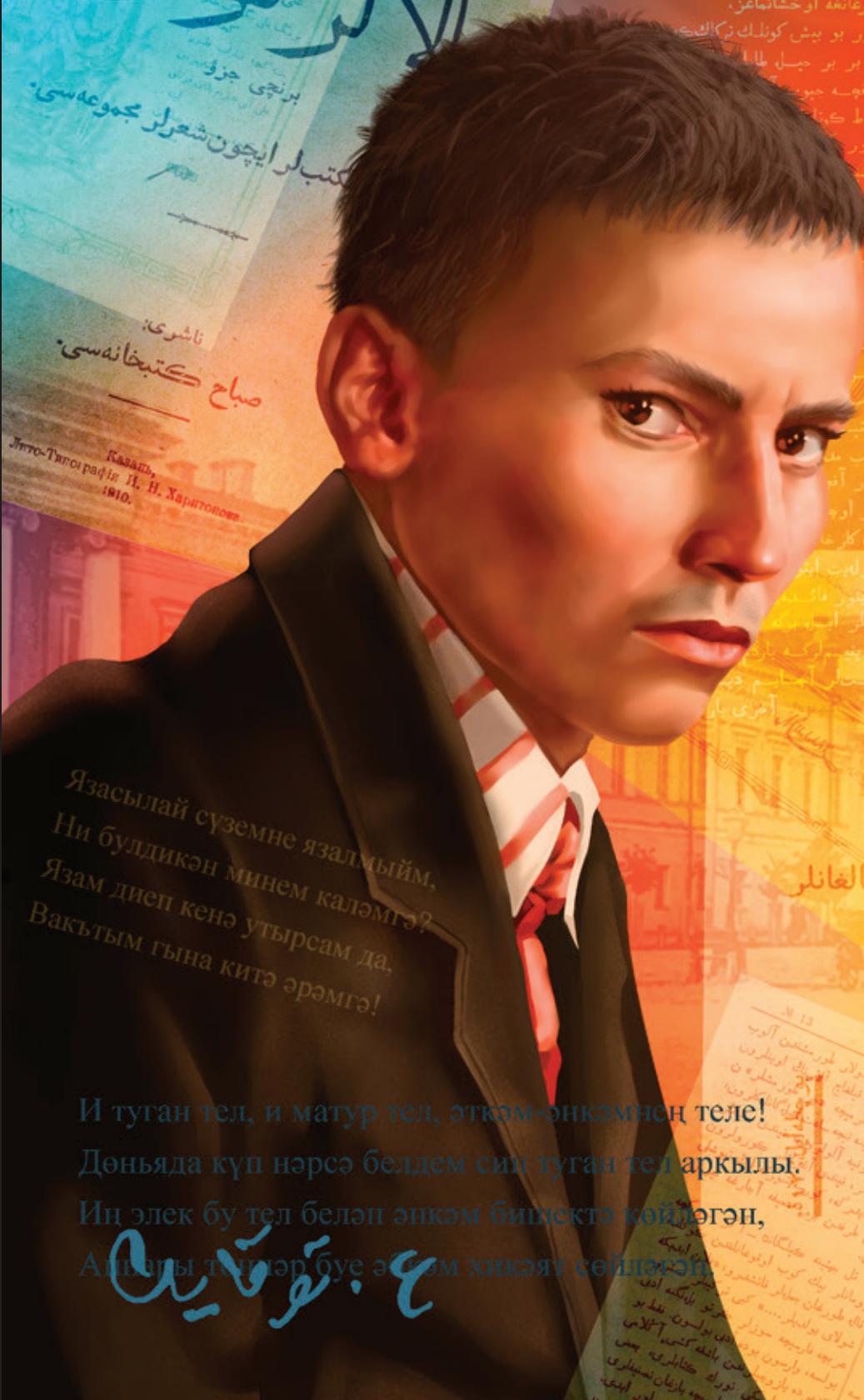


**МОЛОДОЙ**

ISSN 2072-0297  
№ 13

# учёный

научный журнал



الإلكر كوئىلى  
برنچى جزؤ  
كتىبلر ايچون شعرلر مجموعهسى  
ناشرى:  
صبحا كىتابخانهسى  
كازان،  
Литго-Типографія И. Н. Харитонов  
1910.

آخىرى...  
كاتبلىرى...  
بىقان...  
سېنە...  
كوتلر...  
عموما...  
اصولنه...  
يا كا...  
دا،...  
پيدا...  
بار...  
Юрган...  
Жир...  
Уйкуга...  
Ул...  
Кышлар...  
Кый...  
Кайтып...  
«Хуан...  
«Биа...  
«Биа...  
«Мат...  
«Апрель...  
«Бик...  
«Аткан...  
«Урман...  
«Коллар...  
«Адар...  
«САБАХЪ»

Язасылай суземне язалмыйм,  
Ни булдикән минем каләмгә?  
Язам диеп кенә утырсам да,  
Вақытым гына китә эрәмгә!

И туган тел, и матур тел, эткәм-әнкәмнен теле!  
Дөньяда күп нәрсә белдем сиз туган тел аркылы.  
Ин элек бу тел белән әнкәм бишектә көйлөгән,  
Анчыгы туган бус элгәм хикәят сөйлөгән.

توقايلى

**8**  
2015  
Часть III

ISSN 2072-0297

# Молодой учёный

Научный журнал

Выходит два раза в месяц

№ 8 (88) / 2015

Редакционная коллегия:

**Главный редактор:** Ахметова Галия Дуфаровна, *доктор филологических наук*

**Члены редакционной коллегии:**

Ахметова Мария Николаевна, *доктор педагогических наук*

Иванова Юлия Валентиновна, *доктор философских наук*

Каленский Александр Васильевич, *доктор физико-математических наук*

Лактионов Константин Станиславович, *доктор биологических наук*

Сараева Надежда Михайловна, *доктор психологических наук*

Авдеюк Оксана Алексеевна, *кандидат технических 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*

Игнатова Мария Александровна, *кандидат искусствоведения*

Коварда Владимир Васильевич, *кандидат физико-математических наук*

Комогорцев Максим Геннадьевич, *кандидат технических наук*

Котляров Алексей Васильевич, *кандидат геолого-минералогических наук*

Кузьмина Виолетта Михайловна, *кандидат исторических наук, кандидат психологических наук*

Куташов Вячеслав Анатольевич, *доктор медицинских наук*

Кучерявенко Светлана Алексеевна, *кандидат экономических наук*

Лескова Екатерина Викторовна, *кандидат физико-математических наук*

Макеева Ирина Александровна, *кандидат педагогических наук*

Матроскина Татьяна Викторовна, *кандидат экономических наук*

Мусаева Ума Алиевна, *кандидат технических наук*

Насимов Мурат Орленбаевич, *кандидат политических наук*

Прончев Геннадий Борисович, *кандидат физико-математических наук*

Семахин Андрей Михайлович, *кандидат технических наук*

Сенюшкин Николай Сергеевич, *кандидат технических наук*

Ткаченко Ирина Георгиевна, *кандидат филологических наук*

Яхина Асия Сергеевна, *кандидат технических наук*

*На обложке изображен Габдулла Тукай (1886–1913) — татарский народный поэт и переводчик, литературный критик, публицист, общественный деятель.*

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.

**Адрес редакции:**

420126, г. Казань, ул. Амирхана, 10а, а/я 231. E-mail: [info@moluch.ru](mailto:info@moluch.ru); <http://www.moluch.ru/>.

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

Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии издательства «Молодой ученый», г. Казань, ул. Академика Арбузова, д. 4

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».

**Ответственные редакторы:**

Кайнова Галина Анатольевна

Осянина Екатерина Игоревна

**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)

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)

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

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

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

Кадыров Кутлуг-Бек Бекмуратович, 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)

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)

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

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

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

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

Хоссейни Амир, доктор филологических наук (Иран)

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

**Художник:** Шишков Евгений Анатольевич

**Верстка:** Голубцов Максим Владимирович

## СОДЕРЖАНИЕ

### ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

**Ерошкина Н. А., Коровкин М. О., Аксенов С. В.,  
Полубаров Е. Н.**

Зависимость свойств геополимерных вяжущих на основе магматических горных пород от состава сырья ..... 241

**Ерошкина Н. А., Коровкин М. О.,  
Полубаров Е. Н.**

Исследование свойств минерально-щелочных композитов, полученных прессованием..... 244

**Загребельный С. О., Мелешко Е. Н.,  
Волкова Г. Ю., Прохоров В. Т., Дмитриенко Н. А.**

The possibility of innovation centers, formed on the basis of the shoe enterprises, north and southern regions on the effectiveness of the results of their work ..... 247

**Камолов Н. З., Орипов З. Б., Гойибов О. Х.,  
Хамраева М. Ф.**

Определение давления хлопкового покрова на металлическую сетчатую поверхность сепаратора..... 249

**Кириченко А. С., Серегин А. Н., Чимшир В. И.,  
Бабаян П. Д.**

Повышение экологических требований к технологии разделки судов на лом ..... 252

**Клименков Б. Д.**

Развитие и области применения сегнетоэлектрических материалов. От прошлого к будущему ..... 256

**Кожанова Е. Р., Захаров А. А., Ткаченко И. М.**

Программное обеспечение для моделирования продольного распределения магнитного поля магнитных реверсивных фокусирующих систем в среде MATHCAD ..... 260

**Крамбаева И. М.**

Микропроцессорные системы ЖАТ ..... 264

**Мекеев А. Б.**

Исследования математических моделей систем контроля букса ..... 266

**Миненко Е. Ю., Михеева Н. А.**

Существующие проблемы доступной среды маломобильных групп населения в г. Рязань и мероприятия, направленные на их устранение..... 269

**Миненко Е. Ю., Скрипкин П. Б., Кусморова Ю. А.**

Анализ доступной среды маломобильных групп населения в микрорайоне Канищево ..... 271

**Найбауэр Д. Ю., Волшин М. Е., Тумакова Н. А.**

To the question of practical use of «Smart home» system ..... 274

**Нашивочников В. В., Гарькина И. А.**

Параметры структуры управления в эргатической системе ..... 277

**Нугаев А. С., Данилов А. М.**

Методологические основы оценки качества имитационных моделей объектов управления.... 279

**Очилов А. А., Адизов Б. З.**

Влияние минеральных солей на интенсивность разрушения устойчивых водонефтяных эмульсий дезэмульгаторами в сочетании с микроволновым излучением ..... 281

**Очилов А. А.**

Разрушение устойчивых водонефтяных эмульсий местных нефтей дезэмульгаторами серии Д.....283

**Пальцев С. А., Нижегородов В. А.,**

**Алексеев А. В.**

Методические указания по проведению экспертных обследований вентиляторов местного проветривания ВМЭ-6, ВМЭ-6/1 ..... 286

