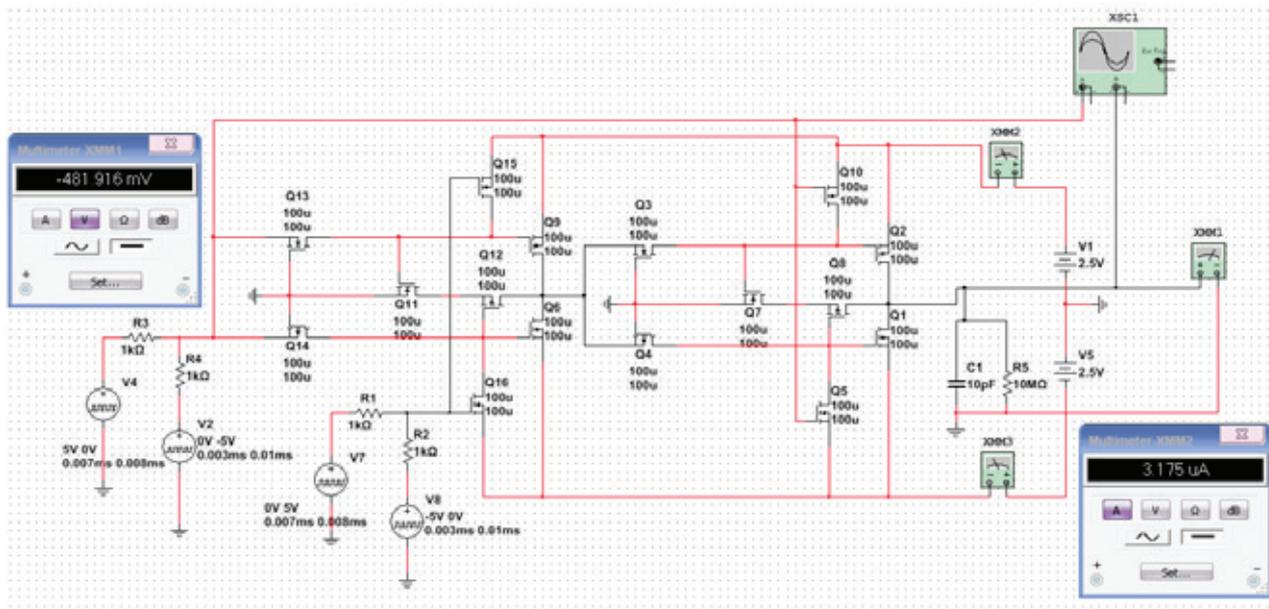


Рис. 8. Схема тестирования троичных инверторов в динамике



Рис. 9. Результаты тестов инвертора (красный — входной сигнал, черный — выходной)

сопротивлением (к примеру, двухтактный повторитель). Однако, с применением полевых транзисторов с малым сопротивлением канала, такая необходимость отпадает.

Теперь, когда построен инвертор, то остальные базовые логические элементы троичной логики, такие как И и ИЛИ, синтезировать не составит труда.

Стоит отметить, что логические элементы построены на моделях почти идеальных КМОП транзисторов, характеристики которых сильно отличаются от реальных.

Чтобы убедиться в полноценной работе троичного логического элемента, исследуем его на практике.

## 2.2. Исследование синтезированного троичного инвертора на практике и его сравнение с двоичным

Практическое исследование троичного инвертора проводилось с использованием микросхемы IRF9952PBF (рисунки 11). Она содержит 2 КМОП транзистора в одном

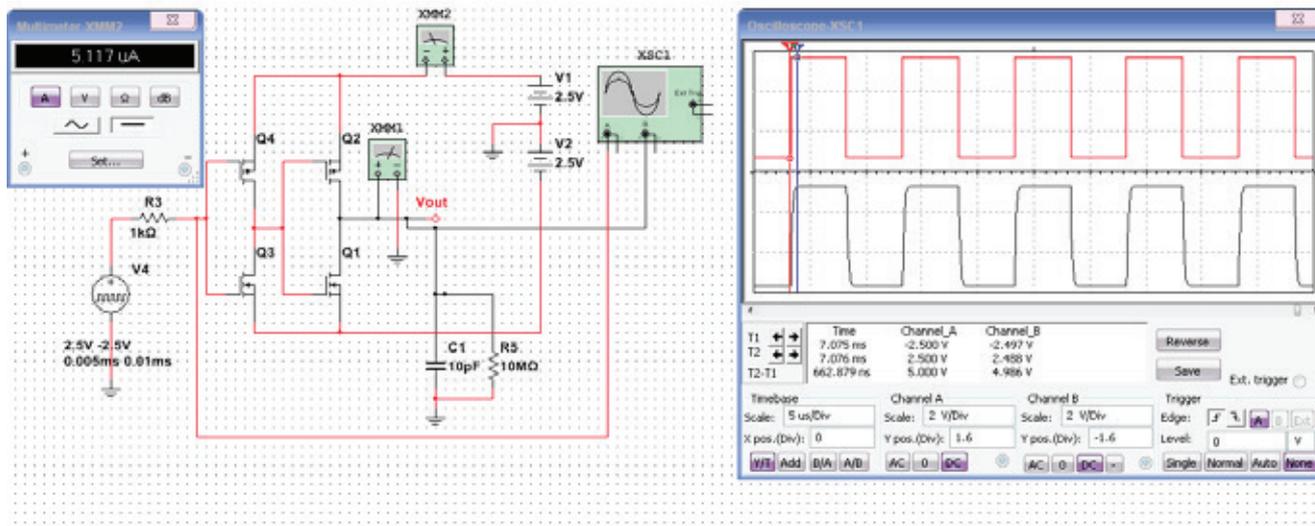


Рис. 10. Результаты аналогичных тестов для двоичного инвертора: (красный — входной сигнал, черный — выходной)

корпусе SOIC8 (р и п каналные КМОП). Питание было выбрано в диапазоне от 4 до 5 В ( $\pm 2...2.5$  В двуполярного). Генератор троичного сигнала с выходным сопротивлением 75 Ом был собран на микросхеме 74НС04. Частота троичного сигнала была выбрана равной 100 кГц.

Дифференциальные входные сигналы IN+ (информационный) и IN- (вспомогательный, для вспомогательных транзисторов) показаны на рисунке 12. В отличие от тестов при моделировании, здесь испытывался инвертор на нагрузку 1 МОм, 20 пФ.

Сравнивая выходные сигналы троичного инвертора (рисунок 13) и двоичного (рисунок 14), можно сделать

вывод, исходя из длительностей фронтов, что быстродействие троичного варианта также в 2–4 раза меньше, чем двоичного (у троичного инвертора фронт длится максимум 2.3 мкс, а у двоичного 520 нс), как при моделировании.

При проведении всех практических испытаний, на осциллограммах были отмечены большие перерегулирования и иные переходные процессы, связанные с довольно большой затворной емкостью транзисторов микросхемы IRF9952PBF, которая колеблется в диапазоне 200...400 пФ, а также других паразитных явлений (например, большая длина монтажных проводников, индуктивность затворов и т.д.). Поэтому результаты экспе-

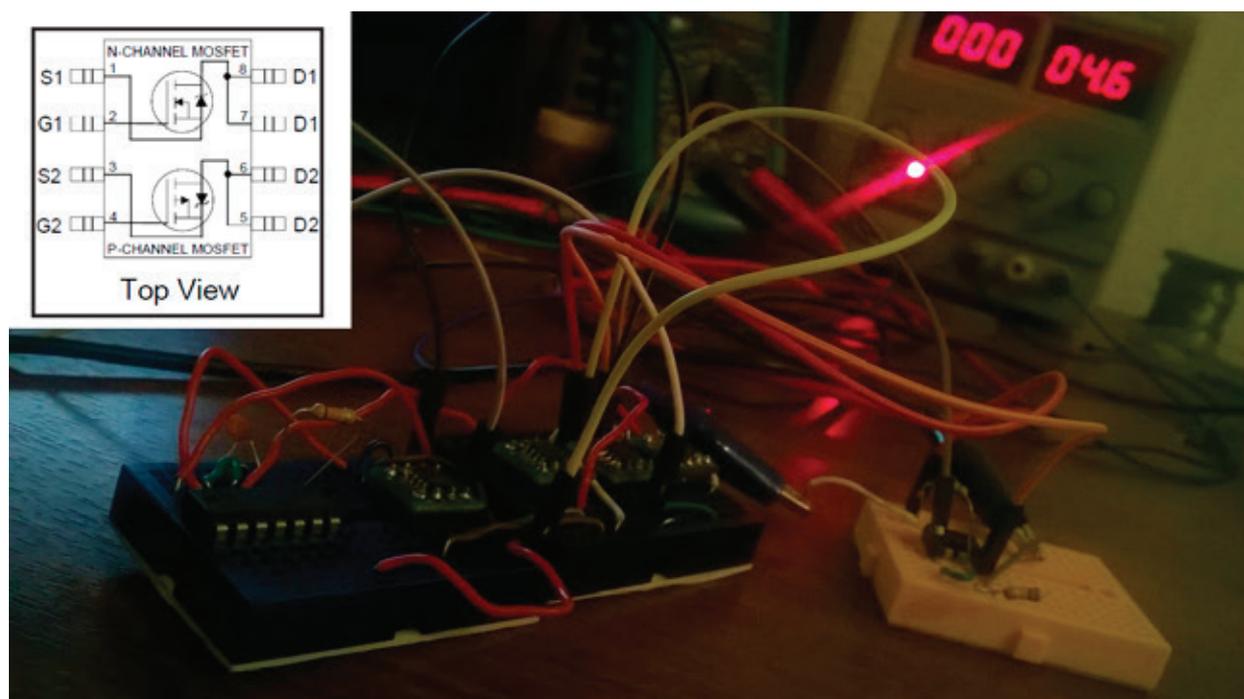


Рис. 11. Макет троичного инвертора на IRF9952PBF

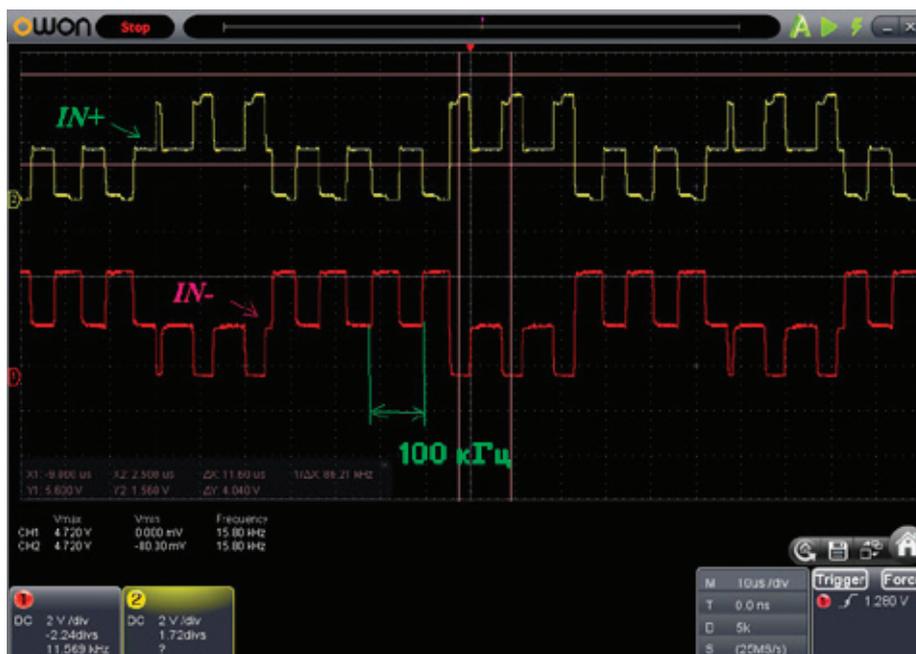


Рис. 12. Входные сигналы троичного инвертора



Рис. 13. Выходные сигналы троичного (слева) и двоичного (справа) инверторов на IRF9952PBF

риента довольно преждевременны и различия в быстродействии могут быть даже в 2 раза меньше.

В целом, троичный инвертор не сильно уступает двоичному аналогу на практике. Недостатки имеются исключительно во входном сопротивлении, как было отмечено ранее, которое легко устранить схемно, и в меньшей помехоустойчивости, однако и этот недостаток устраняется с появлением дифференциальности входных сигналов. В крайнем случае, помехи, равные четверти полной шкалы питания, встречаются на практике довольно редко.

### 2.3. Возможное УГО троичного инвертора

Теперь рассмотрим возможное графическое обозначение (УГО) троичного инвертора (рисунок 14).

Инвертор имеет дифференциальную пару сигналов IN+ и IN- (сигнал IN- является инверсией сигнала

IN+). Сигнал IN- называется вспомогательным, так как не проходит, непосредственно, с входа инвертора на его выход, а управляет вспомогательными КМОП транзисторами, которые явились наиболее удачной заменой резисторам каскада общего затвора ранее, увеличивающей быстродействие логического элемента. Сигнал OUT+ является выходным сигналом, который представляет собой инвертированный входной информационный сигнал IN+. Сигнал OUT- представляет собой сигнал IN+, который служит сигналом IN- для следующего инвертора или другого логического элемента троичной логики.

На рисунке 15 а, б изображены различные возможные схемы включения троичных инверторов между собой.

Для того чтобы упростить чтение троичных принципиальных схем, можно использовать УГО инвертора на рисунке 15.

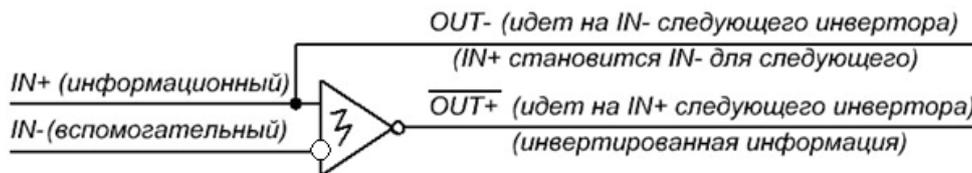


Рис. 14. Возможное УГО троичного инвертора

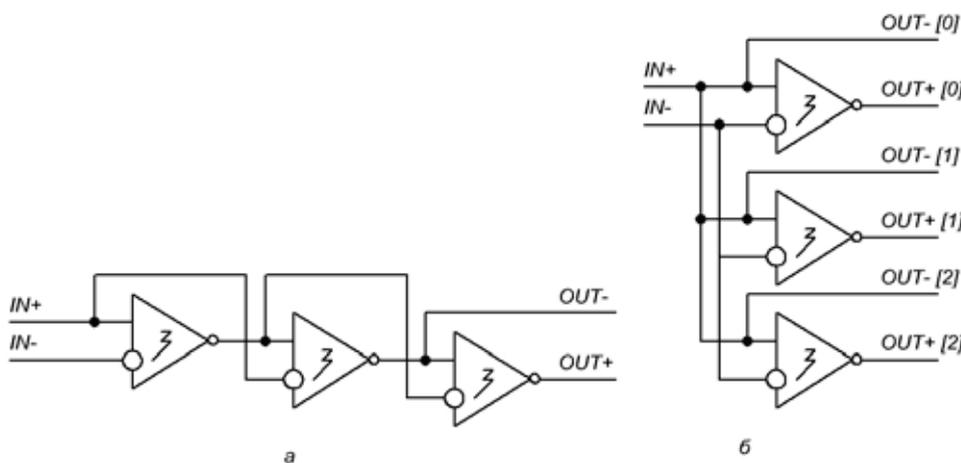


Рис. 14. Схемы включения троичных инверторов: а) последовательное включение; б) параллельное

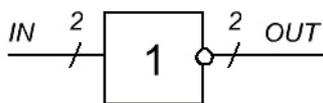


Рис. 15. Упрощенное УГО троичного инвертора

Подобное обозначение использовалось в двухбитных троичных схемах времен советской ЭВМ «Сетунь». Но может возникнуть путаница, так как в двухбитном троичном коде оба сигнала несут информацию, а в однотритном только один сигнал, другой является вспомогательным.

Заходя немного дальше, у других базовых троичных логических элементов (И, ИЛИ и т.д.) также будет по 2 входа и выхода на 1 троичный разряд.

### 3. Топология троичного инвертора в кремнии

Напоследок, построим вариант топологии троичного инвертора в кремнии и оценим примерные размеры кристалла по сравнению с двоичным аналогом.

На рисунке 16а изображен вариант топологии троичного инвертора. Разводка слоев металлизации и поликремния, а также, расположение областей диффузий, возможно, выбраны не совсем удачно, но лучшего варианта, для меньшего объема занимаемой площади кристалла, найдено не было.

Глядя на топологию и сравнивая её с топологией двоичного инвертора (рисунок 16б), можно заметить, что

общая площадь топологии троичного варианта в 3–4 раза больше двоичного. Для технологичности это является существенным недостатком. Также неудобна разводка шины 0 (общего провода), наряду с шинами + и — питания, и выходной шины. Возможно, для удобства разводки, придется производить какие-либо манипуляции с положением областей диффузий транзисторов.

Столько недостатков возникает в случае простейшего элемента логики — инвертора, а что будет, если сравнить двоичные и троичные топологии схем И и ИЛИ, представить страшно, но, с уверенностью можно сказать, что площадь также увеличится в 4 раза, но, возможно, даже в 5 из-за неудачной разводки.

Но стоит ли ставить точку на рассмотрении троичной схемотехники, которая обременена целой кучей технологических трудностей и иных недостатков? Однозначно нет. За все приходится чем-нибудь платить, но все это не напрасно.

### 4. Окончательное сравнение элементов троичной логики с двоичной

Мы успели столкнуться с целой кучей недостатков троичных логических элементов перед двоичными, таких

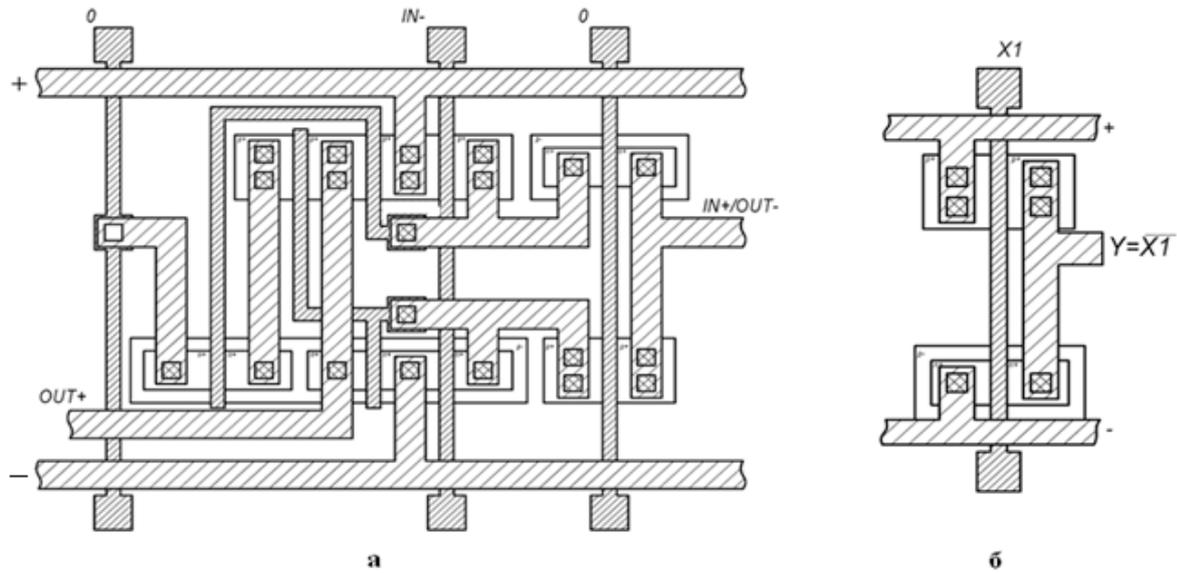


Рис. 16. Вариант топологии троичного инвертора (а) и топология двоичного (б) инвертора в кремнии

как схемотехническая сложность, увеличение и запутанность топологии, снижение рабочей частоты до 4 раз, наличие двуполярного питания, вместо простого однополярного, увеличение количества выводов при использовании дифференциальных пар сигналов и возможная худшая в 2 раза помехоустойчивость. Однако не стоит думать, что эти возможные недостатки полностью перечеркивают преимущества, которые оказываются, возможно, даже наиболее ценными. Таковых намечается пока только 2 для симметричной троичной логики: *информационная емкость и представление чисел со знаками*. Достоинства рассмотрим на конкретных примерах.

Возьмем для сравнения параллельную троичную и двоичную шины данных. Пусть их разрядность будет равна 4. Тогда диапазон передаваемых значений для троичной шины будет равен  $-40..40$ , а для двоичной  $0..15$ . При одинаковой частоте шин информации будет передано в 5 раз больше в троичном случае без знака и в 2.5 раза больше для положительных чисел со знаком.

Теперь рассмотрим случай 10 разрядной параллельной шины. Размерность в 10 трит будем называть *декатритом* (5 трит — полудекатрит), по степеням десятки, так как единого стандарта «трайта» (по аналогии с двоичным байтом) до сих пор не существует. Но, стоит отметить, что Н. П. Брусенцов для ЭВМ «Сетунь» принял значение трайта, равным 6 трит.

Диапазон передаваемых значений станет равным для троичной шины  $-29524..29524$ , а для двоичной  $0..1024$ . Не учитывая знак, количество информации в троичном случае будет передано в 57.6 раз больше, чем в двоичном, а со знаком, только для положительных чисел, в 28.8 раз.

С увеличением разрядности троичной шины, диапазон передаваемых значений будет расти экспоненциально по сравнению с двоичной.

Последовательная шина данных пока остается до конца не изученной, поскольку не совсем ясно как произ-

водить тактирование, по каким фронтам. Но, возможно, тактировать придется по двум передним фронтам троичного синхросигнала. Тогда, количество троичной информации также будет расти, по экспоненте по сравнению с двоичной, с увеличением количества переданных трит.

Как отмечалось ранее, троичные числа со знаком дают несомненное преимущество при проведении вычислительных операций, таких как суммирование, умножение и т.д. Не надо заботиться о знаке числа в старших разрядах и, тем самым, усложнять вычислительные схемы, как это делается в двоичной логике.

Единственным весомым недостатком является рабочая частота троичного элемента. Если, к примеру, тактировать сдвиговый регистр с частотой меньшей, хотя бы в 2 раза, чем частота двоичного синхросигнала, то, в этом случае, троичная логика проигрывает в разы и оказывается бесполезной. Однако, все зависит от конкретных задач. Тем более, на практике не удалось выяснить истинное быстродействие из-за различных паразитных явлений, возможно, оно не сильно отличается от быстродействия двоичного логического элемента, но медленнее (хотя бы в 2 раза) будет в любом случае, это факт.

Стоит, напоследок, отметить, что в троичной логике появляются многие новые операции, которых не было в двоичной, такие как *модификация, операция выбора, повторитель по совпадению* (необходим для троичного полного сумматора), *S-функция* (или симметрия относительно нуля, необходима для троичного сумматора) и т.д. Все эти логические элементы будут, возможно, рассмотрены в следующих статьях.

### Заключение

В работе было проведено подробное исследование элементов троичной логики на примере троичного инвертора. Тем самым, получилось в некоторой степени сломать сте-

реотип о бесполезности троичной логики и доказать, что довольно скептическое отношение к ней преждевременно.

Многие выявленные недостатки троичной логики, по сравнению с двоичной, могут быть легко компенсированы противодействующими факторами, а именно:

1) Малая помехоустойчивость. Однако, использование дифференциальной пары сигналов устраняет помехи по сигнальным линиям, повышая помехоустойчивость;

2) Увеличение количества входов и выходов в 2 раза. Однако информационная емкость увеличивается экспоненциально с ростом разрядности;

3) Увеличение сложности схемотехники. Но только на уровне базовых логических элементов. Дальше, скорее всего, должно быть намного проще. Хорошим примером может послужить троичный сумматор, который выполняет одновременно операции сложения и вычитания.

Единственными, на сегодняшний день, не решенными недостатками троичных схем остаются низкое быстродействие по сравнению с двоичными в 2–4 раза и рост топологии в 3–4 или даже в 3–5 раз. Если разрастание топологии в кристалле на первых порах более-менее решается технологически, то оценка быстродействия пока что преждевременна, хоть и была проведена на практике в данной статье, поскольку нужно проводить дополнительные исследования в этой области с использованием более сложных схем. Такими схемами могут служить последовательная шина данных и схемы на последовательных тактируемых устройствах.

Не стоит забывать, что троичная логика — это та же двоичная, только с большими возможностями. Потенциал логики раскрыт далеко не полностью на сегодняшний день. И, кто знает, возможно, истина ближе, чем нам кажется.

#### Литература:

- 10 лет до 10нм: закон Мура все ещё работает // PCNews, 12.07.2008; Intel confident for 10nm and beyond 07/07/2008.
- Световые транзисторы спасут закон Мура // N+1, 04.02.2016.
- Ю. И. Манин. Вычислимое и невычислимое. // М.: Сов. радио, 1980. — С. 15.
- Нильсен М., Чанг И. Квантовые вычисления и квантовая информация // Пер. с англ. — М.: Мир, 2006. 824 с.
- ДНК-логика как основа биокомпьютера // Сергей Пахомов, КомпьютерПресс, 01.2007.
- Карпенко А. С. Многозначные логики. Логика и компьютер // Вып. 4. М.: Наука, 1997. 223 с.
- Карпенко А. С. Многозначные логики // Логика и компьютер. Вып. № 4. — М.: Наука, 1997.
- Кушнеров А. Троичная цифровая техника. Ретроспектива и современность // 28.10.05, Университет им. Бен-Гуриона Беэр-Шева, Израиль.
- Экономичность систем счисления // trinary.ru, 12.12.09.
- Бруснецов Н. П. Использование троичного кода и трехзначной логики в цифровых машинах // Научный отчет № 24ВТ(378), МГУ, Москва 1969 г. 27 с.
- Бруснецов Н. П., Маслов С. П., Розин В. П., Тишулина А. М. Малая цифровая вычислительная машина «Сетунь». // М.: Изд. МГУ, 1965.
- The ternary calculating machine of Thomas Fowler // <http://www.mortati.com/glusker/fowler/index.htm>.
- Jon von Neumann Preliminary Discussion of the Logical Design of an Electronic Computing Instrument // Institute of Advanced Study, 28 June 1946.
- Ternary Computing Testbed 3-Trit Computer Architecture. Jeff Connelly // Computer Engineering Department, August 29th, 2008, with contributions from Chirag Patel and Antonio Chavez. Advised by Professor Phillip Nico. California Polytechnic.

## Анализ применения метода акустической эмиссии для диагностики силового оборудования в России и за рубежом

Тюрюмина Анастасия Владимировна, аспирант;

Батрак Андрей Петрович, кандидат технических наук, доцент;

Секацкий Виктор Степанович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой  
Сибирский федеральный университет (г. Красноярск)

*Данная статья содержит результаты литературного и патентного поиска информации о применении метода акустической эмиссии в России и за рубежом для диагностики состояния силового оборудования.*

**Ключевые слова:** метод акустической эмиссии, трансформатор, диагностика, техническое состояние

Силовые трансформаторы являются наиболее дорогими и важными составляющими любой энергетической системы. Их надежность определяет работы энергетической системы. Разрушение изоляции трансформатора может привести к серьезной поломке силового трансформатора, что приведет к достаточно большим финансовым потерям ввиду простоя оборудования. Для предотвращения поломки применяются различные методы оценки состояния трансформатора. Однако, большинство из них не подходят для диагностики в режиме реального времени. Мы предлагаем использовать метод акустической эмиссии как комплексный метод диагностики для определения неисправностей на ранней стадии их появления. [1–5]

По результатам проведенных литературного и патентного поиска установлено, что уже в течение 25 лет [6] метод акустической эмиссии изучается в Польше, Бразилии и на Тайване в качестве диагностического метода для определения влияния частичных электрических разрядов. [7–11]

Различные физические явления сопровождаются появлением и развитием частичных электрических разрядов в изоляционных системах. Это могут быть химические изменения изоляции, появление токопроводящих импульсов и эмиссии электромагнитной волны, ударного упругой деформации с последующей генерацией акустической волны. [7] Чтобы избежать этих эффектов, может быть применен метод акустической эмиссии, который сейчас является значимым дополнением к другим методам измерения, используемым для диагностики изоляционной системы трансформатора, измерения тока и напряжения трансформатора, силовых конденсаторов и проходных изоляторов.

Основное значительное достоинство метода акустической эмиссии заключается в возможности его применения в сложных условия работы силового оборудования, когда измерение частичных электрических разрядов другими методами становится невозможным. Он позволяет определить калку появления частичных электрических разрядов при работе силового оборудования, определяя месторасположение частичных электрических разрядов в изоляционных системах.