**Полубаров Е. Н., Ерошкина Н. А.,**

**Коровкин М. О.**

Исследование свойств геополимерных вяжущих при длительном твердении ..... 289

<b>Раджабов С. Р., Базаров Г. Р. т</b> Технологический режим эксплуатации скважин месторождения Зеварды ..... 292	<b>Тимченко В. С.</b> Моделирование условий пропуска поездов в программном комплексе имитационного моделирования процессов перевозок ..... 316
<b>Рахмонов Х. К., Орипов З. Б., Гойилов О. Х., Хамроева М. Ф.</b> Методы исследования рабочих органов шнекового распределителя при транспортировании сыпучих материалов ..... 294	<b>Файзиев М. М., Тошев Т. У.</b> Анализ режимов электроферромагнитных цепей приведением уравнений состояния к относительным единицам ..... 319
<b>Рахмонов Х. К., Орипов З. Б., Гойилов О. Х., Хамроева М. Ф.</b> Теоретические основы транспортирования хлопка-сырца на устройстве подачи и распределения ..... 296	<b>Фетисова М. А., Евстратов С. С.</b> Преимущества применения комплексно-блочного метода при возведении сельскохозяйственных объектов ..... 322
<b>Сайпуллаев Ф. С.</b> Регенерация отработанного синтетического цеолита СаА и его характеристика ..... 298	<b>Филиппов В. В.</b> Контроль включения сетевого резерва делительной автоматикой ..... 324
<b>Синютин А. Ю., Синютина Д. С.</b> Методический подход к оценке надежности аппаратуры системы управления летательных аппаратов с учетом формирования потока неисправностей с использованием рекуррентного алгоритма ..... 301	<b>Фоминых А. К.</b> Краткая история электрокалорических охладителей и их перспективы ..... 326
<b>Сорокин Д. С., Береговой В. А.</b> Многокомпонентные вяжущие для бетонов на легких целлюлозосодержащих заполнителях . 305	<b>Халикова Х. А., Нурова М. А.</b> Влияние влажности стебли хлопчатника (гуза-паи) и интенсивности теплового потока на скорость пиролиза ..... 328
<b>Суров Л. Д., Филиппов В. В., Суров И. Л.</b> Контроль неуспешного автоматического повторного включения секционирующих выключателей ..... 308	<b>Хужжиев М. Я.</b> Полимеризация газообразных углеводородов в жидкое топливо ..... 332
<b>Сурова Т. Б., Филиппов В. В., Махиянова Н. В.</b> Контроль над состоянием головного выключателя линии, питающей трансформаторную подстанцию при исчезновении напряжения в ней ..... 312	<b>Чабан А. В.</b> Управление линейной динамической системой в условиях непараметрической неопределенности ..... 334
<b>Сысоева Н. В., Куимова М. В.</b> Some hazards of long-term space flights ..... 315	<b>Чупеев Г. В.</b> Продольно-поперечный изгиб стержней переменного поперечного сечения ..... 340
	<b>Шинкин В. Н.</b> Математическая модель правки стальной полосы на пятироликовой листопрямительной машине фирмы Fagor Arrasate ..... 344



## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

### Зависимость свойств геополимерных вяжущих на основе магматических горных пород от состава сырья

Ерошкина Надежда Александровна, кандидат технических наук, инженер-исследователь;  
Коровкин Марк Олимпиевич, кандидат технических наук, доцент;  
Аксенов Сергей Владимирович, соискатель;  
Полубаров Евгений Николаевич, магистрант  
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

*Рассмотрены результаты экспериментальных исследований зависимостей свойств геополимерных вяжущих на сырьевой базе магматических горных пород от состава сырья и условий твердения. Установлены зависимости прочностных характеристик вяжущих, твердевших в различных условиях, от минералогического состава сырья.*

**Ключевые слова:** геополимерное вяжущее, минерально-щелочное вяжущее, магматическая горная порода, прочность, водостойкость.

Вяжущие щелочной активации на основе промышленных отходов — одно из наиболее перспективных направлений разработки энерго- и ресурсосберегающих технологий строительных материалов. Основы этих технологий были заложены В. Д. Глуховским и его коллегами и в последствии получили развитие в работах зарубежных и отечественных исследователей.

Значительный прогресс в этом направлении был достигнут зарубежными учеными после разработки и развития концепции геополимерных вяжущих — материалов полимерной структуры на основе термически активированных каолинов и полевошпатовых горных пород, а также зол, шлаков и других промышленных отходов [1].

В нашей стране значительные успехи в создании энерго- и ресурсосберегающей технологий малощелочных вяжущих на основе осадочных горных пород и шлака были достигнуты В. И. Калашниковым и его сотрудниками [2]. В зависимости от содержания шлака эти материалы классифицируются на минерально-шлаковые, гешлаковые и геосинтетические [2].

Новой разновидностью вяжущих щелочной активации является минерально-щелочное вяжущее, основным компонент которого тонкоизмельченные магматические горные породы с добавкой 10...30% доменного гранулированного шлака [3]. Твердение такого вяжущего активируется раствором метасиликата натрия или калия. Технологические свойства разработанного вяжущего позволяют

изготавливать железобетонные конструкции с классом бетона по прочности при сжатии В40 [3].

Полимерный характер структуры щелочных метасиликатов служит основанием обоснованно предположить, что минерально-щелочные вяжущие можно отнести к геополимерным материалам. Зависимость свойств геополимеров от их состава и условий твердения, а так же механизм их структурообразования исследованы еще не полностью [1]. В настоящее время идет накопление эмпирических данных о влиянии различных факторов на структурообразование геополимерных и других вяжущих щелочной активации. Систематизация и анализ этих данных позволит разработать теорию твердения и научно-практически обоснованную технологию этих вяжущих.

Магматические горные породы, которые являются сырьем для получения минерально-щелочных вяжущих обладают сходным химическим составом, но образовались в различных условиях, поэтому характеризуются различным минералогическим составом и реакционной активностью по отношению к щелочным метасиликатам. Более быстрое охлаждение магмы при образовании излившихся пород, в сравнении с глубинными породами, обуславливает формирование менее термодинамически устойчивых мелко- и скрытокристаллических минералов, а также стеклофазы. Кроме того, излившиеся горные породы могут содержать большее число минералов, чем их глубинные аналоги. Все эти факторы позволяют предположить, что излившиеся породы должны

характеризоваться более высокой реакционной способностью.

Для выявления влияния основных породообразующих минералов магматических пород на прочность минерально-щелочного вяжущего были исследованы вяжущие, приготовленные на основе некоторых широко распространенных представителей излившихся и глубинных горных пород.

В качестве активатора твердения использовался комплексный щелочной активатор на основе метасиликата натрия (натриевое жидкое стекло) и гидроксида натрия при соотношении компонентов 4,2:1, так как данное соотношение обеспечивает достижение наибольшей прочности при минимальной усадке [4].

Исследования проводились на составах вяжущего с различной дозировкой раствора активатора твердения, которая обеспечивала различную консистенцию смеси — пластичную и сверхжесткую. Пластичные смеси уплотнялись на стандартной лабораторной виброплощадке, а жесткие — прессованием при давлении 25 МПа. Соотношение компонентов вяжущего с пластичной консистенцией: измельченная горная порода — 87%, активатор твердения — 13%. Для приготовления смесей со сверхжесткой консистенцией расход компонентов составлял: измельченная горная порода — 94%, активатор твердения — 6%. Водовязущее отношение в этих смесях составляло соответственно 0,22 и 0,09.

Для приготовления вяжущего использовались горные породы, измельченные до дисперсности  $350 \pm 10 \text{ м}^2/\text{кг}$ : гранит Павловского и Хребетского месторождений, гранит плагиоклазовый, гранит с роговой обманкой, гранит биотитовый, гранит розовый, базальт, перидотит и габбро-диабаз.

Экспериментальные исследования показали, что прочность полученных вяжущих с пластичной консистенцией, твердевших в нормальных условиях (НУ) в течение 28 суток незначительна — от 0,2 до 0,7 МПа (табл.). Снижение расхода воды в жестких смесях обеспечивает повышение прочности до 6...18 МПа. Наибольшая прочность

была получена у вяжущих, приготовленных с применением основных и ультраосновных пород — базальта и перидотита.

Полученные значения прочности при твердении исследованных вяжущих в нормальных условиях на порядок ниже, чем для большинства традиционных вяжущих при сопоставимых расходах воды.

Тепловая обработка (ТО) вяжущих при температуре изотермической выдержки  $105^\circ\text{C}$  в течение 8 часов позволяет повысить прочность до 30...50 МПа (табл.). Прочности жестких и пластичных смесей, различаются приблизительно на 20%, что позволит изготавливать в заводских условиях не только прессованные и вибропрессованные изделия, но и конструкции по традиционной для строительной индустрии технологиям.

Исследование водостойкости вяжущих показало, что коэффициент их размягчения находится в широком интервале от 0,11 до 0,96. Низкие значения — менее 0,6 характеризует воздушный тип твердения вяжущего, которое обусловлено в основном обезвоживанием метасиликата натрия. Повышение водостойкости обеспечивается за счет вовлечения в реакции структурообразования некоторых минералов из горных пород. В результате этих реакций образуются водостойкие фазы. В пользу этого предположения свидетельствует корреляционная зависимость между прочностью вяжущего и его водостойкостью.

Основными породообразующими минералами в исследованных горных породах являются ортоклаз, кварц, плагиоклаз и пироксен. В связи с этим были проанализированы зависимости прочности исследованных вяжущих от содержания в них указанных минералов (см. рис.). Для анализа были использованы усредненные результаты определения прочности вяжущих, полученных прессованием и твердеющих при тепловой обработке, так как именно эти результаты наиболее полно отражают реакционную активность минералов входящих в состав горных пород.

Согласно графикам, приведенным на рисунке, прочность геопалимерного вяжущего в значительной степени

Таблица 1. Свойства геопалимерных (минерально-щелочных) вяжущих в зависимости от вида горной породы и способа формования

№ п/п	Основа вяжущего	Вибрирование		Прессование		
		Условия твердения		Условия твердения		Кр (через 60 сут)
		НУ	ТО	НУ	ТО	
1	гранит Павловский	0,3	35	5,9	46,2	0,11
2	гранит Хребетский	0,5	30,8	8,2	42	0,22
3	перидотит	0,6	37,5	16,1	53	0,42
4	базальт	0,7	40	18,3	48	0,56
5	гранит розовый	0,4	31,2	5,7	43	0,25
6	гранит с роговой обманкой	0,55	32,8	15,1	41,6	0,39
7	гранит биотитовый	0,6	32,5	13,7	38	0,36
8	гранит плагиоклазовый	0,5	33,8	12,2	43	0,28
9	габбро-диабаз	0,2	41	1,5	50	0,96

зависит от вида и содержания минералов. Увеличение содержания в породах кварца, плагиоклаза повышает прочность вяжущих, ортоклаза — снижает их прочность. Из-

менение содержания в породах пироксена в интервале 20...40% практически не отражается на прочностных характеристиках вяжущего.

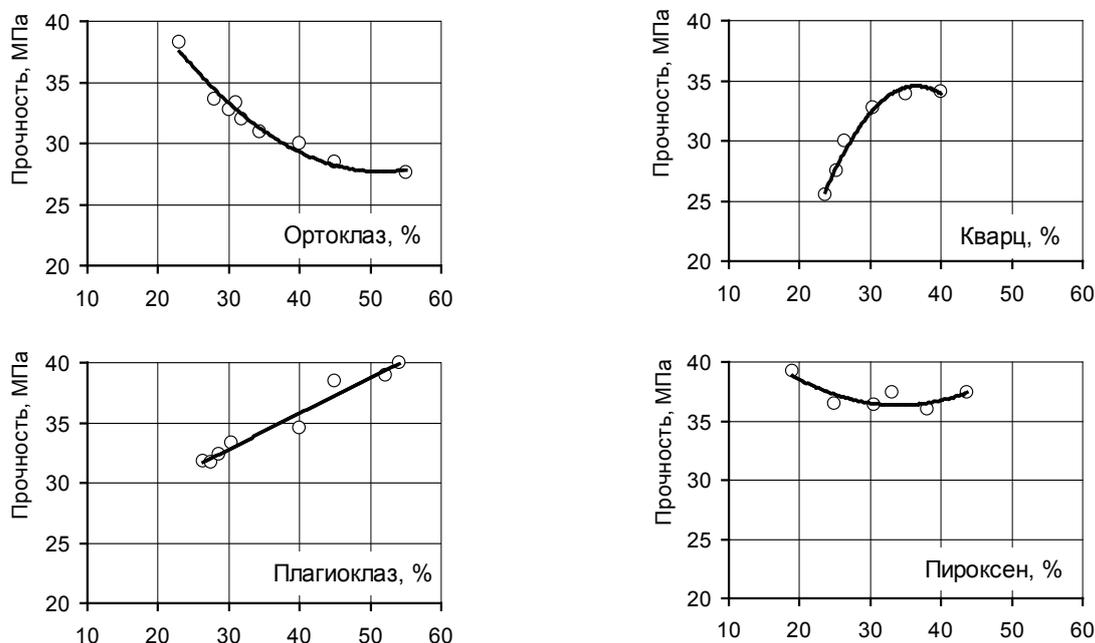


Рис. 1. Прочность вяжущих в зависимости от содержания основных породообразующих минералов

### Выводы

Установлено, что излившиеся и глубинные магматические горные породы дисперсностью около 350 м<sup>2</sup>/кг после активации комплексным активатором на основе метасиликата натрия и гидроксида натрия могут использоваться для получения безобжиговых вяжущих. При твердении в нормальных условиях вяжущие имеют

низкую прочность, достигающую за счет тепловой обработки 30...50 МПа. Выявлено влияние основных породообразующих минералов — ортоклаза, кварца, плагиоклаза и пироксена на прочность вяжущих. Сопоставление состава горных пород с прочностными характеристиками исследованных вяжущих показывает, что с уменьшением кислотности пород возрастает активность вяжущих.