Область применения метода акустической эмиссии может быть ограничено следующими факторами: высокий уровень акустического шума (помех, сложная геометрия измеряемых объектов, которая не позволяет расположить измерительные датчики на их поверхности; применение диэлектрических или изоляционных систем с низким коэффициентом упругости и сложной геометрией.

Основным применением метода акустической эмиссии является диагностика изоляции силового оборудования. До настоящего времени значительная часть исследований была сосредоточена на следующих основных задачах:

- объяснить и математически описать появление и распространение акустических волн, излучаемых частичными электрическими разрядами, в различных типах диэлектрических и изоляционных систем;

- выбрать измерительное оборудование, особенно измерительные датчики для получения акустических сигналов от частичных электрических разрядов в различных типах силового оборудования;

- запись, анализ и интерпретация полученных результатов.

Для описания записанных акустических импульсов, из огромного ассортимента параметров была выбрана группа из пяти признаков. Они могут сделать возможным определение основных форм частичных электрических разрядов в масляных изоляционных системах. Однако, эта идентификация является релевантной только в лабораторных условиях и при экспериментах, которые проводятся в строго определенных метрологических условиях.

Однако, применения метода акустической эмиссии требует решения следующих проблем: необходимость постоянного улучшения интерпретации результатов; безошибочное определение интенсивности и размера частичных электрических разрядов; создание относительно точной схемы замены акустической установки изоляции энергетического оборудования; выполнение комплексного анализа временных и частотных областей для определения возможных источников отклонений, появляющихся в процессе измерения; выполнение анализа и определения той части энергии, выделяющейся во время появления частичных электрических разрядов и соответствующей определенному типу радиационных волн; выбор программного обеспечения и методов для анализа и интерпретации измерения результатов акустических сигналов, генерируемых частичными электрическими разрядами.

Для измерения акустических импульсов, Бокзар [6] использовал пьезоэлектрический широкополосный электроконтактный преобразователь серии WD типа АН 17, производства американской фирмы «ПАК» (Physical Acoustic Corporation). Он был расположен на задних стенках и верхнем уровне жидкости резервуара трансформатора. Это сделало возможным измерение акустических сигналов в следующих условиях: практически плоские амплитудные характеристики для частоты в диапазоне от 0 до 15 МГц, максимальное значение амплитуды  $\pm 5$  дБ. Измеряемые акустические сигналы были усилены и подвержены первичной фильтрации с помощью стандартного измерительного усилителя типа «Nexus 26921 — OS1», производства фирмы «Брюэль и Кьер».

Регистрация измеряемых акустических сигналов была осуществлена с помощью измерительной карты «National Instruments type NI 5911», которая совместима с частичными электрическими разрядами. Карта оснащена датчиком с эталонной максимальной частотой, регулируемой в диапазоне от 8 до 21 байта и 100 МГц. Регистрируемые акустические сигналы анализировались во временной, частотной и временно-частотной областях и были визуализированы с помощью программ Mathcad 2001i and Matlab 6.0. [6]

В России результаты подобных исследований отражены в патентах на изобретения. Более подробная информация о них приведена ниже.

Патент на изобретение № 2532143 на метод определения нелинейного акустического параметра жидкостей и устройство для его осуществления.

Изобретение относится к области физической акустики и предназначено для изучения акустических свойств жидкостей, таких как морская вода и различные технические жидкости. Метод включает излучение и прием сигналов как минимум двух разных частот, прошедших через измерительный участок, одним излучателем, работающим в режиме излучение-прием. Интервал времени между импульсами выбирают таким, чтобы затух предыдущий импульс. Измерительный участок представляет собой расстояние между поверхностью излучателя и расположенный соосно с ним в параллельной плоскости отражающей поверхностью. Осуществляют фильтрацию сигналов на разностной частоте, измеряют амплитуды давления волн разностной частоты и затем определяют параметр нелинейности по величине нелинейного акустического параметра.

Технический результат — повышение разрешающей способности по пространству, чувствительности к проявлению слабых нелинейных эффектов, а также увеличение достоверности измерений на малой измерительной базе благодаря возможности накапливать нелинейные эффекты на большом расстоянии пробега волн накачки, которое ограничено только длиной затухания звукового импульса. [12]

Патент на изобретение № 2492460 на способ акустической диагностики технического состояния энергетического оборудования и устройство для его осуществления.

Использование для акустической диагностики технического состояния энергетического оборудования. Сущность заключается в том, что выполняют периодическое излучение акустического зондирующего сигнала перпендикулярно поверхности контролируемой жидкости, на-

ходящейся в герметичной емкости, при этом предварительно тарируют период возбуждаемых акустическим зондирующим сигналом в герметичной емкости с контролируемой жидкостью акустических гармонических колебаний в функции уровня контролируемой жидкости и период и в функции температуры контролируемой жидкости, регистрируют приемно-излучающим модулем вынужденные затухающие акустические гармонические колебания, измеряют температуру контролируемой жидкости и период вынужденных затухающих акустических гармонических колебаний и по тарировочным характеристикам определяют текущее значение уровня контролируемой жидкости. Регистрируют приемно-излучающим модулем в промежуток времени между смежными излучениями акустического зондирующего сигнала акустические шумы работающего энергетического оборудования, а также регистрируют их спектральные характеристики и оценивают техническое состояние энергетического оборудования, а также регистрируют приемно-излучающим модулем в промежуток времени между смежными излучениями акустического зондирующего сигнала акустические шумы, возникающие вследствие частичных разрядов, анализируют их интенсивность и оценивают состояние изоляции энергетического оборудования.

Технический результат — обеспечение точности и надежности диагностики технического состояния энергетического оборудования за счет полного контроля диагностических параметров. [13]

В рамках своих исследований мы использовали метод акустической эмиссии для изменения акустических сигналов, генерируемых примесями (вода, целлюлоза, газовая фаза) в трансформаторном масле и для последующего анализа их частотного спектра с целью получения информации о техническом состоянии трансформатора. [14–19]

#### Литература:

1. Тюрюмина А. В., Батрак А. П., Секацкий В. С. Современное состояние вопроса диагностики силовых трансформаторов // Современное состояние вопроса диагностики силовых трансформаторов. — 2015. — № 3(3). — С. 245–250.
2. Tyurymina A. V. Importance of transformer condition evaluation // Материалы научн. конф. Проспект Свободный-216, посвященной Году образования в Содружестве Независимых Государств. — Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2016. — С. 47–48.
3. Тюрюмина А. В., Батрак А. П., Секацкий В. С. Современное состояние вопроса диагностики силовых трансформаторов в зарубежных странах // Молодой ученый. — 2016. — № 8(112). — С. 321–325.
4. Tyurymina A. V. Evaluation of transformer condition by acoustic method // Материалы научн. конф. Проспект Свободный-216, посвященной Году образования в Содружестве Независимых Государств. — Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2016. — С. 55–58.
5. Тюрюмина А. В., Батрак А. П. Современное состояние вопроса диагностики силовых трансформаторов // Материалы V Международной научно-практической конференции «Проблемы теории и практики современной науки». — М.: издательство «Перо», 2016. — С. 103–106.
6. Boczar T. Application of signal processing elements for the characteristics of acoustic emission pulses generated by partial discharges // Physics and chemistry of solid state. — 2007. — № 3. — С. 610–617.
7. Boczar T., Frącz P. Comparison of the measurement results of electrical discharges registered by the acoustic emission and optical spectrophotometry methods // Physics and chemistry of solid state. — 2006. — № 3. — С. 564–571.

8. Wotzka D., Cichoń A., Boczar T. Modeling and Experimental Verification of Ultrasound Transmission in Electro Insulation Oil // Archives of acoustics. — 2012. — № 1. — С. 19–22.
9. Park D., Choi S., Kil G. Measurement and Analysis of Acoustic Signal Generated by Partial Discharges in Insulation Oil // The 7th WSEAS International Conference on Power Systems. — Beijing, 2007.
10. Santos Filho O. G., Zaghetto S. L., Pereira G. O. Case studies of electric power equipment diagnostics using acoustic emission // 17th World conference on nondestructive testing. — Shanghai, 2008.
11. Boczar T., Fraçz P. The application of the correlative analysis and the regression function for determining correlations of the measurement results of acoustic emission generated by partial discharges // ACTA PHYSICA POLONICA A. — 2009. — № 3. — С. 281–284.
12. Пат. 2532143 Российская Федерация, МПК G01N29/02, G01S15/88. Метод определения нелинейного акустического параметра жидкостей и устройство для его осуществления / И. В. Корсков, В. А. Буланов, П. Н. Попов; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук — № 2013130643/28; заявл. 03.07.13; опубл. 27.10.14. — 1 с.
13. Пат. 2492460 Российская Федерация, МПК G01N29/00. Способ акустической диагностики технического состояния энергетического оборудования и устройство для его осуществления / И. А. Кайманов; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью научно-технический центр «АРГО» (ООО НТЦ «АРГО») — № 22012108904/28; заявл. 07.03.12; опубл. 10.09.13. — 1 с.
14. Батрак А. П., Тюрюмина А. В., Никитина А. В. Акустический способ экспресс диагностики маслонаполненного энергооборудования // труды XIII Междунар. молодеж. науч. конф. «Интеллект и наука». — Железногорск: Железногор. филиал СФУ, 2013. — С. 144–145.
15. Батрак А. П., Тюрюмина А. В., Никитина А. В. Сравнение качественных характеристик трансформаторных масел // Тяжелое машиностроение. — 2013. — № 3. — С. 41–44.
16. Батрак А. П., Чупак Т. М., Тюрюмина А. В., Никитина А. В. Акустический анализ свойств трансформаторных масел // Тяжелое машиностроение. — 2014. — № 45. — С. 45–46.
17. Батрак А. П., Тюрюмина А. В., Никитина А. В. Акустическая диагностика как показатель качества свойств трансформаторных масел // труды XIV Всерос. молодеж. науч. конф. с междунар. уч. «Интеллект и наука». — Железногорск: Железногор. филиал СФУ, 2014. — С. 113–115.
18. Батрак А. П., Тюрюмина А. В., Никитина А. В. Факторный анализ качественных характеристик трансформаторного масла. Молодежь и XXI век — 2015 // материалы V Международной молодежной научной конференции. — Курск: ЗАО «Университетская книга», 2015. — С. 259.
19. Тюрюмина А. В., Секацкий В. С., Батрак А. П. Диагностика состояния силового трансформатора в критических условиях эксплуатации // тез. докл. XVIII Всерос. симпозиума с междунар. участием Сложные системы в экстремальных условиях. — Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2016. — С. 87.

## **Методики расчёта составляющих мощности при синусоидальных и несинусоидальных режимах**

Файфер Лилия Андреевна, ассистент  
Омский государственный технический университет

Особое внимание уделяется обеспечению качества электроэнергии, которая должна соблюдать определённые требования. Несоблюдение требований ведёт к повреждению электрического оборудования, к росту потерь электроэнергии.

Ввиду постоянного роста количества электрических приёмников возникают высшие гармоники. А составляющие гармоник тока и напряжения ведут к возникновению проблем качества электрической энергии. На потребителей это сказывается в виде повышения стоимости электрической

энергии. Под качеством электрической энергии принято понимать соответствие характеристик электроэнергии и показателей качества электроэнергии. Основными параметрами качества согласно ГОСТ 13109–2003 [1] являются колебания напряжения, отклонение частоты, несинусоидальность и несимметрия напряжения. Поэтому правильное определение параметров режима, таких как активная и реактивная мощность, а также действующие значения токов и напряжений имеет важное значение при исследовании показателей качества электроэнергии.

### Определение активной, реактивной и полной мощности

Одним из важных параметров в электроэнергетических системах является активная мощность, которой уделяется большое внимание. Активной мощностью  $P$  называется мощность, потребляемая электроприёмниками и преобразующаяся в другие виды энергии. Она имеет конкретное определение. Поэтому способы определения активной мощности никем не опровергались.

Иначе можно говорить о неактивной мощности или реактивной мощности, так как стойкого определения нет. Под ней понимают всю мощность, исключая активную. Это связано с тем, что описать процессы при несинусоидальных режимах реактивной мощностью нельзя. Реактивной мощностью называют мощность, преобразующуюся в энергию магнитных и электрических полей.

Электрические поля будут создаваться в электрооборудовании, которое характеризуется ёмкостным сопротивлением. Реактивная мощность в конденсаторах, кабелях представлена выражением

$$Q_C = \frac{U^2}{X_C}.$$

А магнитные поля характеризуются индуктивным сопротивлением. В таких видах электрооборудования как, трансформаторы, двигатели реактивная мощность определяется выражением

$$Q_L = I^2 X_L.$$

Полная мощность определяется общепризнанной формулой в случае синусоидальной нагрузки:

$$S^2 = P^2 + Q^2.$$

Под полной мощностью понимают мощность, необходимую для обеспечения работы нагрузки, в случае неиспользования всей мощности при совершении полезной работы. Именно она определяет выбор электрооборудования подстанций.

Способов определения реактивной мощности существует много. Именно вопросы определения реактивной мощности являются предметом споров и обсуждений учёных. Внимание к этим вопросам связано с увеличением несинусоидальных нагрузок. Соответственно, если гармоники были невелики, то погрешность расчётов реактивной мощности была не большой. Рост высших гармоник связан с внедрением различных устройств. Источниками высших гармоник являются такие устройства, как сварочные аппараты, статические преобразователи, электродуговые печи.

Так же фактором влияния является прогресс компьютерной техники. Что значительно сокращает время и упрощает расчёты. Ранее компьютерная и измерительная техника не позволяла производить сложные расчёты реактивной мощности.

Ранее в ГОСТах никак не застрагивались несинусоидальные режимы. Поэтому проблемы определения реактивной мощности при несинусоидальных режимах являются актуальными.

Международная электротехническая комиссия (МЭК) в 1977 г. предложила производить расчёт реактивной мощности по формуле

$$Q = \sum_{k=1}^{\infty} U_k I_k \sin \varphi_k.$$

### Методы определения реактивной мощности при синусоидальных режимах

Методы определения реактивной мощности при синусоидальных режимах можно разделить на две группы: методы, использующие мгновенные значения токов и напряжений и методы, использующие действующие значения токов и напряжений.

Первая группа методов, основанная на использовании мгновенных значений токов и напряжений, использует формулу, встречающуюся практически в каждом учебнике по ТОЭ.

К. С. Демирчян в [2] приводит формулу, которая справедлива лишь для синусоидального режима:

$$Q = S \sin \varphi = UI \sin \varphi.$$

Также часто встречается способ определения реактивной мощности по формуле

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}.$$

Формула имеет место и для расчёта несинусоидальных режимов.

Также существует ещё один способ определения мощности для синусоидального режима, используя вольтамперную характеристику. Маевский в [3] предпринял попытку использования интегрального выражения. Интеграл берётся от произведения тока на функцию перпендикулярную напряжению или напротив произведения напряжения на функцию перпендикулярную току. Мощность Маевского представлена формулой

$$Q = -\frac{1}{\omega T} \int_0^T i \frac{du}{dt} dt = \frac{1}{\omega T} u \frac{di}{dt} dt.$$

### Методы определения реактивной мощности при несинусоидальных режимах

В связи с отсутствием точной формулировки реактивной мощности при несинусоидальных режимах у учёных наблюдаются большие разногласия.

Наиболее известная формула расчёта реактивной мощности ввёл Штайнмец которую используют как для расчёта режимов с синусоидальной нагрузкой, так и с несинусоидальной:

$$Q = S^2 - P^2.$$

Далее Иловичем были предложены формула

$$Q = \sum_{k=1}^{\infty} k U_k I_k \sin \varphi_k.$$

Буденау ввёл понятие «мощность искажение». Заметим, что учёные по-разному обозначают мощность искажения. В литературе [4, 5, 6] обозначают, как «D», также встречается такое обозначение, как «T» в [7].

Буденау считал целесообразным выделение двух составляющих Q и D, это являлось причиной превышения полной мощности над активной мощностью в несинусоидальном режиме. На рисунке 1 представлено геометрическое понимание мощности. Одна выражалась в сдвиге по фазе, а другая в искажении формы. Мощность искажения представлена формулой

$$D = \sqrt{S^2 - (P^2 + Q^2)}.$$

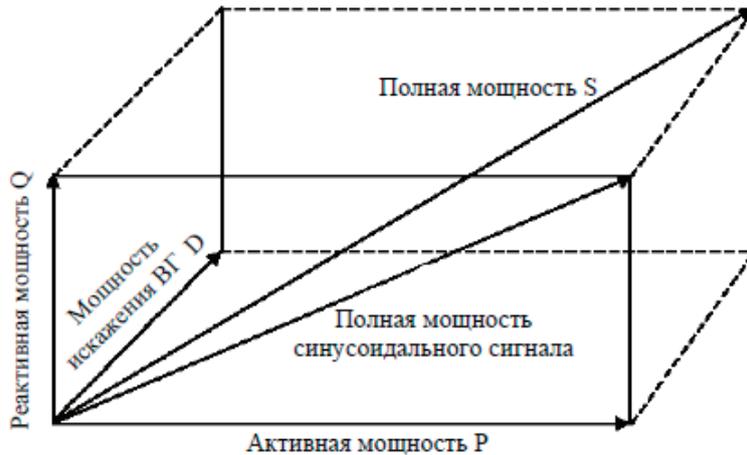


Рис. 1. Геометрическое понимание мощностей

Шклярский Я. Э. в [6] приводит формулу для расчёта мощности искажения через действующие значения токов и напряжений высших гармоник, без определения полной, активной и реактивной мощностей, в случае, когда гармонические составляющие величин заданы. Тогда мощность искажения представлена выражением

$$D = \sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i}^n U_i I_j (U_i I_j - U_j I_i \cos(\varphi_i - \varphi_j)) + \sum_{j=1}^n U_j I_i (U_j I_i - U_i I_j \cos(\varphi_i - \varphi_j))}.$$

В диссертации С. Н. Чижмы [5] имеется рисунок 2, на котором наглядно истолкованы понятия активной и реактивной

мощности (рисунок 2). В индуктивных элементах происходит отставание тока от напряжения по фазе, в случае, когда ток и напряжение имеют разные знаки. Энергия, запасаемая в индуктивных элементах, совершает колебательные движения. Такую мощность называют реактивной.

**Вывод**

Одним из важных параметров в электроэнергетических системах является активная мощность, которая имеет конкретное определение. Поэтому способы опре-

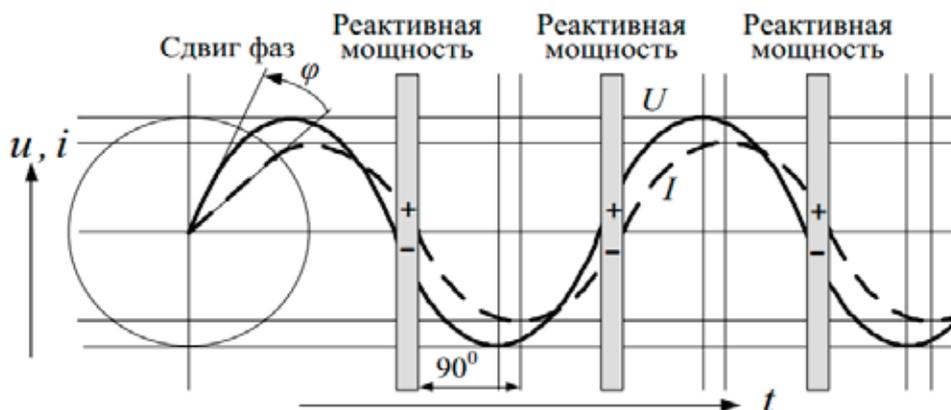


Рис. 2. Истолкование понятий активной и реактивной мощности

деления активной мощности никем не опровергались. Иначе можно говорить о неактивной мощности или реактивной мощности, так как стойкого определения нет.

Способов определения реактивной мощности существует много. Именно вопросы определения реактивной мощности являются предметом споров и обсуждений учёных.

Литература:

1. ГОСТ 13109–2003. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения [Текст]. — Взамен ГОСТ 13109–87; введен 1999–01–01. — М.: Госстандарт России, 2010. — 35 с. — (Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная).
2. Демирчян, К. С. Теоретические основы электротехники [Текст]: в 3 т. / К. С. Демирчян, Л. Р. Нейман, Н. В. Коровкин, В. Л. Чечурин. — 4-е изд., дополненное для самостоятельного изучения курса. — Питер. — Т. 1. — 2003. — 357 с.
3. Маевский О. А. Энергетические показатели вентильных преобразователей [Текст]. — М.: Энергия. — 1978. — 320 с.
4. Сулейманов, А. О. Неактивная мощность и её составляющие в электроэнергетических системах [Текст]: дис... канд. тех. наук: 05.14.02 / Алмаз Омурзакович Сулейманов; ГОУ ВПО Томский политехнический университет. — Томск, 2009. — 135 с.
5. Чижма, с. Н. совершенствование методов и средств контроля качества электроэнергии и составляющих мощностей в электроэнергетических системах с тяговой нагрузкой [Текст]: дис... доктора тех. наук: 05.14.02 / Сергей Николаевич Чижма; Омский государственный университет путей сообщения. — Омск, 2014. — 367 с.
6. Шклярский, Я. Э. Влияние гармонического состава тока и напряжения на мощность искажения [Текст] / Я. Э. Шклярский, А. А. Брагин, В. С. Добуш // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». — 2012. — № 4. — С. 26–32.
7. Крогерис, А. Ф. Мощность переменного тока [Текст]: учеб. / А. Ф. Крогерис. — Рига.: Физ.—энерг.ин-т Латв. АН. — 1993. — 294с.

## Практическое применение вейвлет-преобразования для исследования нестационарных несинусоидальных сигналов и расчёта мощности

Файфер Лилия Андреевна, ассистент  
Омский государственный технический университет

Вейвлет-преобразование в настоящее время имеет большую популярность для анализа нестационарных режимов в электроэнергетике. Так как оно решает те недостатки, которые присущи преобразованию Фурье. Преобразование Фурье даёт информацию о частотах исследуемого сигнала, но не даёт сведения о локальных особенностях сигнала. Поэтому при использовании преобразования Фурье можно получать информацию либо во временной области, либо в частотной. Вейвлет-преобразование справляется с этой задачей.

### Применение вейвлет-преобразования для расчёта реактивной мощности

Существуют несколько видов вейвлет-преобразований: непрерывное, дискретное, пакетное, диадное.

Различные подходы применения дискретного вейвлет-преобразования при несинусоидальных режимах описаны в [1]. Дискретное ВП имеет логарифмическую шкалу частотных коридоров, что позволяет с успехом решать задачи по разложению исходного сигнала две компоненты: на основную частоту и высшие гармоники [2].

В литературе [3–5] представлено применение пакетного вейвлет-преобразования. Преимуществом пакетного вейвлет-преобразования служит возможность выделения различных полос частот в отдельные составляющие.

### Методики определения реактивной мощности

Существуют различные методики определения реактивной мощности. Возможно разделить все существующие методы на три группы:

1. спектральные методы;
2. интегральные методы;
3. энергопотокосные

В данной работе мы будем использовать методы определения мощности по Буденау, по Шарону, по Кастерсу-Муру, которые относятся к спектральным методам. А также методы определения мощности по Фризе и по Зарнецкому, относящиеся к энергопотоковым методам определения реактивной мощности.

**Практическое применение вейвлет-преобразования для расчёта мощности**

Смоделируем нестационарный несинусоидальный режим в MATLAB.

Сигналы напряжения зададим выражениями

$$u_1 = 380\sqrt{2} \sin(\omega t_1)$$

$$u_2 = 380\sqrt{2} \sin(\omega t_2) + 190\sqrt{2} \sin(3\omega t_2) + 95\sqrt{2} \sin(5\omega t_2)$$

Частота  $f = 50$  Гц, Сопротивление  $R = 11.55$  Ом, индуктивность  $L = 27.6 \cdot 10^{-3}$  Гн.

Сигналы тока:

$$i_1 = 37.2095\sqrt{2} \sin(\omega t_1 - 0.644)$$

$$i_2 = 37.2095 \sin(\omega t_2 - 0.644) + 9.4409 \sin(3\omega t_2 - 1.1529) + 2.9945 \sin(5\omega t_2 - 1.3109)$$

Покажем на рисунке 1 и 2 графическую интерпретацию заданных сигналов напряжения и тока, и также мгновенной мощности, которая получена путём перемножения сигналов тока и напряжения. Отметим, что на интервале времени  $t = 0 \dots 0,125$  содержится частота  $f = 50$  Гц, а на интервале времени  $t = 0,125 \dots 0,25$  содержатся частоты  $f = 50$  Гц,  $f = 150$  Гц,  $f = 250$  Гц.

В таблице 1 приведены действующие значения токов и напряжения, а также сравнение значений путём расчёта погрешности измерения.

При сравнении значений видим, что наименьшая погрешность получилась при расчётах значений по вейвлет-коэффициентам db 42.

Рассчитаем реактивную мощность для данного случая, используя различные методики. При расчётах используем действующие значения токов и напряжений рассчитанных по классическим формулам, где интеграл заменён суммой. Сведём результаты расчётов в таблицу 2.

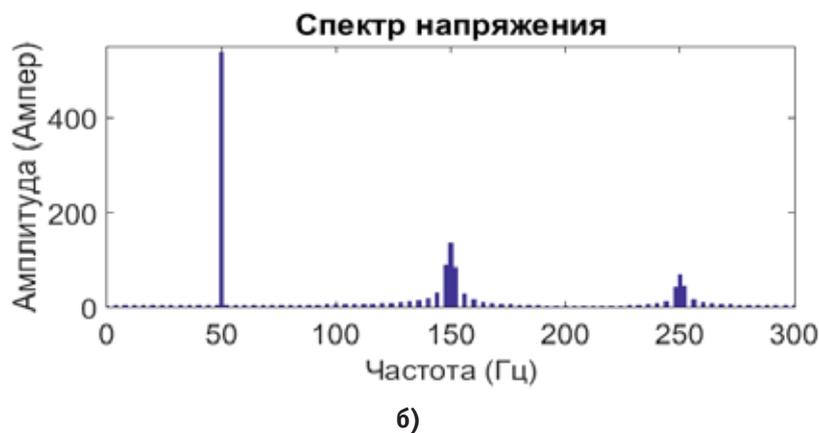
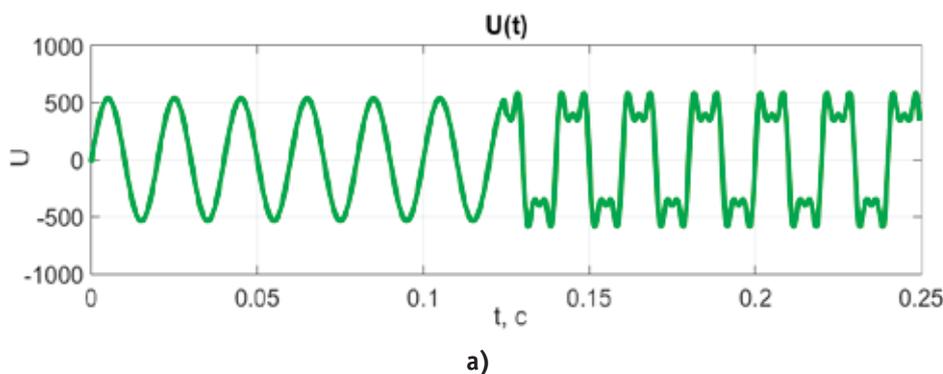


Рис. 1. а — Сигнал напряжения; б — Спектр напряжения

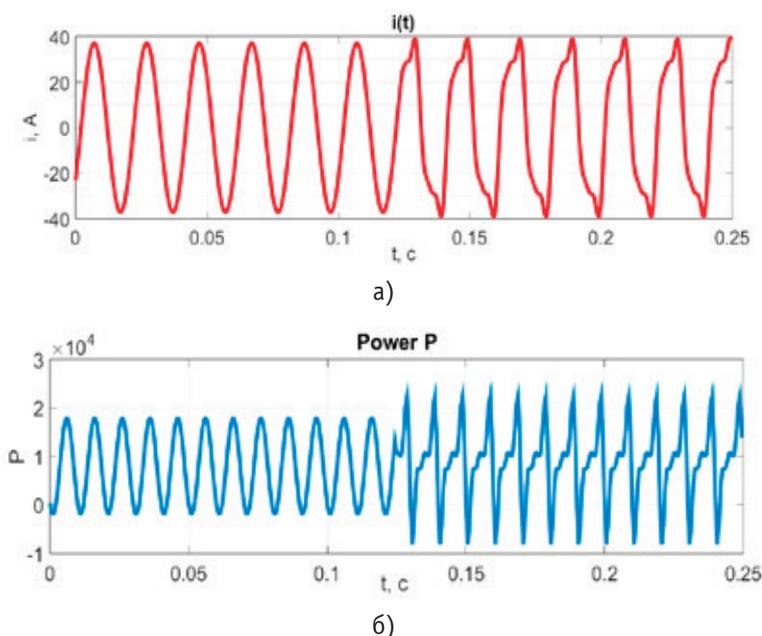


Рис. 2. а — Ток; б — Мгновенная мощность нестационарного несинусоидального сигнала