### Литература:

1. Davidovits, J. Geopolymers: Inorganic polymeric new materials / J. Davidovits // Journal of Materials Education. 1994. Vol. 16 (2, 3). P. 91–138.
2. Калашников, В. И. К вопросу классификации шлаковых и минерально-шлаковых вяжущих / В. И. Калашников, В. Ю. Нестеров, В. Л. Хвастунов // Современное состояние и перспектива развития строительного материаловедения: материалы: VIII Академ. чтения РААСН. — Самара: СГАСУ, 2004. — с. 201–205.
3. Ерошкина, Н. А. Вяжущее, полученное из магматических горных пород с добавкой шлака, и бетон на его основе / Н. А. Ерошкина, В. И. Калашников, М. О. Коровкин // Региональная архитектура и строительство. 2011. № 2. с. 62–65.
4. Ерошкина, Н. А., Коровкин М. О. Ресурсосберегающие технологии геополимерных вяжущих и бетонов на основе отходов добычи и переработки магматических горных пород: монография. — Пенза: Изд-во ПГУАС, 2013. 152 с.

## Исследование свойств минерально-щелочных композитов, полученных прессованием

Ерошкина Надежда Александровна, кандидат технических наук, инженер-исследователь;  
Коровкин Марк Олимпиевич, кандидат технических наук, доцент;  
Полубаров Евгений Николаевич, магистрант  
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

*В работе исследовано влияние состава минерально-щелочного вяжущего и давления прессования на прочность и плотность материала. Установленные зависимости позволят назначать составы вяжущего с учётом давления прессования для получения материала с заданными характеристиками.*

**Ключевые слова:** минерально-щелочное вяжущее, геополимер, гранит, шлак, активатор твердения, прессование.

Основным способом формования изделий на основе минерально-шлаковых, геосинтетических и минерально-щелочных вяжущих в настоящее время является прессование и вибропрессование [1]. Это связано с тем, что такой способ формования позволяет использовать смеси с низким содержанием воды, получая при относительно низких расходах щелочей более высокие концентрации растворов активаторов твердения шлака.

Минерально-щелочное вяжущее — многокомпонентный материал, включающий в свой состав не менее пяти обязательных составляющих: реакционно-способной горной породы, шлака, двухкомпонентного активатора твердения и воды [2, 3]. При оптимизации состава этого вяжущего должны учитываться условия формования бетонной смеси, в частности, давление прессования смеси. Повышение давления прессования смеси позволяет снизить расход активатора твердения или повысить прочность. С другой стороны, высокое давление прессования ведет к ускорению износа оборудования.

Нами были проведены исследования по выявлению закономерностей влияния состава вяжущего и давления на прочностные характеристики мелкозернистого бетона на минерально-щелочном вяжущем.

### Методы и материалы

Влияние параметров состава вяжущего и давления прессования на прочность и плотность материала было исследовано с применением методов математического планирования эксперимента. Составы минерально-щелочного вяжущего назначались в соответствии с ортогональным трехфакторным планом эксперимента. В качестве исследуемых факторов были выбраны:  $x_1$  — содержание шлака (Ш),  $x_2$  — расход раствора щелочного активатора (Ак),  $x_3$  — логарифм давления прессования смеси  $\lg(P)$ . Для первого фактора основной уровень варьирования составлял 20%, а интервал варьирования — 6%, для второго фактора — 12% и 4%, а для третьего 1,6 и 0,6, соответственно.

Для изготовления вяжущего использовались измельченные до удельной поверхности  $350 \text{ м}^2/\text{кг}$  отсева дробления гранитного щебня и доменный гранулированный шлак, которые перемешивались с песком. Затем сухая смесь затворялась раствором щелочного активатора. Полученная смесь формовалась в пресс-формах при давлении прессования от 10 до 160 МПа. Изготовленные образцы цилиндрической формы диаметром 25 мм при высоте 24–27 мм в течение 1 суток выдерживались во влажных условиях, а затем подвергались тепловлажностной обработке в течение 10 часов при температуре изотермической выдержки  $95^\circ\text{C}$ .

В качестве сырьевых компонентов вяжущего использовались: отсев дробления гранита Павловского месторождения, шлак Новолипецкого металлургического комбината, щелочной активатор твердения с концентрацией 30%, а в качестве заполнителя — песок Сурского месторождения. Подбор влажности формовочных смесей осуществлялся экспериментально с учетом принятого давления прессования и содержания раствора щелочного активатора.

### Результаты и обсуждение

По полученным результатам прочности при сжатии и плотности минерально-щелочного вяжущего были построены математические модели полиномиального вида.

Зависимость плотности от исследуемых факторов после исключения статистически незначимых коэффициентов описывается уравнением  $\rho = 2167,9 + 25,125 \cdot x_2 - 9,2074 \cdot x_1 \cdot x_3$ . Анализ уравнения показывает, что наибольшее влияние на плотность смеси оказывает давление прессования и взаимодействие шлака с активатором твердения.

Из рис. 1 видно, что по мере увеличения давления прессования и содержания щелочного активатора ( $b$ ) с уменьшением отношения Ак/Вода ( $a$ ) плотность минерально-щелочных вяжущих равномерно возрастает. При этом плотность вяжущих находится в очень узком интервале 2080–2240  $\text{кг}/\text{м}^3$ , для которого погрешность изменения составляет не более 3,8%.

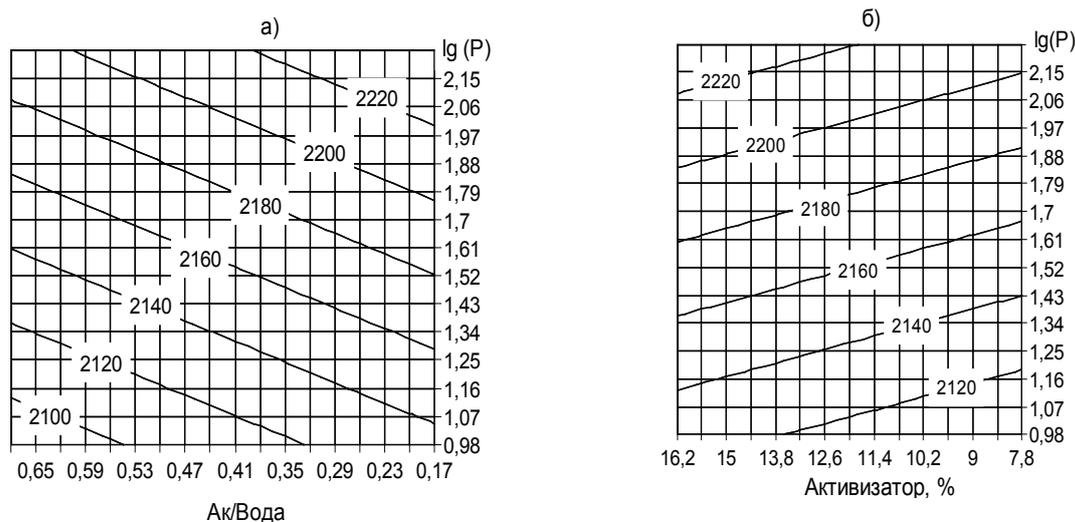


Рис. 1. Зависимости плотности от давления прессования и соотношения Ак/Вода (а), а также от давления прессования и содержания активатора твердения (б)

На рис. 2 показан график зависимости прочности минерально-щелочного вяжущего после тепловлажностной обработки от содержания шлака и давления прессования. Математическим описанием этой зависимости является уравнение  $R = 45,4919 + 6,4388 \cdot x_1 + 5,2705 \cdot x_2 + 1,7252 \cdot x_3 + 5,7348 \cdot x_1 \cdot x_2 - 1,9708 \cdot x_1 \cdot x_3 - 5,5192 \cdot x_1^2 - 1,0636 \cdot x_3^2$ . Анализ значений коэффициентов регрессии показывает, что прочность в наибольшей степени зависит от содержания в смеси шлака и давления прессования. С увеличением в составе вяжущего добавки шлака и давления прессования прочность возрастает (рис. 2). Даже при средней величине давления прессования 15–40 МПа прочность составляет от 30 до 50 МПа.

Согласно графикам на рис. 3 прочность вяжущих в меньшей степени зависит от содержания активатора (рис. 3б) и отношения Ак/Вода (рис. 3а). Особенно это наблюдается в смесях с добавкой шлака менее 20%, когда кривые прочности параллельны осям относящимся к Ак/Вода (рис. 3а) и содержанию активатора (рис. 3б). При увеличении добавки шлака до 20–27%, активатора твердения с 13,5% до 15,5% прочность возрастает.

**Заключение**

Были исследованы зависимости свойств минерально-щелочных композитов от состава вяжущего и дав-

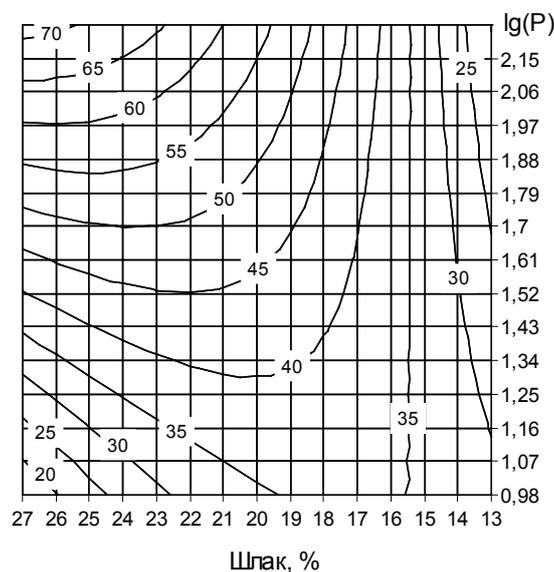


Рис. 2. Зависимость прочности от содержания шлака и давления прессования смеси

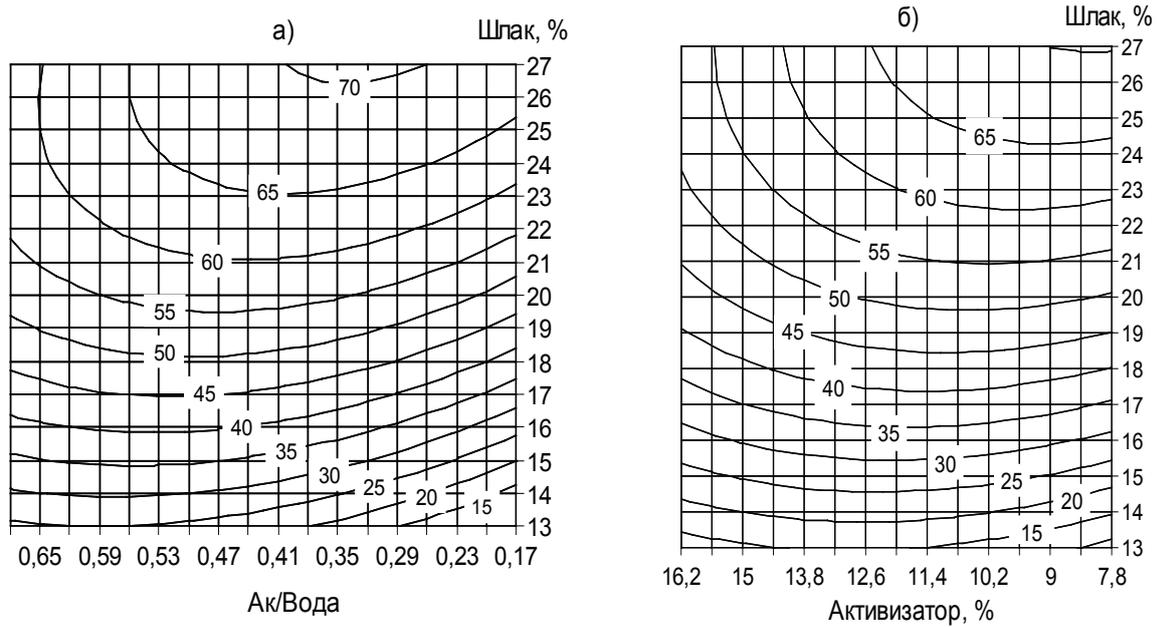


Рис. 3. Зависимость прочности от содержания шлака и соотношения Ак/Вода (а) или содержания активатора твердения (б)