Таблица 1. Сравнение точности вычисления действующих значений напряжений и токов различными типами вейвлетов

Величина	Расч. знач.	Расчет по вейвлет-коэффициентам				Погрешность, %
		Haar	db 10	db 24	db42	
$I_1, A$	26,311	23,258	26,339	26,312	26,311	0
$I_5, A$	6,676	15,986	5,905	6,655	6,642	0,509
$I_7, A$	2,117	9,809	3,364	2,169	2,211	4,441
$I, A$	26,773	29,878	27,201	27,211	27,226	1,692
$U_1, A$	380	379,392	379,302	380,217	380,209	0,055
$U_5, A$	190	149,113	206,544	191,283	189,763	0,125
$U_7, A$	95	154,315	59,359	90,584	93,614	1,459
$U, A$	408,611	435,874	435,952	435,675	435,123	6,488

Таблица 2. Расчёт реактивной мощности, используя разные методики определения для нестационарного несинусоидального режима

	Название способов определения мощности	Формула	Реактивная мощность			
			$Q_1, \text{вар}$	$Q_5, \text{вар}$	$Q_7, \text{вар}$	$Q, \text{вар}$
1	Классическая	$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$	6002,6	1242	199,481	7444,1
2	Мощность по Буденау	$Q = \sum U_n I_n \cos \phi_n$	6002,6	1159,3	194,374	7356,3
3	Мощность по Фризе	$Q = \sqrt{(IU)^2 - (IU)^2}$	9994,3	1268,4	201,152	10936
4	Мощность по Шарону	$Q = U \sqrt{\sum I_n^2 \sin^2 \phi_n}$	6002,6	1159,3	194,374	6969,7
5	Мощность по Кастерсу-Муру	$Q = \sum \frac{1}{n} U_n I_n \cos \phi_n \cdot \sqrt{\frac{\sum U_n^2}{\sum \frac{U_n^2}{n^2}}}$	6002,6	1159,3	194,374	6427,9
6	Мощность по Зарнецкому	$Q = \sqrt{U^2 \sum I_n^2 \sin^2 \phi_n}$	6002,6	1159,3	194,374	6969,7

Далее рассчитаем аналогичным способом реактивную мощность. Но в расчётах используем действующие значения токов и напряжений, полученные с помощью вейвлет-коэффициентов Добеши 42 порядка. Вейвлет-коэффициенты получены с помощью дискретного вейвлет-преобразования. Результаты сведены в таблицу 3.

Таблица 3. Расчёт реактивной мощности, используя разные методики определения и вейвлет-преобразование

	Название способов определения мощности	Формула	Реактивная мощность			
			Q <sub>1</sub> , вар	Q <sub>5</sub> , вар	Q <sub>7</sub> , вар	Q, вар
1	Классическая	$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$	6005,7	1151,9	200,011	7357,6
2	Мощность по Будену	$Q = \sum U_n I_n \cos \varphi_n$	6005,7	1151,9	200,011	7357,6
3	Мощность по Фризе	$Q = \sqrt{(IU)^2 - (I_a U)^2}$	9999,4	1260,2	206,979	11843
4	Мощность по Шарону	$Q = U \sqrt{\sum I_n^2 \sin^2 \varphi_n}$	6005,7	1151,9	200,011	7421,7
5	Мощность по Кастерсу-Муру	$Q = \sum \frac{1}{n} U_n I_n \cos \varphi_n \cdot \frac{\sqrt{\sum \frac{U_n^2}{n^2}}}{\sqrt{\sum \frac{U_n^2}{n^2}}}$	6005,7	1151,9	200,011	6429,7
6	Мощность по Зарнецкому	$Q = \sqrt{U^2 \sum I_n^2 \sin^2 \varphi_n}$	6002,6	1159,3	194,374	7421,7

### Вывод

В данной работе ставилась цель не обосновать точность какой-либо методики определения реактивной мощности, а численно на конкретном примере сравнить существующие методы определения для нестационарных несинусоидальных сигналов. В расчётах использовались действующие значения токов и напряжений рассчитанных по классическим формулам, где интеграл заменён суммой и действующие значения токов и напряжений, полученные с помощью вейвлет-коэффициентов.

### Литература:

1. Morsi, W.G. On the implementation of time-frequency transforms for defining power components in non-sinusoidal situations: A survey / W.G. Morsi // Electric Power Components and Systems. — 2009. — vol. 37. — № . 4. — P. 373–392.
2. Mazloomzadeh, A. Harmonic and Inter-harmonic Measurement Using Discrete Wavelet Packet Transform with Linear Optimization / I.A. Mazloomzadeh, M. Mirsalim, H. Fathi // IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications. — 2009. — P. 825–830.
3. Hamid, E. Y. Method for RMS and power measurements based on the wavelet packet transform / E. Y. Hamid, R. Mardiana and Z.I. Kawasaki // IEE Proceedings — Science, Measurement and Technology. — 2002. — vol. 149, No 2. — P. 60–66.
4. Barros, J. Application of the Wavelet-Packet Transform to the Estimation of Harmonic Groups in Current and Voltage Waveforms / J. Barros, R. I. Diego // IEEE Transactions on Power Delivery. — 2005. — vol. 21, No 1. — P. 533–535.
5. Morsi, W.G. Time-Frequency Non-sinusoidal Current Decomposition Based on the Wavelet Packet Transform / W.G. Morsi, M. E. El-Hawary. — IEEE Power Engineering Society General Meeting. — 2007. P. 1–8

## Особенности расчётов реактивной мощности в несинусоидальных режимах

Файфер Лилия Андреевна, ассистент  
Омский государственный технический университет

Согласно ГОСТ 13109–2003 основными параметрами являются колебания напряжения, отклонение частоты, несинусоидальность и несимметрия напряжения. Отсюда следует, что активная и реактивная мощность, а также дей-

ствующие значения токов и напряжений имеют важное значение при исследовании показателей качества электроэнергии. Именно с определением реактивной мощности возникают трудности, так как нет строгого её определения.

**Методы определения составляющих мощности и реактивной мощности**

Буденау впервые ввёл понятие «мощность искажение». Встречается обозначение мощности искажения как «D», а также как «Т». По Буденау мощность искажения вычисляется по формуле

$$D = \sqrt{S^2 - (P^2 + Q^2)}$$

А. Ф. Крогерис в [1] наглядно изображает составляющие мощности в стандартах США (рисунок 1).

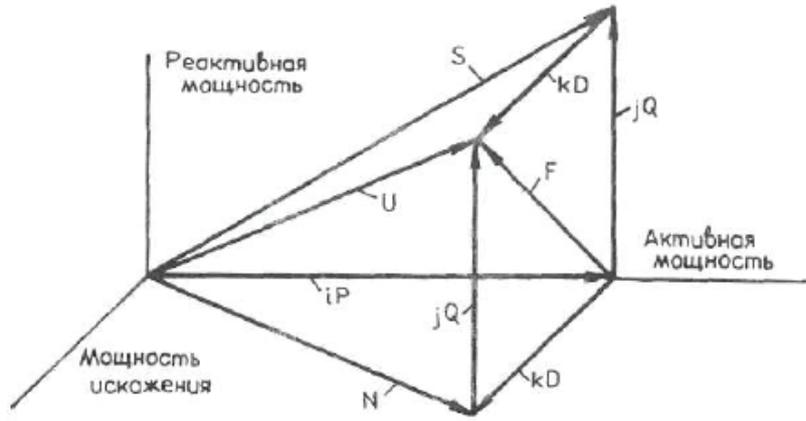


Рис. 1. Составляющие мощности по американским стандартам

Также вопросами составляющих мощности занимались и немецкие учёные. Среди которых выделяет работы Р. Трэгера, который ввёл понятие «мощность взаимного обмена». В немецких нормах при графической интерпретации под S понимают кажущуюся мощность при несинусоидальном режиме, а под S<sub>1</sub> — кажущуюся мощность основной гармоники. Соответственно Q и Q<sub>1</sub> — это реактивная мощность основной гармоники и при несинусоидальном режиме. Составляющие мощности изображены на рисунке 2.

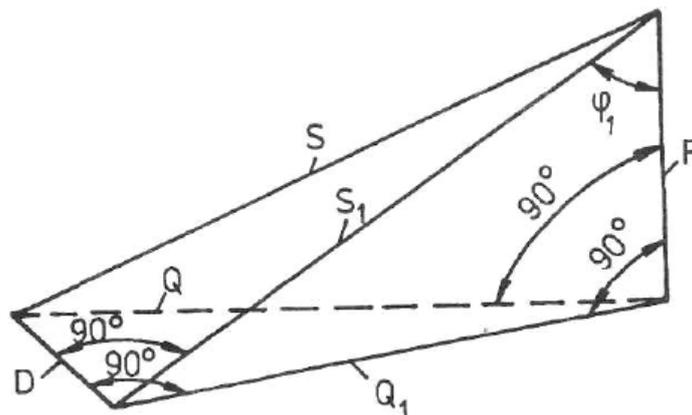


Рис. 2. Составляющие мощности по немецким стандартам

Можно все существующие методы определения составляющих мощностей разделить на три группы: спектральные, интегральные и энергопотокные методы. Рассмотрим более подробно каждую группу.

**Спектральные методы**

Сущность данного метода заключается в том, что составляющие мощности определяются с помощью гармонических составляющих токов и напряжений

### Реактивная мощность по Буденау

Теория Буденау, состоит в разложении полной мощности на активную, реактивную и мощность искажения. Выражение Буденау представлено формулой

$$S = \left( \sum_{k=a,b,c} P_k \right)^2 + \left( \sum_{k=a,b,c} Q_k \right)^2 + \left( \sum_{k=a,b,c} D_k \right)^2 .$$

Формулы по Буденау получили широкое признание. Неактивная или реактивная мощность присуща сигналу с n-гармониками:

$$Q = \sum_{n=1} U_n I_n \sin \varphi_n .$$

### Мощность по В. Шеферду и П. Закихани

Мощность, определяемая в [2] основана на частотном анализе. Он делит гармоники тока и напряжения на общие и необщие гармоники. Реактивная мощность выражена формулой

$$Q = \left( \sum_1^n U_n^2 + \sum_1^m U_m^2 \right) + \sum_1^n I_n^2 \cos^2 \varphi_n .$$

### Мощность по Шарону

Определение мощности по Шарону основано также на частотном анализе. Отметим, что у Шарона присутствует термин «кажущийся компонент мощности» которую он определяет в своих трудах. Он развивает исследования формулы и считает, что определении коэффициента мощности в несинусоидальном режиме через функцию косинуса ошибочно. И критикует некоторые моменты теории В. Шеферда и П. Закихани, в частности он считает, что не имеет физического смысла, а лишь математическое понятие. Поэтому он выводит формулу, в которой присутствуют функции гармоник напряжения, тока и функция синуса фазового сдвига.

В [3] реактивную мощность представлена формулой

$$Q = U \sqrt{\sum_n I_n^2 \sin^2 \varphi_n}$$

А. Эмануэль в [4] отметил, что мощность искажения широкого признания не получила и говорит, что необходимо уделить внимание оценке угла смещения для основной гармоники.

Реактивная мощность определяется через основные гармоники напряжения и тока выражением

$$Q_1 = U_1 I_1 \sin \varphi_1 .$$

### Интегральные методы определения мощности

#### Реактивная мощность Илиовиси и Маевского [5]

Интегральную формула для расчёта реактивной мощности ввёл М. Илиовиси:

$$Q = \pm \frac{S_{BAX}}{2\pi} = \pm \frac{\int_i^{i+T_a} u \frac{di}{dt} dt}{2\pi} .$$

Илиовиси и Маевский используют такие понятия, как: мощность сдвига ( $Q_C$ ), мощность искажения ( $Q_H$ ) и неактивная мощность ( $Q_H$ ).

Неактивная мощность:

$$Q_H = \frac{1}{2} \left( \frac{4}{T} \int_0^{\frac{T}{4}} (u(t)i(t) - P) dt + \frac{4}{T} \int_{\frac{T}{2}}^{\frac{3T}{4}} (u(t)i(t) - P) dt \right) = \frac{1}{2} \left( \frac{4}{T} \int_{\frac{T}{4}}^{\frac{T}{2}} (u(t)i(t) - P) dt + \frac{4}{T} \int_{\frac{3T}{4}}^T (u(t)i(t) - P) dt \right)$$

## Энергопотоковые методы определения мощности

### Реактивная мощность Фризе

Теория Фризе [6] основана на мгновенных значениях токах и напряжениях. Теория состоит в разложении мгновенного тока нагрузки на мгновенный активный ток и мгновенный неактивный (реактивный) ток.

$$i = i_a + i_r.$$

Разделение тока на две составляющие происходит в связи с тем, что ток  $i_a$  является активной нагрузкой развивает такую же мощность, что и нагрузка, которая исследуется. В итоге если реактивный ток  $i_r$  будет скомпенсирован, то будет видна только активная нагрузка.

Полный ток можно определить через среднеквадратичные значения активного и реактивного тока:

$$I = I_a^2 + I_r^2.$$

Реактивную мощность по Фризе всегда положительна и определяется по формуле

$$Q = UI_r = \sqrt{UI^2 - UI_a^2}.$$

### Мощность по Зарнецкому

Зарнецкий продолжает в своих работах [7] концепции Фризе. Теория предполагает разделение тока на две составляющие: активный и реактивный ток. Отличием теории от выше описанной, является то, что она предполагает разложение токов на большое количество ортогональных компонент. Реактивная мощность по Зарнецкому, определяется выражением

$$Q_r^2 = U^2 I_r^2 = U^2 \sum_n I_n^2 \sin^2 \varphi.$$

*pq* — теория.

*pq* — теория или теория мгновенной мощности используется когда активные компенсаторы применяются для компенсации реактивной мощности в случае наличия составляющих высших гармоник [6]. Активная  $p_L$  и реактивная мощность  $q_L$  получаются путём преобразования сигналов из трёхфазной системы координат в двухфазную систему координат:

$$\begin{bmatrix} p_L \\ q_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_\alpha & u_\beta \\ u_\beta & u_\alpha \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_{L\alpha} \\ i_{L\beta} \end{bmatrix}.$$

## Вывод

Сделав обзор существующих методик определения реактивной мощности, отметим, что у каждой методики, теории есть свои преимущества, недостатки. Поэтому вопрос определения мощности является важным и актуальным, и требующим дальнейшего изучения.

Литература:

1. Крөгерис, А. Ф. Мощность переменного тока [Текст]: учеб. / А. Ф. Крөгерис. — Рига.: Физ.—энерг.ин-т Латв. АН. — 1993. — 294с.
2. Shepherd, W. Suggested definition of reactive power for nonsinusoidal systems / W. Shepherd, P. Zakikhani // Proc. IEE. — 1972. — vol. 119, № 9. — P. 1361–1362.
3. Топорова, Ю. В. Сравнительная характеристика методов определения реактивной мощности [Текст] / Ю. В. Топорова, А. П. Лазуренко // Вісник НТУ «ХПИ». — 2013. — № 17(990). — С. 100–106.
4. Emanuel, A. E. Suggested definition of reactive power in nonsinusoidal systems and reactive-power definitions and power-factor improvement in nonlinear systems / A. E. Emanuel // Proceedings of the Institution of Electrical Engineers. — 1974. — vol. 121, № 7/ — P. 705–706.
5. Kusters, N. On the Definition of Reactive Power Factor of the Supply Systems / N. Kusters, W. Moore // IEEE Trans. Power App. Syst. — 1980. — P. 1845–1854.

6. Чижма, с. Н. совершенствование методов и средств контроля качества электроэнергии и составляющих мощности в электроэнергетических системах с тяговой нагрузкой [Текст]: дис... доктора тех. наук: 05.14.02 / Сергей Николаевич Чижма; Омский государственный университет путей сообщения. — Омск, 2014. — 367 с.
7. Czarnecki, L. S. Budeanu and fryze: Two frameworks for interpreting power properties of circuits with nonsinusoidal voltages and currents / L. SCzarnecki // Electrical Engineering. — 1997. — vol. 80, № 9. — P. 359–367.

## Внедрение современной техники и технологии для регулирования скорости высокоомощного двух скоростного электромотора в автоматическом режиме

Хамзаев Акбар Абдалимович, старший преподаватель  
Навоийский государственный горный институт (Узбекистан)

*На сегодняшний день одним из основных направлений непрерывного развития производственных предприятий, это ускорение развития науки и техники, интенсификация производства электро энергии и повышение эффективности, также является обеспечение конкурентоспособности товара, при этом требуется повышение производительности технологических оборудования и мощности запуска для работы, также автоматизация в широких пределах.*

**Ключевые слова:** числовое программное управление, автоматизация, пусковой ток, момент, электродвигатель

*Nowadays the one of the main directions of continuous development of manufacturing enterprises is acceleration of scientific and technical evolution, intensification of electro energy manufacturing and increase effectiveness, and it is also guarantying the ability of competitor of goods, it demands for manufacturing increase of technological equipment and launching power for work, automation beyond the bounds.*

**Keywords:** Numeral program management, automation, setting current, moment, electro engine

Одним из главных направлений в непрерывном развитии производственных предприятий в нынешнее время является ускорение прогресса науки и техники, увеличение производства электроэнергии и повышение его эффективности, и обеспечение конкурентоспособности продукта. Для этого требуется широкомасштабная автоматизация технологического оборудования, увеличение его производительности и точности в запуске. Кроме достижения высокой производительности необходимо также добиться экономии электроэнергии. Учитывая все это, в котельных ТЭС (тепловая электростанция) вода превращается в пар и передается в турбины. Для превращения воды в пар, при нагревании котельных, используют газ метан или мазут. С двух боковых сторон котельной установлены вентиляторы (ДВ) (рис. 1).

Задача данного вентилятора состоит в том, чтобы высасывать в атмосферу не сгоревшие газы или угарные газы, выделенные в результате горения мазута, эти вентиляторы запускаются с помощью двухскоростного короткозамкнутого роторного асинхронного двигателя. Вместе с этим рабочий режим вентилятора зависит от объема угарного газа, а это в свою очередь связано с проблемой автоматического регулирования скорости при процессе производства двигателей.

В зависимости от показаний газового датчика, который измеряет объем не сгоревшего газа или угарного

газа, образовавшего в результате горения мазута, требуется изменение регулирования скорости двигателя вентилятора в автоматическом режиме. Если объем угарных газов большой, то скорость электродвигателя должна быть больше, а если объем газов меньше, то электродвигатель должен работать с меньшей скоростью. Регулирование скорости этого двигателя приводит к уменьшению рабочей силы и малому расходу переключателей [1,32 ст].

В этой статье в результате применения современной техники и технологии предлагается налаживающее частоту — числовое программное управление. Эта установка на сегодняшний день характеризуется конструктивной сложностью продукта производства современного машиностроения, беглой переменностью номенклатуры выпуска продукции, а также короткими сроками изготовления продукции. В виду этого, электродвигатели вентиляторов ТЭС и их способность приспосабливаться к производственным комплексам занимает важное место в современном производстве.

Замена обычного универсального технологического оборудования числовым программным управлением, в зависимости от типа обработки, дает возможность в многократном сокращении требований труда и экономии электроэнергии, не влияя на качество производимого продукта.

Применение установки числового программного управления в технологии ТЭС приводит к необходимости строи-

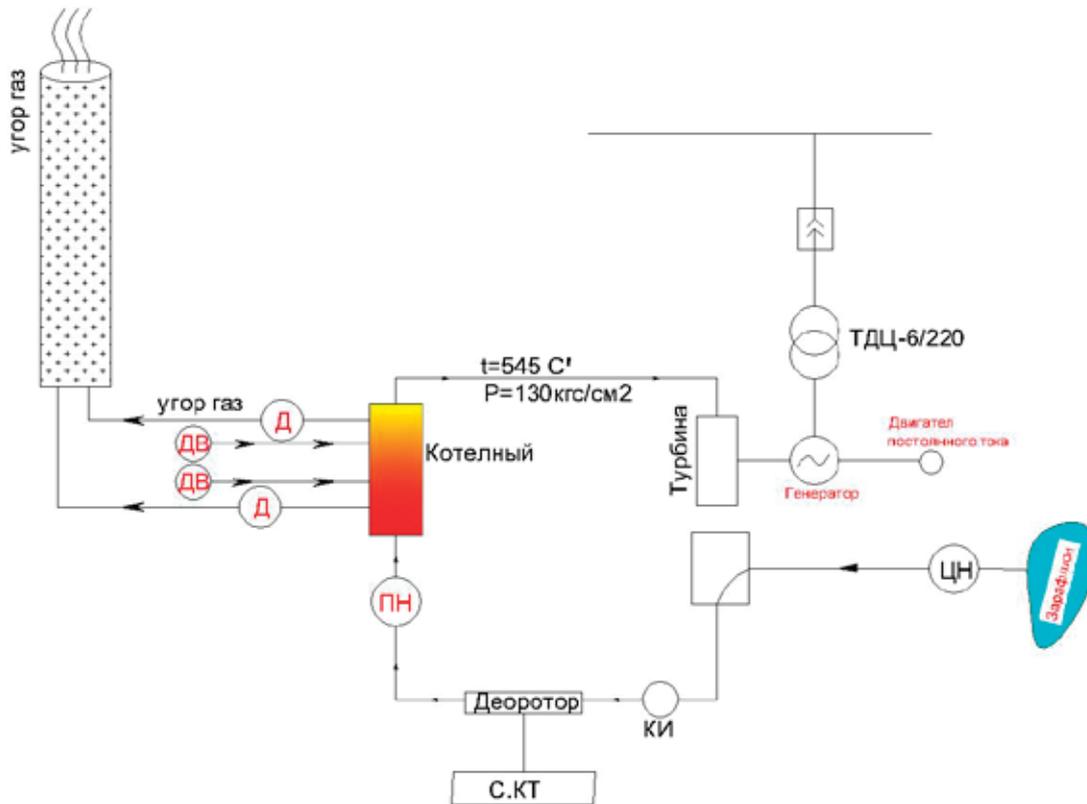


Рис. 1

тельства числовой модели технологических процессов, а это в свою очередь, ведет к широкому применению техники математических способов и числовых расчетов [2,48 ст].

Возникший на основе некоторых наук (технология машиностроения, математика, физика, кибернетика, информатика) установка числового программного управления запуска электродвигателей на сегодняшний день занял независимый статус. Использование числового программного управления соответствует не только технологическому процессу, но требует осуществления и обеспечения программного управления (БД).

Программная обработка на установке числового программного управления являясь сложным и трудоемким процессом, требует от технолога не только знания технологических наук, но и глубоких познаний в основах программирования.

Одним из главных условий использования установки числового программного управления, является обеспе-

чение использования минимального времени и минимум труда при производстве высокоэффективного технологического процесса и составления программ управления.

Программирование технологического процесса числовым программным управлением электродвигателя в производстве является новым уровнем качества, большой объем работ выполняемые в нем осуществляются непосредственно в пределах технологического процесса производства [3,56 ст].

Таким образом в обеспечении режима работ котельни и его вентиляторов осуществляется замена квалифицированного рабочего, в обслуживании рабочих механизмов, установкой числового программного управления путем введения в неё полной информации о характере производства.

Стандартная система установки числового программного управление показана на рис. 2

### Стандартная система ЧПУ

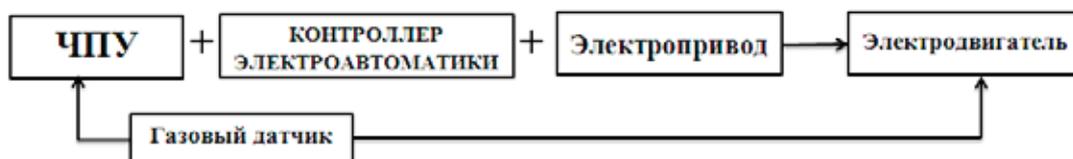


Рис. 2



Рис. 3

Здесь для запуска установки управляемой числовой программой используют микропроцессор.

Задача микропроцессора — обеспечение рабочего процесса, управление и его контроль на основе логических и арифметических принципов.

Данное программное управление компьютера записывается в память микропроцессора, структурная система показана на рис. 3.

Таким образом, самым главным для создания программы управление является составление программы с внесением показаний газового датчика, в зависимости со всеми номинальными параметрами электродвигателя.

Вывод из этого следует, что рабочий режим скорости электродвигателей всасывающих вентиляторов котельни

ТЭС обеспечиваются программой куда внесены показатели датчиков измерения объемов газа.

То есть при определенном значении датчика емкости электродвигатель работает с высокой скоростью, а при другом значении — работает с низкой скоростью.

При работе электродвигателя в таком режиме ток запуска электродвигателя сокращается на 33%, крутящий момент повышается.

Переключение скоростей электродвигателя осуществляется в автоматическом режиме, и в зависимости от ёмкости газа можно спроектировать несколько режимов скоростей и регулировать их.

В результате сокращается расход переключателей и рабочей силы.

#### Литература:

1. Евгений Г. Б. Основы программирования обработки на станках с ЧПУ — М: Машиностроение, 1983.
2. В. А. Лещенко, Н. А. Богданов, И. В. Вайнштейн и др. Станки с числовым программным управлением. М: Машиностроение, 1988.
3. Перегудов Л. В., Хошимов А. Н., Шалагуров И. К., Перегудов С. Л. Технологическое оборудование автоматизированного производства — Т: Узбекистон — 2001.

## **Перспективы использования ядерно-электрической ракетной двигательной установки для исследования дальнего космоса**

Шацкий Олег Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент;  
 Ямбаев Руслан Камилевич, студент;  
 Шевченко Виталий Витальевич, студент  
 Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

*Освоение дальнего космоса требует значительных затрат энергии в связи с исключительной продолжительностью полета. В данной статье предлагается оптимальная конструкция гибридной двигательной установки с использованием как ядерной энергии, так и электрической, для образования ионов, отбрасываемых электрическим ракетным двигателем (ЭРД) с электростатическим ускорением рабочего тела.*

**Ключевые слова:** ионный двигатель, ракетный двигатель, ядерный реактор, энергоустановка

## Prospects of using nuclear-electric rocket propulsion for deep space exploration

Shatskiy Oleg Evgenievich, candidate of technical sciences, assistant professor;  
Yambaev Ruslan Kamilevich, student;  
Shevchenko Vitaliy Vitalievich, student  
Bauman Moscow state technical University

*Deep space exploration requires significant energy expenditures in the exceptional duration of the flight. This paper proposes the optimal design of a hybrid propulsion system using nuclear energy, and electric, to form ions under an electric rocket engine with electrostatic acceleration of the working fluid (ERE).*

**Keywords:** ion engine, rocket engine, nuclear reactor, power plant

В основе работы ядерного реактивного двигателя (ЯРД) лежит высвобождающаяся в ходе ядерной реакции энергия. Ядерные реакции протекают по двум механизмам: самопроизвольно (спонтанно) или вызываются искусственно [1]. В отличие от идеальной модели атома, где число протонов равно числу нейтронов, в реальных частицах количество нуклонов отличается. Основным преимуществом ядерных превращений перед химическими является энергетический эффект. Нуклоны внутри атома сдерживаются, так называемые, ядерные силы (природа которых до сих пор не выяснена до конца). При разрушении нуклонов высвобождается огромное количество энергии: гораздо большее, чем при разрушении связей между молекулами в ходе химических реакций.

Явление испускания различных частиц используется в ядерном реакторе на борту летательного аппарата (ЛА). Продукты ядерной реакции тормозятся, и их кинетическая энергия переходит в тепловую, которая в свою очередь расходуется на необходимые нужды: будь то создание тяги, или выработка электрического тока.

Очевидно, что при использовании в ракетном двигателе (РД) даже малой доли располагаемой ядерной энергии, можно получить удельный импульс существенно больший, чем при полном использовании химической энергии любого топлива.

В структуре ЯРД можно предусмотреть реактор, в котором происходила бы управляемая цепная реакция деления (в перспективе синтеза и, может быть, аннигиляции), а выделяющееся при этом тепло нагревало рабочее тело, которое впоследствии выбрасывается через реактивное сопло, создавая силу тяги. На сегодняшний день в ракетном двигателестроении такая схема ЯРД не используется.

Начиная с 2009 года указом президентской комиссии по модернизации было принято решение о запуске проекта транспортно-энергетического модуля на основе ядерно-электрической ракетной двигательной установки (ЯЭРДУ) (рис. 1).