ления прессования. Получены минерально-щелочные материалы с прочностью 30...50 МПа при плотности 2120... 2200 кг/м<sup>3</sup>. Для получения вяжущих с указанными свойствами необходимо введение в его состав

14–27% добавки шлака, до 14% раствора щелочного активатора (от веса вяжущего), при этом формование может производиться при давлении прессования 15...40 МПа.

Литература:

1. Калашников, В. И. Технологические и теоретические основы получения высокопрочного силицевого геополлимерного камня / В. И. Калашников, В. Ю. Нестеров, Ю. В. Гаврилова, Ю. С. Кузнецов // Строительные материалы. 2006. — № 5. — с. 60–63.
2. Ерошкина, Н. А. Вяжущее, полученное из магматических горных пород с добавкой шлака, и бетон на его основе / Н. А. Ерошкина, В. И. Калашников, М. О. Коровкин // Региональная архитектура и строительство. 2011. № 2. с. 62–65.
3. Ерошкина, Н. А., Коровкин М. О. Геополлимерные строительные материалы на основе промышленных отходов: монография. — Пенза: ПГУАС, 2014. — 128 с.

## The possibility of innovation centers, formed on the basis of the shoe enterprises, north and southern regions on the effectiveness of the results of their work

Загребельный Сергей Олегович, магистрант;  
Мелешко Елена Николаевна, доцент  
Донской государственной технической университет (г. Ростов-на-Дону)

Волкова Галина Юрьевна, генеральный директор  
ООО «ЦПОСН «Ортомода» (г. Москва)

Прохоров Владимир Тимофеевич, доктор технических наук, и.о. зав. кафедрой;  
Дмитриенко Надежда Алексеевна, преподаватель  
Донской государственной технической университет (г. Ростов-на-Дону)

Zagrebely S. O., post graduate student;  
Meleshko E. N., Associate Professor  
Don State technical university

Volkova G. Yu., General Principle  
CPOSN «Ortomoda», Moscow

Prokhorov V. T., Doctor of Technical Sciences;  
Dmitrienko N. A., Associate Professor  
Don State technical university

*The article describes the state of the footwear industry in the regions of South of Russia, the formation of the innovative center was proposed as a variant of the resurgence of the footwear industry, the SOUTHERN regions of the NORTH and to ensure the relevance of domestic footwear. there are benefits adding an innovative centers in the SOUTHERN FEDERAL DISTRICT and the NORTH for the footwear industry. Proposed solution to the problem on the development of innovative technological processes of footwear production in enterprises situated in the regions of the SOUTHERN FEDERAL DISTRICT and the NORTH, formed at the expense of a multifunctional and universal equipment.*

**Keywords:** Innovation Center, software, workflow, shoes, expenses, cash flows, preferences, competitiveness, cost, demand.

One of the options of the resurgence of domestic footwear industry is a dynamic and competitive innovation centers in the regions.

As a result of their creation on the base of the SOUTHERN FEDERAL DISTRICT and the NORTH shoe enterprises to achieve the effect, which is characterized by a decreasing expenses, stimulating the creation of logic within the framework of the Innovation Center for companies producing parts for using them in the shoes manufacturing, providing conditions for the replacement of imported shoes, despite the costs connected with the lease of land, installing communications, establishing infrastructure, equipment purchase and construction of social objects.

When calculating the performance of innovation centers it is necessary to consider and analyze the efficiency level and magnitude of all the tools and production parts. Determination of the innovation efficiency requires the application of quantitative analysis and indicators measurement system in close logical relationship to each other, the application of which is derived from the entity level, the complexity and volume of this notion.

At the current moment we developed the courage of the analysis methods of private indicators of effectiveness. At the same time, on the basis of the research on assessment development effectiveness, innovation center, you can conclude

that low level objects using private indicators would be more appropriate to carry out a comprehensive analysis.

The turnover of the individual components of the capital in the turnover formula is the average cost of the respective asset or their sources for such decisions show the velocity of the analyzed elements or their sources and are expressed as the number. increased speed (number of revolutions) showed increasing turnover and as a consequence of the increasing efficiency of innovation centers.

Here is the methodology of calculation of other performance indicators innovation centers (fixed-asset turnover, capacity, productivity, profitability, etc.).

This coefficient characterizes the efficiency in the use of base capital. it is measured the size of sales per unit cost of equity capital.

Turnover Acceleration with lower returns on assets and non-current assets of scientific innovation centers indicates that their measure of irrationally, tools used ineffective or that it does not meet the requirements or conditions of the economic process.

More accurate conclusions on turnover indicators and capital base capital can be done on the basis of an integrated analytical accounting of the time of acquisition, the timing of the operation of non-current assets. Summarizing the economic criterion the efficiency of social production is the level of labour productivity.

The objectivity of the evaluation of innovation centers without calculation and analysis for dynamic indicators of profitability, reflecting the level of profitability of innovation centers.

In calculating the ROI for individual of capital (or their sources) can be used profits from sales, profit before tax, net profit.

The following indicators of profitability can be applied minimizing the effectiveness of resources innovation centers, that is, the financial returns on investment.

Therefore, the success of innovation centers depends on many conditions that can be reduced to the following activities, namely:

- the need for the Federal Government;
- efficiency factor conditions (people, capital, natural environment, quality of life);
- the availability of scientific and educational organizations;
- legalization of preferential taxation of producers;
- the reduction of tariffs on import of components for shoes up to 2–3%;
- Cancel 5% import duty on leather raw materials;
- tax breaks for manufacturers of footwear, components and raw materials;
- support the development of the resource base, including quality assurance of raw materials due to the vaccination of livestock;
- subsidizing the participation of domestic manufacturers in major Russian and foreign exhibitions and fairs;
- creation of the enterprises on production of components;
- expansion of assortment of footwear;
- improve the quality and design of the shoe;
- creating an effective marketing system by improving the structure and content of the marketing function of the cluster service;
- formation and use of range of competent socio-oriented managers, to ensure the efficiency of innovation centers.

Thus, regions in which organized innovation centres, including shoe, and become leaders of economic development, determine the competitiveness of the economies of these regions, provide social protection for the population of these regions through the new jobs.

In a global economy where cost competitiveness is the mark of competitiveness levels and quality that will enhance its relevance of Russia's entrance into the WTO. Increasing the quality factor of the production of domestic footwear in competitive strategy in world markets is a long-term period.

In the circumstances, footwear enterprises must deal with a competitive range of shoes based on the marketing information and studying regional features of consumer demand. Managing competitiveness of shoes at shoe factories in southern and North Caucasus Federal districts due to the frequent change of assortment and the growing influence of regional socio-economic factors. Improving the competitiveness of the shoes is possible due to the development of

new models on the basis of marketing information and analyzing the preferences of specific groups of customers, accelerating the change of articles while maintaining or improving the efficiency of the production system. Management at shoe enterprises is being built very primitively, the head of the company combines the functions of General Director, a designer and a head of sales department. When small amounts of production of such a system justify, today, in the midst of growth-it becomes a hindrance. In order to give the producers a chance, they need to move away from price competition. And that means we need to do more varied collections, use higher quality materials, expanding markets, but this requires the use of innovative manufacturing technologies on the basis of universal and multifunctional equipment.

Particular relevance of enhancing competitiveness of shoe companies that due to external factors (increased competition due to globalization, the global financial crisis) and internal (inefficient management) they have lost their competitive position in the domestic and foreign markets. In response to negative trends in the external environment we should strengthen the processes of regionalization and create different network structures, one of which is the Union of the commodity and the State.

The work is aimed at solving urgent problems of development of innovative technological processes of production of footwear in enterprises situated in the regions of the SOUTHERN FEDERAL DISTRICT and the NORTH.

Software has been developed to form the shoe Assembly process and determine the cost per unit, representing the total sum of operating costs (cost) and capital investment, compared to regulatory factor of efficiency, taking into account the production programme. Conducted policy based on calculations of static parameters of technological assembling shoes process at various forms of organization of production. Developed software for the calculation of cash flow from operating activities of footwear enterprises on the basis of an assessment of the extent compliance and the dynamics of production and sales, determining factors effect on the change of the value of these indicators, identification of internal reserves and the development of activities for their development, aimed at speeding up the turnover of products and reducing losses, which guarantees businesses resuscitation, obtaining stable TEP and warns them from bankruptcy. The developed software allows manufacturers based on innovative technological process using a generic and multifunctional equipment to produce the whole range of shoe production articles with minimum, medium and maximum costs, thus providing a basis for varying the price niche gradually increasing the share of domestic components in the production of leather goods with a considerable reduction in the production costs. However, as the criteria to make informed choices when forming algorithm optimal power justified it is necessary to choose the criteria that have the greatest impact on the cost of finished products, namely:

- the load factor of working, %;
- the productivity of a pair;

- loss of wages per unit of product, rub;
- the unit cost of the 100 pairs of shoes, rub.

Among four following criteria the most significant is the productivity of work and the cost unit.

A worker’s productivity is a critical indicator of employment. The level and dynamics of the productivity depend to one degree or another, all the main indicators of the efficiency of production and all employment indicators: production, number of employees, the expenditure of wages, salaries, etc.

The cost includes the cost of production, and time capital investment, the compared with current cost to be achieved by multiplying them by the regulatory efficiency of capital investments. Calculations were made for optimal power range from 300 to 900 pairs for men’s and women’s shoes for the entire range of shoes. The analysis of characteristics for the three options given in the technological process of manufacturing the entire assortment of footwear has confirmed the effectiveness of the software product for evaluating the proposed innovative technological process using a generic and multifunctional equipment. So when the range of 300–900 pairs the best criteria is the volume of 889 pairs (for male) and 847 pairs (for female). If proposed by the regional and municipal authorities of two districts of the SOUTHERN FEDERAL DIS-

TRICT and the NORTH industrial area using the standard indicators would realize the calculated levels of production, then we select the optimum capacity option that is acceptable, for example for the output of 556 pairs corresponding to normative indicators for the proposed production area and is characterized by the best values of designated criteria forming the total cost range of shoes. The authors developed the combined technological processes on both the side of the work-piece top and shoe Assembly, respectively for 12 models of men’s and 12 women’s shoe models. This is due to the fact that in a competition of geo-economic regions are competing for investment, people, political influence, external relations, property, trade and financial flows. To make centers for plant management, commodity and financial flows and flows of investing outside of the boundaries of «Administrative» regions proved a new regionalization of Russia, now no longer in the administrative and cultural and economic fundamentals. Regional policy ceases to be only compensating objective territorial imbalances. It is increasingly becoming oriented to the development of promising domestic production, starting new activities, creating modern infrastructures, a change of the territorial structure of the economy and settlement systems. And with this need to be considered.