Разработкой занимается «РОСКОСМОС» и «РОСАТОМ». Согласно проекту, используется ионный электрореактивный двигатель (ЭРД). Это один из видов электростатического двигателя. Идея использования электрической энергии для получения реактивной тяги

обсуждалась еще К. Э. Циолковским и другими пионерами космонавтики. В ионных двигателях тяга создается за счет ионизированного газа, разогнанного в электрическом поле. Поток ионизированного газа способен достигать скоростей вплоть до 20...50 км/с. В традиционном представлении электрическую энергию такой двигатель берет от фотоэлектрических панелей, но в рассматриваемой установке для этого используется ядерный реактор. Применение такого типа устройств обусловлено высокой экономичностью и продолжительным сроком службы по сравнению с аналогичными ракетно-двигательными установками на химическом топливе. Рассматриваемая в статье двигательная установка получила название — ядерно-электрическая ракетная двигательная установка (ЯЭРДУ) [2, 3].

ЯЭРДУ использует в качестве топлива ксенон. В ионизатор подается топливо, которое само по себе нейтрально, но при бомбардировании высокоэнергетическими электронами ионизируется. Таким образом, в камере образуется смесь из положительных ионов и отрицательных электронов. Для «отфильтровывания» электронов в камеру вводится трубка с катодными сетками, которая притягивает к себе электроны. Положительные ионы притягиваются к системе извлечения, состоящей из двух или трех сеток. Между сетками поддерживается большая разность потенциалов. В результате попадания ионов между сетками они разгоняются и выбрасываются в пространство, ускоряя корабль, согласно третьему закону Ньютона. Электроны, пойманные в катодную трубку, выбрасываются из двигателя под небольшим углом к соплу и потоку ионов. Это делается для того, чтобы ионы, нейтрализованные таким образом, не притягивались обратно к кораблю.

В настоящий момент ионные двигатели применяются в основном в коммерческих космических аппаратах, например, в спутниках связи или глобальной системе спутникового позиционирования [4].

Наличие в ДУ рабочих элементов, связанных с электропитанием ЭРД, определяет низкую тяговооруженность космических аппаратов с этими двигателями. Поэтому ЭРД имеет смысл применять только в космических аппаратах (КА) после достижения первой космической скорости с помощью ракетного двигателя (РД), работающего на химическом ракетном топливе.

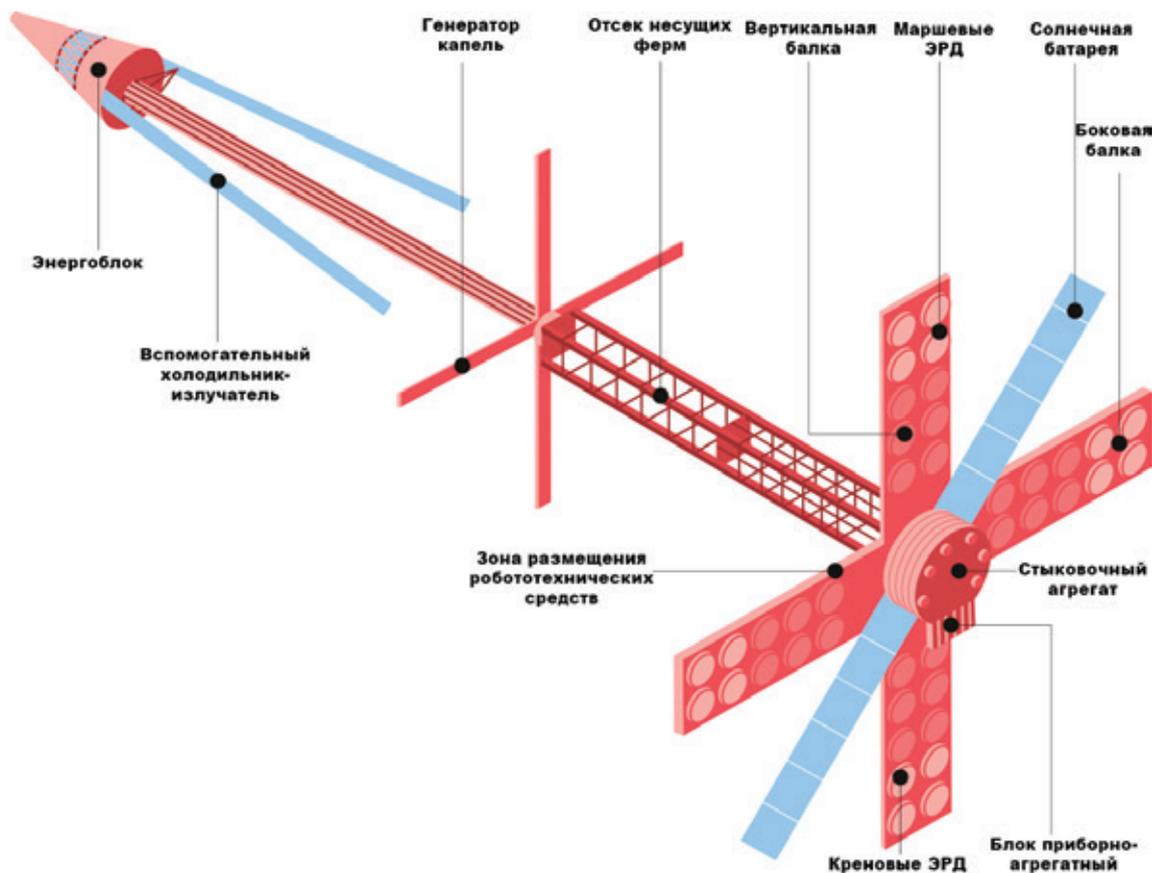


Рис. 1. Транспортно-энергетический модуль

В предлагаемой статье рассматривается конструкция космического ЯЭРДУ, тяга у которой создается в результате взаимодействия электростатического поля с ионизированным рабочим телом. Основное достоинство этого проекта — большой период эксплуатации (порядка 10 лет).

Такие характеристики проекта открывают новые горизонты в детальном изучении дальних планет солнечной системы.

Первичная цель — пилотируемый полет человека на Марс. Пилотируемый космический корабль для полета к планетам является, безусловно, уникальным по своей сложности объектом. Конструкция двигательной установки такого корабля будет мощной энергосиловой установкой высокого технического уровня. Такой двигатель состоит из двух основных частей: бортовой энергетической установки и, собственно, двигателя, который принято называть движителем (преимущественно малой тяги).

Для преобразования тепловой энергии в электрическую на борту устанавливается термоэлектрический преобразователь (ТЭП), действие которого основано на термоэлектрическом эффекте Зеебека-Пельтье-Томсона. Это явление возникновения термоэдс в цепи, состоящей из разнородных металлических или полупроводниковых материалов, спаи (места контакта) которых имеют разные температуры. При этом создается внутреннее электри-

ческое поле, напряженность которого и характеризуется термоэдс.

В условиях открытого космоса важной проблемой является отвод тепла как от корпуса ЛА и его двигателя, так и от приборов и агрегатов. Единственный механизм осуществления теплопередачи — это тепловое излучение (радиация). Лучистый теплообмен между телами отличается сложным механизмом переноса, сильной чувствительностью к конфигурации тел и их расположению в пространстве, многообразием конкретных практических задач. Универсальных методик его расчета нет. Методы расчета приспособляются под группы типовых задач. Тепловое излучение имеет квантово-волновую природу. Для решения проблемы охлаждения можно использовать специальное устройство — капельный холодильник излучатель (КХИ) (рис. 2). Теплоноситель (жидкость) нагретый внутри системы летательного аппарата направляется в генератор капель (ГК). Генератор капель представляет собой устройство, в котором происходит распыливание охлаждающей жидкости на мелкие капли [5].

В результате интенсивного лучистого теплообмена с окружающей средой капельный теплоноситель охлаждается. Далее распыленный охладитель попадает в сборочный коллектор, откуда перекачивается в охлаждающую систему космического летательного аппарата (КЛА).

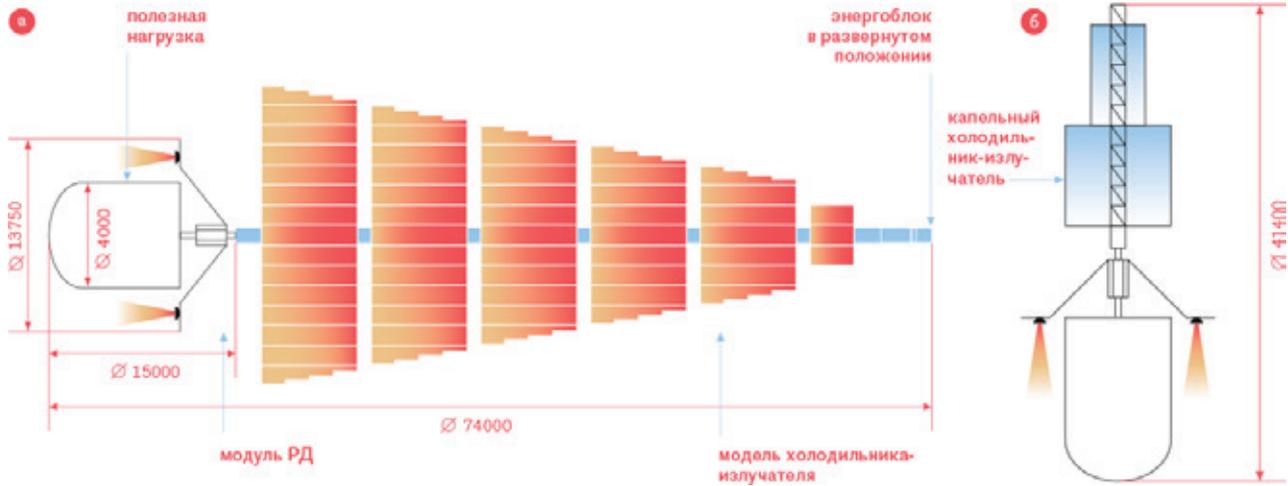


Рис. 2. Капельный холодильник излучатель

Работающий в составе двигателя ядерный реактор является источником гамма-излучения. Наличие такого источника на борту аппарата может нанести вред как самому летательному аппарату и его системам, так и людям, находящимся на борту. В частности может произойти перегрев рабочего тела и конструктивных элементов, охрупчивание металлов и пластмасс, старение резиновых изделий. Такие изменения значительно повлияют на работу аппарата и с высокой вероятностью могут привести к выходу его из строя.

Методы магнитной защиты не работают против гамма-излучения, поскольку поток состоит из частиц, которые не имеют электрического заряда. Реактор должен

снабжаться защитой достаточно легкой, не влияющей на массу полезной нагрузки и обладающей достаточно радиационно-защитными свойствами. Такие двигательные установки снабжаются системой теневой защиты. Это означает, что радиационный экран устанавливается только с одной стороны двигателя и защищает от излучения космонавтов или оборудование. Оставшееся излучение свободно рассеивается в космическом пространстве по всем направлениям. Проблема радиационной безопасности и защиты требует качественно новых решений как с точки зрения конструкции, так и используемых материалов. Решение их имеет важное значение для реализации данного типа двигателя.

#### Литература:

1. Дорофеев А. А. Основы теории тепловых ракетных двигателей. Теория, расчет и проектирование. М. Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. — 571 с.
2. Глушко В. П. и др., Энциклопедия «Космонавтика» М.: Советская энциклопедия, 1985.
3. Роскосмос. / Под общей редакцией А. Н. Перминова. М.: Рестарт, 2007. — 240 с.
4. Edgar Y. Choueiri. New dawn for electric rockets. [Электронный источник] URL: <http://aliven.princeton.edu/publications/choueiri-sciam-2009> (дата обращения 23.10.2016).
5. Патент РФ № 2532629, 10.11.2014. Железняков А. Г., Конюхов Г. В., Коротеев А. А., Петров А. И., Баранчиков В. А. Способы работы капельного холодильника-излучателя. Бюл. № 31.

## Изучение воздействия наркоза на биологический объект аппаратом биоимпедансной диагностики

Ямпилев Сэнгэ Самбуевич, доктор технических наук, профессор;  
 Потемкина Татьяна Федоровна, магистр;  
 Воскресенская Марина Леонидовна, аспирант;  
 Батоцыренов Тимур Эрдэмович, магистр  
 Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления

*В ВСГУТУ разработан аппарат биоимпедансной диагностики, который позволяет оценить состояние органов и систем биологических объектов при различных внешних воздействиях (ожог, обморожение, наркоз*

и др. Для оценки работоспособности данного аппарата были проведены опыты на биологическом объекте (мышь) при воздействии наркоза. Анализ данных показал, что с увеличением частоты зондирующего тока и времени воздействия наркоза на биологический объект импеданс уменьшается.

**Ключевые слова:** аппарат, электрический ток, сопротивление биологических тканей, частота зондирующего тока, биоимпедансная диагностика, генератор, блок питания

Известны устройства биоимпедансной диагностики, которые определяют для заданной частоты зондирующего тока — сопротивление биологических тканей. При этом данные аппараты позволяют получить информацию о состоянии биологических тканей. Основными блоками данных устройств являются источник переменного тока, блок коммутации, токовые и потенциальные электроды и блок обработки результатов в виде АЦП [1, 2, 3, 4.].

Недостатками указанных устройств являются использование одной частоты зондирующего тока, разделение электродов на токовые и потенциальные, их малое количество, которые ограничивают количество информационных показателей, снимаемых с биологического объ-

екта, обеспечивают невысокую точность измерений и не позволяют широко использовать данные устройства для проведения биоимпедансной диагностики.

В ВСГУТУ разработан аппарат для проведения биоимпедансной диагностики который состоит из следующих блоков — блока питания, стабилизатора, генератора, микроконтроллера, детектора, фильтра, электродов и ЖК-дисплея, который отличается от всех существующих тем, что позволяет одновременно получить данные импеданса при трех разных частотах зондирующего тока.

На рисунке 1 представлен общий вид аппарата электроимпедансной спектрометрии.



Рис. 1. Общий вид аппарата биоимпедансной диагностики

Блок питания выносной, обеспечивает питание схемы постоянным нестабилизированным напряжением 12 В. Мощность блока 6 Вт. Питающее напряжение поступает на стабилизатора, собранный на двух аналоговых микросхем LM3175 и LM7805. Первая представляет собой регулируемый стабилизатор, построенный на вы-

ходном напряжении 10В. Вторая — это нерегулируемый стабилизатор с выходным напряжением 5 В. Стабилизированное напряжение 10 В. питает повторитель генератора, а все остальные блоки используют напряжение 5В.

На рисунке 2 представлена структурная схема аппарата биоимпедансной диагностики.