References:

1. Prokhorov V., Romanov L. a., L.b. Tomilina, OsackaâN.v., MeleshkoE.n., TikhonovNvOn the impact of the efficiency of the core enterprises, located in the SOUTHERN regions and the NORTH, shaping their social well-being, part 1. Bulletin of the Kazan University. 2013. — v. 16. — No. 15. — P. 173–178.
2. ProkhorovV., Romanovl.a., L.b. Tomilina, Osackaâ n.v., Meleshkoe.n., TikhonovN.v. On the impact of the efficiency of the core enterprises, located in the SOUTHERN regions and the NORTH, on the formation of the social well-being of 2. Bulletin of the Kazan University by 2013. — TN 16. — No. 22. — P. 405–409.
3. Restructuring-as one of the most efficient forms of enterprise competitiveness in markets with volatile demand: monograph/N. Balanduk [et al.]; under Gen. Ed. Dr. Sci., Prof. V. Prokhorov. RUSSIAN STATE UNIVERSITY Of The South Was Growing Up. GOS. University of Economics and service. « — Mine: RUSSIAN SEI HPE «YURGUES SHAKHTY «, 2012. — 347 с.
4. Synergetics of competitive range of domestic footwear: monograph/V.t. Prokhorov [et al.]; under Gen. Ed. Dr. Sci., Prof. V. Prokhorov; ISOiP (branch) DSTU. Mine is: ISOiP (branch) DSTU, 2013. — 194 with.

## Определение давления хлопкового покрова на металлическую сетчатую поверхность сепаратора

Камолов Нажмиддин Зайниддинович, профессор;  
Орипов Зайниддин Баходирович, магистрант;  
Гойибов Обид Хайруллаевич, магистрант;  
Хамраева Матлуба Фармоновна, магистрант;  
Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

Одной из актуальных проблем хлопкоперерабатывающего предприятия по первичной обработке хлопковой массы является выпуск высококачественного волокна и семян, отвечающих требованиям мирового стандарта.

Известно, что переработка хлопка-сырца осуществляется строго установленным технологическим регламентом, начальным звеном которого является сепарация хлопковой массы от транспортируемого воздуха. При подаче к технологическим процессам хлопок-сырец в своем

составе имеет тяжелые и органические сорные примеси (мелкие камни, песок, посторонние растительные элементы и т.д.), которые в процессе транспортировки и сепарации удаляются из хлопковой массы частично. (1) В процессе перемещения хлопковой массы в пневмотрубопроводе с помощью аэродинамического усилия происходит его разделение на комки и доли. При сепарации происходит частичная ее очистка (Рис.1).

Условия перемещения хлопковой массы по пневмотранспорту таково: (Рис.2.).

$$P_{x.m} > G_{x.m} + G_{c.n} + P_{i.x.m} + F_{tr} \tag{1}$$

Где:  $G_{x.m}$  - вес хлопковой массы, Н

$G_{c.n}$  - вес сорных примесей в составе хлопка, Н

$P_{i.x.m}$  - сила инерции хлопковой массы, Н

$F_{tr}$  - сила трения хлопковой массы о поверхность трубопровода  $\mu=0,6-0,84$

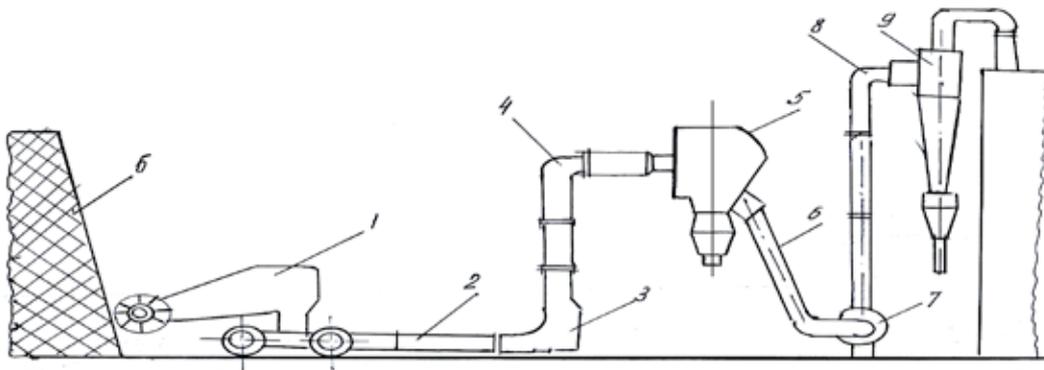


Рис. 1. Общий вид пневмотранспортного устройства 6 Б-Бунт хлопка; 1 — бунтразборщик; 2 — горизонтальный рабочий трубопровод; 3 — камнеуловитель; 4 — вертикальный трубопровод; 5 — сепаратор; 6 — всасывающий трубопровод; 7 — центробежный вентилятор; 8-воздушный трубопровод; 9 — циклон (устройства для очистки воздуха)

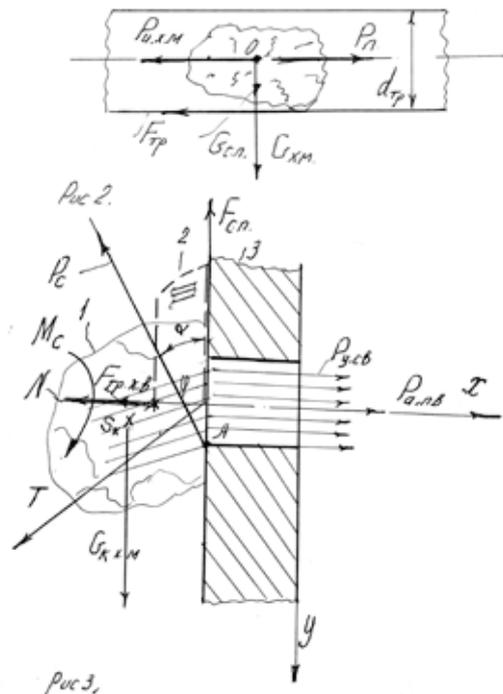


Рис. 2. Условия перемещения хлопковой массы по трубопроводу пневмотранспорта

Масса хлопка, движущегося по трубопроводу, при поступлении в камеру сепаратора СС-15А разделяется на три части: правую и левую части сетчатой поверхности, основная масса прямым потоком ударяется о заднюю стенку и через вакуум-клапан поступает в сушильный агрегат. Весовая равенства хлопковой массы имеет следующий вид:

$$G_{\text{общ}} = G_{\text{п.с.п.}} + G_{\text{л.с.п.}} + G_{\text{о.м.}} + G_{\text{с.п.}} \quad (2)$$

Где:  $G_{\text{общ}}$  — общий вес перемещаемой хлопковой массы по пневмотрубопроводу, Н;

$G_{\text{п.с.п.}}$  — вес хлопков, поступающий в правую сетчатую поверхность, Н;

$G_{\text{л.с.п.}}$  — вес хлопков, поступающий в левую сетчатую поверхность, Н;

$G_{\text{о.м.}}$  — основная масса хлопков, поступающая в вакуум-клапан, Н;

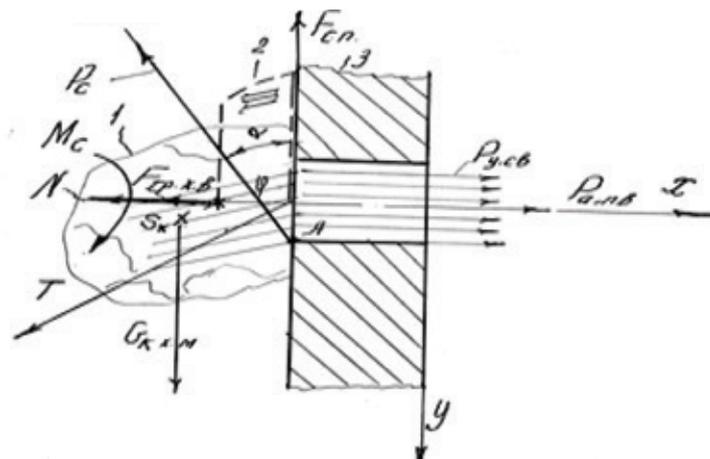


Рис. 3. Схема сил, действующих на комки хлопковой массы и сетчатую поверхность сепаратора: 1 — комки хлопковой массы; 2 — скребок; 3 — сетчатая поверхность

Хлопковая масса, поступающая в камеру сепаратора, ударяется о сетчатую поверхность, формирует хлопковый покров с определенным давлением и притягивается потоком воздуха через отверстия. Между покровом и сетчатой поверхностью возникает сила трения, которая приводит семена и частичное волокно к отделению путем срабатывания системы «Скребок» — сетчатой поверхности в точке А. В момент удара скребка о хлопковый покров происходит прижатие пучка волокон в периметре отверстия с кромкой скребка. В результате этого волокна разрезаются и уходят вместе с воздухом в пыльную камеру. Потери волокна (2) составляют 0,0206–0,0302% от общей массы, т.е. при 3,86–3,96 кг/час волокна. В процессе сепарации на комки хлопков действуют следующие моменты удара скребка:

$$G_k + P_{скр} + F_{трв} + N + P_{спк} + T_o + P_a + P_{у.св} + F_{трпк} = 0 \quad (3)$$

Отсюда условия съема хлопкового покрова будут таковы:

$$P_{съем} > G_k + P_{скр} + F_{трв} + N_{спк} + T_o + P_a + P_{у.св} + F_{трпк} \quad (4)$$

Где:  $G_k$  — вес комка  $P_c$  — сила удара скребка,  $F_{трв}$  — трение пучка волокон о внутреннюю поверхность  $\mu = 0,8$

Литература:

$N_{спк}$  — сила давления покрова на сетчатую поверхность  
 $T_o$  — сила натяжения в момент удара, происходящего в комке хлопков

$P_a$  — аэродинамическое усилие, создаваемое центробежным вентилятором

$P_{у.св}$  — упругая сила срезаемых волокон

$F_{трпк}$  — сила трения комка о сетчатую поверхность сепаратора

Расчеты показали, что потери волокна по одному хлопкоперерабатывающему проекту за год составят 212–240 тонн волокна.

Выводы:

1. Многоступенчатые расходы в борьбе с пневмоцистами приводят к механическому повреждению хлопковых семян и увеличению энергоемкости до 10%

2. Превышение нормы влажности хлопкового покрова ведет к забою сетчатой поверхности сепаратора и снижению производительности до 18%

3. Возникновение срезанных волокон, уходящих в сорные примеси, является несовершенством конструкции СС-15А, что требует неотлагательной его модернизации.

1. Г.И. Мирошниченко «Основы проектирования машин первичной обработки хлопка» М.: Машиностроение, 1972 г, 486 с.
2. Х.К. Рахмонов. Разработка рациональной технологии распределения хлопка-сырца при его складировании. Автореферат. Ташкент. 1996 г.
3. Р.Л. Зенков и др. Машины непрерывного транспорта. М.1982 г.

## Повышение экологических требований к технологии разделки судов на лом

Кириченко Андрей Сергеевич, научный сотрудник;  
Серегин Александр Николаевич, кандидат технических наук, доцент  
Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии имени И. П. Бардина (г. Москва)

Чимшир Валентин Иванович, кандидат технических наук, доцент;  
Бабаян Петр Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент  
Одесская национальная морская академия (Украина)

*Рассмотрены экологические требования при заготовке судового лома, прогрессивные технологии механической резки корпуса и используемое оборудование.*

**Ключевые слова:** утилизация судов, заготовка лома, прогрессивные технологии.

Мировое сообщество все большее внимание уделяет разработке неотложных мер и международного законодательства относительно утилизации судов, выведенных из эксплуатации, снижению экологического ущерба от судоходства. Число морских судов в мире постоянно растет, соответственно возрастет опасность загрязнения окружающей среды [1]. По прогнозам, количество гражданских судов мирового флота (вместимостью более 500 рег. тонн), отправляемых на металлолом, к 2020 году возрастет до 3000 в год.

В странах СНГ в 1995–2007 годах происходил массовый вывод из эксплуатации устаревшего оборудования и мощностей предприятий, еще советских лет постройки, что позволило России войти в число ведущих мировых экспортеров лома [2, 3]. В последние годы имеет место негативная тенденция снижения объемов ломозаготовки и экспорта лома [4]. Что представляет угрозу сырьевой безопасности обеспечения работы черной металлургии [5]. В 2013 году валовой объем заготовки товарного лома в СНГ снизился на 7% — до 32,1 млн. т, а экспорт за пределы СНГ упал на 8% — до 4,9–5 млн. т. [6].

Большой потенциал роста годовых объемов ломосбора заключен в развитии технологии утилизации судов на лом. Берега рек и озер, морское побережье в отдаленных районах захламливаются брошенными собственниками флотом, который лишь ухудшает экологию окружающей среды, ценные металлы безвозвратно уходят в ржавчину.

11–15 мая 2009 г. в Гонконге прошла Дипломатическая конференция Международной морской организации (ИМО), на которой была принята Гонконгская международная конвенция по безопасной и экологически рациональной утилизации судов. В работе Конференции приняли участие представители 63 государств. [7].

Положения Конвенции распространяются на гражданские суда мирового флота вместимостью более 500 рег. тонн, совершающие международные рейсы. Конвенция не распространяется на морские, речные суда, эксплуатируемые исключительно во внутренних водах страны, а также на военный флот. Согласно Конвенции гражданские морские суда, под флагом стран, подписавшим конвенцию, можно будет разделять на лом только в странах, которые

подписали эту Конвенцию. Положения конвенции предусматривают выдачу судну свидетельства, подтверждающего наличие Перечня опасных материалов, используемых при строительстве или ремонте судна, проведение инспекций и выдачу свидетельства о готовности судна к утилизации. Судовладелец перед утилизацией обязан будет уведомить государство флага о своем намерении выбрать предприятие, которое может это сделать экологически безопасно. [8].

В действие Конвенцию предполагается ввести после того, как ее подпишут не менее 15 государств, обладающих не менее 40% мирового регистрового тоннажа, после чего под ее действие попадут примерно 50 000 предприятий. Ряд государств удобного флага, в которых зарегистрирована весомая часть мирового флота, затягивают свое присоединение к Конвенции, ибо их общей политикой является минимизация текущих эксплуатационных расходов судовладельца и отсутствие регламентаций в части техники безопасности, организации и охраны труда экипажа и прочее. Все эти вопросы в таких странах отдаются на полное усмотрение судовладельца.

Ввиду этого в настоящее время ЕС разработал законопроект, по которому разделка судов, работающих под флагом стран ЕС или регулярно заходящих в порты ЕС, будет производиться только на утвержденных предприятиях, реализующих экологические технологии судоразделки, а не в развивающихся странах (не присоединившихся к Конвенции). Судовладельцам, которые не обеспечат выполнение законодательства ЕС, будет закрыт вход в территориальные воды морских портов стран ЕС, включая порты на Дунае, середина реки которой также является международными водами.

На страны ЕС приходится более половины совокупной внешней торговли государств СНГ. Ввиду этого, Россия и Украина, как республики, обладающие наибольшим торговым флотом в СНГ, начали подготовку к реализации положений Конвенции и принятых Международной морской организацией при ООН (ИМО) «Рекомендаций для разработки плана по утилизации судна (Резолюция МЕРС. 196 (62))».

В соответствии с Гонконгской международной конвенцией по безопасной и экологически рациональной утилизацией судов, каждое государство, подписавшее Кон-

венцию, обязано аттестовать на предмет соответствия экологическим требованиям ряд своих предприятий по утилизации флота и представить данный список в ИМО.

Для судовладельцев и пароходств СНГ, суда которых регулярно работают на морские порты ЕС и порты на Дунае, ситуация усугубляется тем, что в ЕС рассматривается ответственность и полнота выполнения экологических требований компании-судовладельца в целом. То есть, при не выполнении положений Конвенции в части утилизации ряда судов (регистрация вместимости 500 рег. тонн и выше) хотя бы периодически работающих на международных линиях, санкции ЕС могут быть применены в отношении всего флота данного судовладельца (пароходства). Решения ЕС в части судоразделки осуществляются в рамках экологических мероприятий, направленных на реализацию Концепции устойчивого развития [9].

Соответственно, в настоящее время возникла ситуация, когда в России и на Украине необходимо иметь хотя бы ряд предприятий судоразделки, должным образом аттестованных по положениям Конвенции, в которых реализованы прогрессивные экологичные технологии разделки судов. Именно технологии являются генеральным направлением роста ломосбора и увеличения степени рециклинга металлов [10,11].

При судоразделке наиболее острым моментом является наличие на предприятии альтернативных технологий не огневой резки корпуса. Огневая резка металла при утилизации судов остается пока основным технологическим приемом разделки корпуса. [12]. При ломозаготовке огневая резка во всех случаях наносит определенный вред окружающей среде в результате попадания в атмосферу газов от горения краски, содержащей, как правило, тяжелые металлы, хлор и другие ядовитые вещества, различные летучие органические соединения. Кроме того, процессы горения приводят к выделениям углекислого газа и «точечным» тепловым выбросам, способствующим парниковому эффекту и изменению климата. Ущерб окружающей среде (при резке на открытом воздухе) пропорционален толщине реза, ширине полосы, в пределах которой происходит обугливание краски, и суммарным энергетическим затратам на 1 погонный метр реза. Чем меньше эти параметры, тем более совершенна технология.

Отметим, что сама Конвенция в принципе не запрещает огневые методы резки корпуса. Она лишь возлагает ответственность за утилизацию судна после окончания его эксплуатации за компанией-судовладельцем, проведение утилизации, с уведомлением ИМО, на аттестованном предприятии, технология работ на котором учитывает современные экологические требования и одобрена соответствующими правительственными органами страны-утилизации.

Прогрессивной альтернативной технологией является механическая резка. Выполненные за рубежом сравнительные исследования и практика работы передовых предприятий показывает, что с позиции энергетики механическая резка превосходит огневую при судоразделке,

утилизации прочих средств транспорта, демонтаже металлоконструкций (крыш цехов, опор ЛЭП, дымовых труб и прочее) [13, 14]. Это обусловлено высокой теплопроводностью металла, из-за чего зона температурного нагрева значительно превышает толщину реза (в котором металл нагревается до температуры плавления) и большая часть энергии рассеивается не продуктивно.

Механическая резка значительно пожаробезопаснее огневой, особенно при разделке танков или емкостей, в которых ранее хранилось топливо, или конструкций, противоположная часть поверхности которых покрыта слоем изоляции [15]. Да и при резке обычных утилизируемых металлоконструкций, обе стороны которых покрыты многократными слоями краски вероятность пожара существенно ниже. Существуют и другие доводы. К примеру, в соответствии с Резолюцией МЕРС. 196 (62)) танкера должны поступать в судоразделку в состоянии, при котором судно готово к свидетельству «Безопасности для входа» (Safe-for-entry), или «Безопасности при огневых работах» (Safe-for-hot work), или к тому и другому. Если речь идет не о танкере, планомерно поступающем на завод на утилизацию после своего последнего рейса, а к примеру, полузатопленному судну, бывшему в отстое уже много лет, получить свидетельство «Безопасности при огневых работах» весьма сложно, необходимы дополнительные работы и затраты.

Качественный прорыв в применении механической резки в судоразделке наступил в последние годы, с появлением серийных гибридных экскаваторов-разрушителей, в которых осуществляется рекуперация или же аккумуляция энергии в процессе работы, что при сохранении производительности механизма снижает часовой расход топлива на 30–50%, мощность привода и массу машины. Из-за улучшения экономических показателей эта технология при демонтаже металлоконструкций имеет все расширяющуюся сферу применения, вытесняя огневую резку.

Необходимо отметить также универсальность этих машин, благодаря внедрению комплекта быстросъемного навесного оборудования. При отсутствии работы по основному назначению — судоразделке, машина может сдаваться в аренду как строительный экскаватор с землеройным ковшом, работать в режиме крана на перегрузочных работах насыпных грузов или металлолома, работать с гидромолотом. Эти качества оказались весьма полезными в российских портах и предприятиях, в которых по погодным условиям сезонность носит ярко выраженный характер. Широко используется конструкция с подъемом кабины оператора (при помощи гидроцилиндра), что позволяет приблизить кабину к зоне работ. Для разделки высокооборотных судов или же высоких надстроек на мировом рынке предлагаются тяжелые гусеничные модели техники с видеокамерой на конце стрелы и передачей изображения на дисплей в кабину, что дает возможность видеть рабочую зону и ночью, а также изменять масштаб изображения.

На Рис. 1 показана работа экскаватора-разрушителя на новой базе по разделке судов в поселке Белокаменка под Мурманском. Используемый гусеничный экскаватор-разрушитель фирмы Hitachi оснащен гидравлическими ножницами La Bounty 4500 R собственной массой около 10 тонн. Ножницы по усилию сжатия способны перекусывать практически любые судовые конструкции.

Они закреплены на полноповоротной головке с гидроприводом. Что позволяет оператору оптимально их разворачивать по отношению к разрезаемой конструкции. Экскаватор отхватывает от судна куски нужного размера, зажимает их и стрелой опускает вниз. Ножницы способны

производительно разрывать металл и ниже действующей ватерлинии, что важно при работе с понтона при разделке полузатопленных объектов. (Рис. 2). Максимальные размеры кусков определяются заданием и габаритами кузова транспорта, на котором потом выполняется отгрузка продукции.

В паре с основным механизмом часто работает колесный экскаватор меньшей производительности. Как правило, он оснащается неповоротными механическими ножницами, с приводом от штатного гидроцилиндра на стреле машины.

При необходимости вспомогательный экскаватор может заменить ножницы на строительный ковш или



Рис. 1. Разделка корпуса в Белокаменке (Мурманская обл.)



Рис. 2. Полноповоротные гидравлические ножницы по металлу



Рис. 3. Погрузка лома в полувагон колесным экскаватором (с подъемной кабиной)

же грейфер для погрузки лома (Рис. 3). Замена оборудования осуществляется самим оператором и довольно быстро, без расстыковки системы гидравлики. В прогрессивных моделях оператор даже не выходит из кабины. В других моделях он только вынимает контрольную чеку, фиксирующую сменное навесное оборудование на стреле. Колесные экскаваторы обладают максимальной универсальностью, однако для движения по дороге к новому месту работы их колесная нагрузка на ось ограничена. Поэтому собственная масса колесных машин не превышает 28–30 тонн. Тяжелые же гусеничные машины способны работать со стрелой большого вылета и демонтировать конструкции в верхних ярусах надстроек судна.

В связи с переходом на электрометаллургическое производство возросли требования к размеру кусков металлолома [16,17]. Для дальнейшего измельчения лома до требуемых параметров используются мобильные пресс-ножницы, которые по мере надобности перемещаются автотягачом с одной ломозаготовительной площадки на другую, ввиду их высокой производительности. Рабочая камера пресс-ножниц сминает металлокон-

струкции и гильотиной разрубает на куски нужного размера [18].