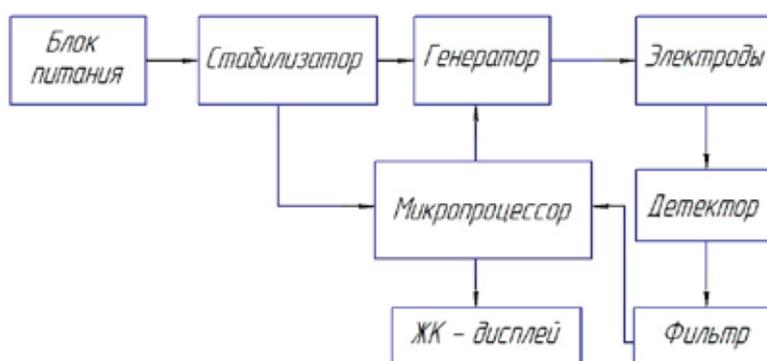


Рис. 2. Структурная схема аппарата биоимпедансной диагностики

Генератор состоит из задающего генератора, функции которого выполняет микроконтроллер и усилители, собранного на микросхеме 4011. Объединив входы элемента получим инвертор, усиливающий входной меандр до уровня 10В. Выходное напряжение генератора поступает на активный электрод и на измерительную схему (D2, R5, C11), преобразует импульсное напряжение в постоянное и позволяет микроконтроллеру оценивать уровень выдаваемого на электроды сигнала.

Электрод прикладывают к биологическому объекту, через него протекает электрический ток и на измерительном электроде появляется потенциал.

Напряжение измерительного электрода поступает на схему измерения сдвига фаз и детектор (D1, R4, C10). Детектор вместе с фильтром преобразуют импульсное напряжение в постоянное для оценки его микроконтроллером.

Схема измерения сдвига фаз выполнена на микросхеме 4070, который, выдает импульсы шириной равной величине сдвига фаз. Далее импульсы преобразуются в постоянное напряжение (R6, C12).

Микроконтроллер выполняет несколько функций. Во — первых, генерирует последовательности импульсов

частотой 50, 100 и 200 кГц со скважностью 50%. Во — вторых, используя встроенный аналого-цифровой преобразователь, оцифровывает значения напряжения на активном, измерительном электроде ми со схем измерения сдвига фаз. В — третьих, на основе полученных данных вычисляет значение импеданса в условных единицах и выводит на ЖК-дисплей.

Для оценки работоспособности данного аппарата были проведены опыты на биологическом объекте (мышь) при воздействии наркоза. Последовательность проведения опытов: взвесили мышь — 150 гр; с помощью шприца ввести в мышечную ткань мыши общий наркоз 45 мг/кг; после того как мышь погрузилась в сон закрепляем ее на деревянной доске с помощью марлевых бинтов; в области сердца выстригаем небольшой участок шерсти;

Включаем аппарат и проверяем его готовность к работе; по истечению 5 минут на очищенные участки кожи мыши накладываем два электрода;

Через 15 секунд снимаем показания аппарата в омах; затем процедуру повторили через 10, 15, 20 минут в трех повторностях.

Таблица 1. Мышь под наркозом

	50 кГц	100 кГц	200 кГц
1	250	140	102
2 5 мин	244	250	175
3	244	250	175
1	181	233	163
2 10 мин	181	233	159
3	181	233	173
1	181	233	159
2 15 мин	181	233	166
3	181	233	159
1	181	218	152
2 20 мин	181	218	152
3	181	233	166

Так, при воздействии наркоза на биологический объект, анализ данных показал, что с увеличением частоты зондирующего тока на биологический объект импеданс уменьшается. С увеличением времени воздействия

наркоза на биологический объект импеданс уменьшается. Так при воздействии наркоза через 5 мин. импеданс составил при частоте 50 кГц — 246 ом, а через 20 мин. импеданс при той частоте составил 181 ом.

**Вывод**

Разработан аппарат для проведения биоимпедансной диагностики биологических объектов, который позволяет одновременно получить данные импеданса при разных частотах зондирующего тока. Для оценки работоспособности данного аппарата были проведены

опыты на биологическом объекте (мышь) при воздействии наркоза. Анализ данных показал, что с увеличением частоты зондирующего тока и увеличении времени воздействия на биологический объект импеданс уменьшается.

Литература:

1. Николаев Д. В., Туйкин С. А., Балувев Э. П. Способ региональной биоимпедансометрии и устройство для её осуществления. Патент РФ № 2094013. 27.10.1997 г.

2. Николаев Д. В., Похис К. А., Цветков А. А., Смирнов А. В. Способ региональной биоимпедансометрии. Патент РФ № 2204938. 27.05.2003 г.
3. Капитанов Е. Н., Николаев Д. В. и др. Устройство для измерения электрического импеданса в частях тела. Патент РФ № 2242165. 20.12. 2004 г.
4. Устюжанин В. А., Епифанцев В. В., Ишков А. А. Устройство для проведения импедансной спектрометрии биологических объектов Патент на полезную модель РФ. № 100894. 20.06. 2010 г.

## Повышение прочностных характеристик титановых сплавов

Яшкова Софья Сергеевна, магистрант;  
Бобков Николай Владимирович, аспирант  
Омский государственный технический университет

Современное машиностроение трудно представить без термической обработки. С её помощью можно повысить прочностные характеристики любого металла (Рис. 1). В нашей статье речь пойдет о термической обработке титановых сплавов. В зависимости от состава и назначения их можно подвергать таким видам термической обработки как: отжиг, закалка, старение и химико-термическая обработка.

Изделия из титана чаще всего применяются в авиа и ракетостроении. Например, наиболее трудоемким является производство моноколеса (Рис. 2), представляющего собой диск с лопатками для забора воздуха. Всем известно, что остаточные напряжения после проточки лопастей, могут согнуть лопатки, приведя изделие в негодность. А так как титан металл не из дешевых, то такой брак, нанесет серьёзный ущерб предприятию. Для снятия

остаточных напряжений применяется термическая обработка готовых изделий.

Чаще всего изделия из титана подвергают отжигу. Нагрев до 870–980град и далее выдержка при 530–660град. Широко применяется вакуумный отжиг, который позволяет уменьшить содержание водорода в титановых сплавах, что приводит к уменьшению склонности к замедленному разрушению и коррозионному растрескиванию. Для снятия небольших внутренних напряжений применяют неполный отжиг при 550–650 град. Титановые сплавы имеют низкое сопротивление износу и при использовании в узлах трения подвергаются химико-термической обработке. Для повышения износостойкости титан азотируют при 850–950 град в течение 30–60 часов в атмосфере азота (слой 0,05–0,15 мм). VT5 хорошо обра-

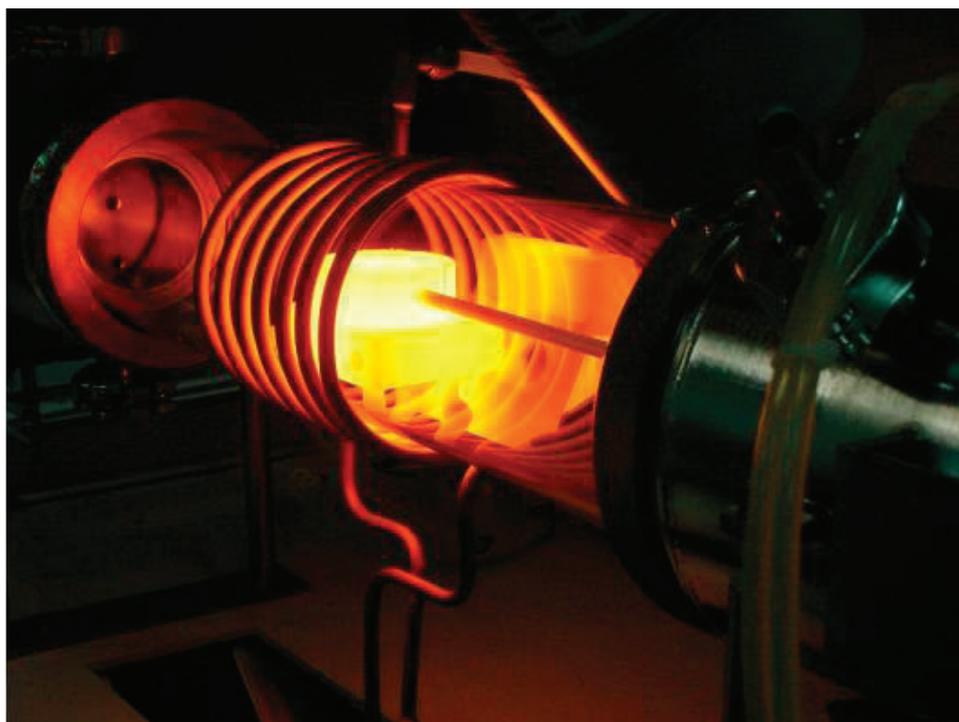


Рис. 1. Термическая обработка металла



Рис. 2. Моноколесо

батывается давлением и сваривается. ВТ6 обладает хорошими механическими и технологическими свойствами и упрочняется термической обработкой. ВТ14 применяют для изготовления тяжело нагруженных деталей. Сплав упрочняется закалкой (Рис. 3) при 850–880град в воде с последующим старением при 480–500град 12–16 часов. ВТ8 применяют после изотермического отжига. Для фасонного литья применяют сплавы ВТ5Л, ВТ6Л, ВТ14Л, которые обладают достаточно хорошими литейными и механическими свойствами.

Рассмотрено влияние интенсивной пластической деформации и режимов обработки на структуру и механические свойства титанового сплава ВТ6. Показано, что применение всесторонней изотермическойковки (ВИК) и оптимальных режимов последующей термической и термомеханической обработки позволяет получить в сплаве повышенные прочностные свойства. Так, после ВИК и последующей закалки с температуры 960°C с последующим старением при температуре 480°C достигаются предел прочности  $\sigma = 1540$  МПа и условный предел текучести



Рис. 3 Термическая обработка в печи

$\psi = 1485$  МПа при удовлетворительном уровне относительного удлинения  $\sigma = 7\%$  и относительном сужении  $\psi = 34\%$ . Повышенные механические свойства являются результатом формирования мелкозернистой глобулярной микроструктуры в ходе ВИК, а также наследования дислокационной структуры деформации, которые позволяют при старении получить высокодисперсные продукты распада, обеспечивающие высокие прочностные характеристики.

### Принципы выбора режимов отжига титана и его сплавов

Отжиг первого рода, включающий рекристаллизационный, дорекристаллизационный отжиг и отжиг для уменьшения остаточных напряжений, в чистом виде применим лишь для  $\alpha$ -сплавов и  $\beta$ -сплавов с термодинамически устойчивой  $\beta$ -фазой. В псевдо- $\alpha$ -, типичных  $\alpha+\beta$ - и  $\beta$ -сплавах с термодинамически неустойчивой  $\beta$ -фазой на рекристаллизационные процессы могут накладываться фазовые превращения. Вклад фазовых превращений в формирование структуры и свойств сплавов наибольший при рекристаллизационном и дорекристаллизационном отжиге и наименьший при отжиге с целью снятия остаточных напряжений [1]. Если температура отжига для уменьшения остаточных напряжений достаточно низка, то фазовые превращения могут не развиваться и не влиять на структуру и свойства псевдо- $\alpha$ ,  $\alpha+\beta$ - и  $\beta$ -сплавов (с термодинамически неустойчивой  $\beta$ -фазой). Гомогенизационный отжиг для титановых сплавов не применяются из-за его малой эффективности.

Дорекристаллизационный отжиг основан на явлениях возврата I рода (отдыха) и II рода (полигонизации). Его проводят с целью, если не для полного, то хотя бы частичного снятия нагартовки, внесенной в металл предшествующей пластической деформацией. В титане

и малолегированных сплавах на его основе при дорекристаллизационном отжиге нагартованный металл существенно разупрочняется, что связано с довольно большой в них энергией дефектов упаковки. Вследствие этого легко развивается полигонизация, в ходе которой существенно снижается средняя плотность дислокаций.

В термически упрочняемых сплавах, в частности в  $\beta$ -сплавах, полигонизация развивается при тех же температурах, при которых распадается метастабильная  $\beta$ -фаза. В тех случаях, когда температура деформации и скорости охлаждения после деформации были достаточно высокими, в деформированных полуфабрикатах фиксируется термодинамически нестабильная  $\beta$ -фаза. При нагреве деформированных полуфабрикатов до 500–700°C в них происходят не только процессы возврата и полигонизации, но и распад метастабильной  $\beta$ -фазы. Свойства отожженных титановых сплавов существенно зависят от того, что произойдет раньше — полигонизация или распад  $\beta$ -фазы.

В неполигонизованных титановых  $\beta$ -сплавах распад  $\beta$ -фазы при старении обычно протекает очень неоднородно по объему зерна, что приводит к низким пластическим характеристикам. После полигонизации метастабильная  $\beta$ -фаза распадается равномерно, что обуславливает повышенный комплекс механических свойств сплава и большую их однородность [2].

### Выводы

На данном этапе понятно, что термическая обработка заметно улучшает характеристики титановых сплавов, дальнейшей целью наших исследований стоит определение наилучших параметров для обработки титанового сплава ВТ6 и исследование прочностных характеристик для каждого из режимов, подобранных экспериментальным путем.

### Литература:

1. Gao P. F., Fan X. G. & Yang, H. (2017). Role of processing parameters in the development of tri-modal microstructure during isothermal local loading forming of TA15 titanium alloy. *Journal of Materials Processing Technology*, 239, 160–171. <http://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2016.08.015>
2. Wang, Z., Wang, X. & Zhu, Z. (2017). Characterization of high-temperature deformation behavior and processing map of TB17 titanium alloy. *Journal of Alloys and Compounds*, 692, 149–154. <http://doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.09.012>

# МОЛОДОЙ УЧЁНЫЙ

Международный научный журнал  
Выходит еженедельно

№ 28 (132) / 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.  
Абдрасилов Т. К.  
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.  
Калдыбай К. К.  
Кенесов А. А.  
Коварда В. В.  
Комогорцев М. Г.  
Котляров А. В.  
Кузьмина В. М.  
Курпаяниди К. И.  
Кучерявенко С. А.  
Лескова Е. В.  
Макеева И. А.  
Матвиенко Е. В.  
Матроскина Т. В.  
Матусевич М. С.  
Мусаева У. А.  
Насимов М. О.  
Паридинова Б. Ж.  
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)  
Ахмеденов К. М. (Казахстан)  
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)  
Игисинов Н. С. (Казахстан)  
Кадыров К. Б. (Узбекистан)  
Кайгородов И. Б. (Бразилия)  
Каленский А. В. (Россия)  
Козырева О. А. (Россия)  
Колпак Е. П. (Россия)  
Курпаяниди К. И. (Узбекистан)  
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., Майер О. 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 28.12.2016. Тираж 500 экз.

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