Для вывоза лома в зарубежной практике все шире используются крупнотоннажные контейнеры [19, 20]. Установка контейнеров с ломом на железнодорожную платформу дверьми друг к другу обеспечивает более высокую сохранность доставки груза, так как из-за большой массы контейнера доступ к грузу крайне затруднен [21]. При традиционной перевозке лома в полувагонах имеют место хищения части груза на перегонах путем противоправного сбрасывания лома при движении состава. Ввиду этого все больше республик СНГ запрещают транзит лома по своим железным дорогам в открытом подвижном составе. Из-за высокой доли транспортных расходов в товарном ломе, логистика перевозок до потребителя имеет важное значение для конечных экономических результатов всей операции по судоразделке [22].

В целом для своевременной подготовки к реализации положений Гонконгской международной конвенции по безопасной и экологически рациональной утилизации судов 2009 года необходимо шире внедрять прогрессивные экологичные технологии судоразделки.

#### Литература:

1. Копылов, М. Н., Солнцев А. М. Утилизация морских судов — угроза международной экологической безопасности // Евразийский юридический журнал. 2010. № 10 (29). с. 106–114.
2. Кириченко, И. С. Экспорт лома в I полугодии // Вторичные металлы. 2012. № 5. с. 38–39.
3. Кириченко, С. А., Кириченко А. С. Упущенные возможности при морском экспорте лома // Вторичные металлы. 2009. № 6. с. 21.
4. Кириченко, И. С. Экспорт лома черных металлов в 2012 г. // Вторичные металлы. 2013. № 2. с. 37–41.
5. Чижиков, А. Г., Черноусов П. И., Чижикова И. И. Сырьевая безопасность предприятий черной металлургии РФ // Вторичные металлы. 2010. № 5. с. 32.

6. Сипаро, К. А., Ермолов В. М., Кириченко И. С. Экспорт лома черных металлов. Перевалка лома через российские порты // Вторичные металлы. 2014. № 3. с. 36.
7. Тогуняц, А. Р., Воробьев С. А. Деятельность Международной морской организации по разработке Конвенции по безопасной и экологически рациональной утилизации судов // Морской вестник. 2008. № 1. с. 82–83.
8. Бекашев, К. А. Суда рыбопромыслового флота будут утилизированы принудительно // Рыбное хозяйство. 2008. № 6. с. 33–36.
9. Гагарский, Э. А., Кириченко И. С. Концепция устойчивого развития и новые подходы в сфере рециклинга металлов и техногенного сырья // Вторичные металлы. 2013. № 3. с. 34.
10. Серегин, А. Н., Ермолов В. М., Степанян А. С., Арсентьев В. А. Технологии и оборудование для утилизации металлосодержащих отходов // Вторичные металлы. 2009. № 5. с. 48.
11. Серегин, А. Н., Ермолов В. М., Степанян А. С., Арсентьев В. А. Технологии и комплексы оборудования для переработки металлосодержащих отходов с выделением товарной металлопродукции // Проблемы черной металлургии и материаловедения. 2010. № 1. с. 35–40.
12. Кириченко, С. А. Индия: центр судоразделки // Рынок вторичных металлов. 2006. № 2. с. 33–34.
13. Серегин, А. Н., Кириченко А. С. Авторециклинг в московском регионе // Вторичные металлы. 2013. № 5. с. 41.
14. Кириченко, С. А., Кириченко И. С. Утилизация локомотивов. Проблемы и зарубежный опыт // Вторичные металлы. 2012. № 6. с. 44.
15. Бобина, М. А., Ермолов В. М. Экологичность — основа современных технологий авторециклинга // Молодой учёный. 2014. № 11. с. 40–44.
16. Супрун, В. Н., Семин А. Е. Плавление лома и предъявляемые к нему требования // Рынок вторичных металлов. 2007. № 2. с. 24.
17. Уточкин, Ю. И., Семин А. Е. Электросталеплавильное производство в России должно преодолеть тридцатилетнее отставание // Электрометаллургия. 2004. № 6. с. 2.
18. Семин, А. Е., Смирнов Н. А. От лома до качественной стали // Электрометаллургия. 2008. № 5. с. 44–46.
19. Кириченко, С. А., Кириченко А. С. Антикризисная контейнеризация // Вторичные металлы. 2009. № 3. с. 70.
20. Гагарский, Э. А., Кириченко С. А., Полянцев Ю. Д., Дугин Г. С. Транспортно-технологические системы на основе укрупненных грузовых единиц — главный фактор энергоэффективного инновационного развития транспорта // Интегрированная логистика. 2013. № 6. с. 33–37.
21. Гагарский, Э. А., Кириченко С. А., Кириченко А. С. Развитие перевозок насыпных и навалочных грузов в универсальных контейнерах // Бюллетень транспортной информации. 2010. № 4. с. 14–18.
22. Кириченко, С. А., Полянцев Ю. Д., Цыганкова В. И. Роль логистики в эффективности экспорта лома металлов // Интегрированная логистика. 2015. № 1. с. 13–18.

## Развитие и области применения сегнетоэлектрических материалов. От прошлого к будущему

Клименков Борис Давидович, студент

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

Данная статья является частью научно-исследовательской работы, выполненной по плану обучения в магистратуре СПбГЭТУ «ЛЭТИ» в рамках дисциплины «История и методология электроники». В ходе работы над докладом и рефератом по этой дисциплине, были исследованы вопросы истории развития сегнетоэлектричества и областей применения сегнетоэлектрических приборов, обобщенные в данной статье. Использовались материалы литературных источников, включая результаты полученные в СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Сегнетоэлектрики (СЭ) — вещества, кристаллическая структура которых допускает существование в некотором диапазоне температур и давлений спонтанной

электрической поляризации (отличного от нуля результирующего дипольного момента единицы объема образца), модуль и пространственная ориентация которых могут быть изменены под действием внешнего электрического поля [1]. Термин СЭ происходит от сегнетовой соли, полученной в 1672 году французским аптекарем Пьером де ла Сегнетом.

В 1880 году Пьер и Жак Кюри заметили, что при деформации пластинок некоторых кристаллов, вырезанных под определенными углами, на их поверхности появляются электрические заряды. Это явление было названо пьезоэлектричеством. Впервые пьезоэффект стали использовать в годы первой мировой войны — французский

физик П. Ланжевен предложил способ обнаружения подводных лодок. Так как винт подводной лодки при своем вращении порождает упругую волну, и если на пути этой волны опустить пьезокристалл, то под ее воздействием он станет периодически сжиматься и на его гранях появится электрический заряд. И. В. Курчатов и П. П. Кобеко исследовали зависимость диэлектрических свойств сегнетовой соли от температуры и давления.

Б. М. Вул, работая над улучшением диэлектриков для конденсаторов, открыл новое вещество — титанат бария. Титанат бария сохраняет поляризацию до 120 градусов, его можно было получать в виде керамики, спекая исходные материалы. Вскоре после открытия титаната бария В. Л. Гинзбург создал феноменологическую теорию сегнетоэлектричества, которая до сих пор лежит в основе всех термодинамических описаний СЭ [2].

Ф. Андерсон разработал микроскопическую модель СЭ. Согласно этой теории, в таких кристаллах ионы колеблются с частотой, заметно меньшей, чем в обычном твердом теле (лучше говорить о частоте волн и фононах, соответствующий тип колебаний называется мягкой модой).

До конца 1990х гг. считалось, что сегнетоэлектричество должно исчезать ниже критического размера порядка 10 нм. С тех пор появилась новая точка зрения, заключающаяся в том, что подавление сегнетоэлектричества вызывается внешними факторами, связанными с электрическими и механическими граничными условиями, а не собственным размерным эффектом, связанным с кооперативной природой сегнетоэлектрической неустойчивости. К такому пересмотру взглядов привела работа Ч. Ана и Т. Тайбелла [3], в которой было показано, что пленки цирконата-титаната свинца (ЦТС) сохраняют переключаемую поляризацию перпендикулярную пленке до толщин в несколько нанометров.

В таблице 1. приведены основные этапы развития физики СЭ.

В настоящее время в технологии широко применяются тонкие сегнетоэлектрические пленки материалов [4]. Они сохраняют свойства, характерные для объемных материалов. Очевидно, что физические свойства пленки существенно зависят от состояния ее поверхности, стехиометрии, кристалличности, плотности, микроструктуры и кристаллографической ориентации, то есть, в свою очередь, от методов получения пленки. Проблема усложняется также необходимостью высокотемпературного нагрева (~600–800°C) для кристаллизации пленок, при наличии в их составе химически активных и летучих компонентов (например, свинца). Для различных применений СЭ пленок наиболее часто используются следующие методы: магнетронное напыление, лазерная абляция, химическое осаждение из газовой фазы металлоорганических соединений, золь-гель процесс [5–8].

Широкое использование СЭ в микроэлектронике обусловлено их уникальными физическими свойствами [9]. Так, переключение вектора спонтанной поляризации внешним электрическим полем используется для создания энергонезависимых ЗУ; высокая диэлектрическая проницаемость — для конденсаторных элементов запоминающих устройств с произвольной выборкой, СВЧ интегральных микросхем, а в перспективе и подзатворных диэлектриков ИМС; пьезоэлектрическая активность — для создания неохлаждаемых матричных приемников ИК-излучения; электромеханические свойства СЭ служат основой нового направления — сегнетоэлектрических микроэлектромеханических систем. Свойство сегнетоэлектрических материалов изменять величину диэлектрической проницаемости под действием электрического поля в 1,5...3 раза используется для создания электронно-переключаемых устройств СВЧ — диапазона. Нелинейные оптические свойства СЭ, такие как: электрооптический эффект (изменение показателя преломления под действием электрического поля), генерация второй и третьей гармоник, оптическое детектирование (появление стати-

Таблица 1. Некоторые этапы развития физики сегнетоэлектричества, определившие их техническую реализацию в виде интегрированных сегнетоэлектрических устройств

Год	Историческая личность	Событие
1880	Пьер и Жак Кюри	Обнаружение пьезоэлектричества
1917	Поль Ланжевен	Создание ультразвукового эхолотатора для обнаружения подводных объектов
1920	Иозев Валашек	Открытие сегнетоэлектрических свойств у сегнетовой соли (тетрагидрат тартрата калия-натрия, $\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ )
1933	Игорь В. Курчатов	Монография посвященная тщательному изучению поведения сегнетовой соли
1944	Бенцион М. Вул	Открытие сегнетоэлектрических свойств титаната бария
1947	Виталий Л. Гинзбург	Феноменологическая теория сегнетоэлектричества
1960	Филип Андерсон, Вильям Кокрен	Концепция «мягкой» моды (построение теории в рамках динамической кристаллической решетки)
1999	Чарльз Ан, Томас Тайбелл	Подавление сегнетоэлектричества связано с электрическими и механическими граничными условиями

ческой поляризации диэлектрика под действием электрического поля лазерного луча), эффект образования суммарных и разностных частот, фоторефрактивный эффект (локальное изменение показателя преломления при облучении интенсивным светом), и т.п. — все эти эффекты

интересны для создания устройств оптической обработки и записи информации [10].

В таблице 2 представлены основные направления использования активных диэлектриков в устройствах электроники.

Таблица 2. Применения сегнетоэлектрических пленок

Вид использования	Необходимые свойства	Химический состав	Толщина, мкм
Энергонезависимая память	Высокая остаточная поляризация, низкое коэрцитивное поле, большое число циклов переключения	$Pb (Zr, Ti) O_3$ $(PbLa) TiO_3$ $Bi Ti_4 O_{3,12}$	0,1–0,3
Динамическая память с произвольной выборкой	Высокая диэлектрическая проницаемость, высокое пробивное напряжение	$(BaSr) TiO_3$ $Pb (Zr, Ti) O_3$ $(PbLa) TiO_3$	0,2–0,5
Конденсаторы	Высокая диэлектрическая проницаемость, низкие диэлектрические потери, термостабильность	$(BaSr) TiO_3$ $(PbLa) (ZrTi) O_3$ $Pb (MgNb) O_3$	0,1–0,5
Вид использования	Необходимые свойства	Химический состав	Толщина, мкм
Поверхностные акустические волны	Пьезоэлектричество	$(PbLa) (ZrTi) O_3$ $LiNbO_3$	2–10
Микроактюаторы	То же	$(PbLa) (ZrTi) O_3$ $Pb (MgNb) O_3$	1–10
Приемники ИК-излучений	Пироэлектричество, низкая диэлектрическая проницаемость	$(PbLa) (ZrTi) O_3$ $K (TaNb) O_3$	1–5
Оптический процессор	Пироэлектричество, высокая диэлектрическая проницаемость	$(PbLa) (ZrTi) O_3$ $SrBi_2 Ta_2 O_9$	
Световоды, линии задержки	Электрооптические явления	$(LiK) NbO_3$ $(PbLa) (ZrTi) O_3$ $(SrBa) Nb_2 O_5$	0,2–5,0

В настоящее время в СПбГЭТУ «ЛЭТИ» ведутся активные исследования по методам получения, теоретического описания, практического применения сегнетоэлектрических материалов, например:

– Для СВЧ-систем телекоммуникации и локации [11,12]. По ряду параметров разрабатываемые устройства являются конкурентоспособными по сравнению с традиционными устройствами на основе полупроводниковых и ферритовых материалов. Использование сегнетоэлектрических тонких пленок позволяет улучшить такие характеристики приборов, как быстродействие, рабочая мощность, снизить СВЧ-потери и мощность управления. Немаловажным фактором является простота конструкции и возможность использования интегральной технологии сегнетоэлектрических устройств.

– В работе [13] показана возможность использования тонкопленочных сегнетоэлектрических конденсаторных структур в качестве энергонезависимых датчиков излучения в видимом диапазоне спектра, а также продемонстрирован метод считывания информации из сегнетоэлектрической ячейки памяти по величине и направлению

фототока [14–16]. Условия образования гетерофазных сегнетоэлектрических пленок и структур на их основе, подходящих для данных применений, изучались в работах [17, 18].

– При конструировании преобразователей солнечной энергии. Полезная модель [19] описывает добавление в солнечный элемент дополнительного фотопреобразующего слоя из сегнетоэлектрического материала. Следствием введения дополнительного фотопреобразующего слоя является повышение эффективности преобразования солнечного излучения за счет повышения значений встроенных полей, связанных с увеличенными размерами кристаллитов и однородностью стехиометрического состава по толщине фотопреобразующих слоев. Таким образом, заявляемый солнечный элемент позволяет повысить эффективность преобразования солнечного излучения.

– Для определения качественного и количественного состава смесей газов. Изобретение предназначено для качественного и количественного определения состава смесей газов. В конструкцию датчика газового ана-

лиза включен дополнительный электрод с расположенной на нем СЭ пленкой. Изменение поляризации СЭ дает возможность варьирования чувствительности датчика [20].

Рассмотренные выше сферы применения СЭ показывают перспективные направления для их применений и исследований в различных областях науки и техники.

#### Литература:

1. Сигов, А.С. Сегнетоэлектрические тонкие пленки в микроэлектронике/ Соросовский образовательный журнал, № 10, 1996, с. 83–91.
2. Тушкевич, В. М. Физика: Проблемы. История. Люди: Сб. статей/ Сост.: В. М. Тушкевич, Ред. колл.: В. Я. Френкель (пред.) и др. — М.: Наука, 1986. — 132 с.
3. Tybell, T. Ferroelectricity in thin perovskite films / T. Tybell, C. H. Ahn, J. — M. Triscone — Appl. Phys. Lett. № 75, 856. 1999.
4. Воротилов, К.А. Интергированные сегнетоэлектрические устройства / К.А. Воротилов, В.М. Мухортов, А.С. Сигов — М.: Энергоатомиздат, 2011. — 174 с.
5. Максимов, А.И. Основы золь-гель технологии нанокompозитов/ А.И. Максимов, В.А. Мошников, Ю.М. Тариров, О.А. Шилова — СПб.: Элмор. 2008. — 255 с.
6. Наноматериалы и методы их исследования: Учеб. Пособие. / под ред. В.С. Гурова, В.П. Вихрова — Рязань: РГРТУ, 2010—256 с.
7. Мошников, В.А. Золь-гель технология микро- и нанокompозитов: Учеб. пособие/ В.А. Мошников, Ю.М. Тариров, Т.В. Хамова, О.А. Шилова. — СПб.: Лань, 2013. — 292 с.
8. Афанасьев, В.П., Мухин Н.В. Структура и свойства гетерофазных пленок цирконата-титаната свинца, осажденных методом высокочастотного магнетронного распыления. / В.П. Афанасьев, Н.В. Мухин // Вакуумная техника и технология. 2014. Т. 23. № 1. с. 133–134.
9. Рабе, К.М. Физика сегнетоэлектриков. Современный взгляд/ под ред. К.М. Рабе, Ч.Г. Ана, Ж.М. Трискона — М.: Бином. 2011. — 440 с.
10. Александрова, О.А. Физика и химия материалов оптоэлектроники и нанoeлектроники: Практикум. / О.А. Александрова, В.А. Мошников — СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2007. — 68 с.
11. Афанасьев, В.П. Технология, свойства и применение сегнетоэлектрических пленок и структур на их основе/ В.П. Афанасьев, Козырев А.Б. и др. — СПб.: Элмор. 2007. — 248 с.
12. Altynnikov, A. G. Suppression of slow capacitance relaxation phenomenon in Pt/Ba<sub>0.3</sub>Sr<sub>0.7</sub>TiO<sub>3</sub>/Pt thin film ferroelectric structures by annealing in oxygen atmosphere / A. G. Altynnikov, A. G. Gagarin, M. M. Gaidukov, et al. — Appl. Phys. Lett. № 104, 2014.
13. Афанасьев, В.П. Фотоэлектрические свойства гетерофазных наноструктурированных пленок на основе цирконата-титаната свинца / В.П. Афанасьев, П.В. Афанасьев, А.А. Петров, К.А. Федоров // Приложение к Вестнику РГРТУ № 4 (выпуск 30), 2009. — с. 87–92.
14. Федоров, К.А. Неразрушающее оптическое считывание информации в конденсаторной структуре сегнетоэлектрик-полупроводник / Федоров К.А., Мухин Н.В., Афанасьев В.П. // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. ч. 2. — М.: Энергоатомиздат, 2010. — с. 46–50.
15. Патент РФ на изобретение № 2338284 / Афанасьев П.В., Афанасьев В.П., Грехов И.В., Делимова Л.А., Крамар Г.П., Машовец Д.В., Петров А.А. Сегнетоэлектрический элемент для запоминающего устройства с оптическим считыванием информации. Оpubл. 10.11.2008. Классы МПК: G11C, H01G.
16. Федоров, К.А. Неразрушающее оптическое считывание информации в конденсаторной структуре сегнетоэлектрик-полупроводник / К.А. Федоров, Н.В. Мухин, В.П. Афанасьев // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. Ч. 2. М.: Энергоатомиздат, 2010. с. 46–50.
17. Мухин, Н.В. Модель диффузии собственных дефектов в пленках цирконата-титаната свинца при термообработке на воздухе / Физика и химия стекла. 2014. т. 40. № 2. с. 327–333.
18. Мухин, Н.В. Фазовый анализ процессов получения системы оксидов циркония, титана и свинца / Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. 2012. № 5. с. 88–96.
19. Полезная модель № 129708 / Афанасьев П.В., Афанасьев В.П., Солнечный элемент. Оpubл. 27.06.2013. Классы МПК: H01L31, B82B1.
20. Патент РФ на изобретение № 2413210/ Чигирев Д.А., Афанасьев В.П., Грачева И.Е., Афанасьев П.В., Мошников В.А. Датчик газового анализа и система газового анализа с его использованием. Оpubл. 27.02.2011. Класс МПК: G01N.

## Программное обеспечение для моделирования продольного распределения магнитного поля магнитных реверсивных фокусирующих систем в среде MATHCAD

Кожанова Евгения Романовна, кандидат технических наук;  
 Захаров Александр Александрович, доктор технических наук, профессор;  
 Ткаченко Ирина Михайловна, кандидат технических наук  
 Саратовский государственный технический университет имени Ю. А. Гагарина

Известно, что для обеспечения фокусировки электронного потока в лампах бегущей волны (ЛБВ) применяются магнитные периодические фокусирующие системы (МПФС) различных видов [1]:

- 1) моногармонические МПФС (рис. 1а);
- 2) полигармонические МПФС (рис. 1б);
- 3) реверсивные МРФС (рис. 1в).

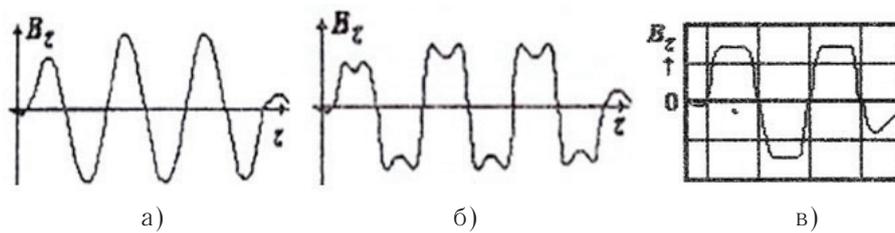


Рис. 1. Продольное распределение магнитного поля в магнитных периодических фокусирующих системах (МПФС)

Моделирование вышеперечисленных видов МПФС разделено два основных этапа (рис. 2) [1–4]:

- моделирование продольного распределения магнитного поля ячейки МПФС (отдельного магнита);
- моделирование продольного распределения магнитного поля МПФС, которое реализуется с использованием реального механизма формирования распределения [5].



Рис. 2. Два этапа моделирования продольного распределения магнитного поля всех видов МПФС

В статье [2] рассмотрена программа для моделирования продольного распределения магнитного поля МРФС в среде MATHCAD. Для построения математической модели продольного распределения магнитного поля ячейки МРФС принята графическая модель (рис. 3), которая представляет собой кусочно-линейную функцию, определяемую точками А — Н, и рассматривается как модернизированная вейвлет-функция «Французская шляпа».

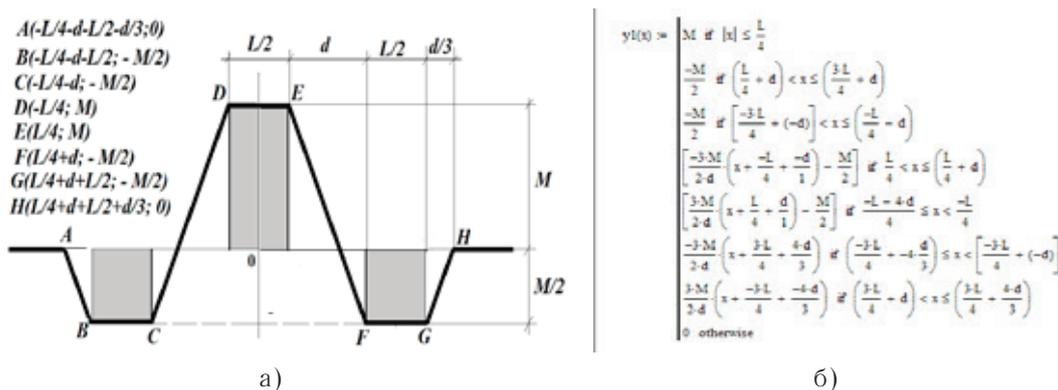


Рис. 3. Графическая модель (а) и математическая модель продольного распределения магнитного поля ячейки МРФС [4]

Известно, что продольное распределение магнитного поля МРФС представляет собой совокупность чередующихся продольных распределений магнитных полей составляющих ее ячеек (магнитов), разнесенных по вертикальной оси на расстояние друг от друга, равное периоду МРФС [4]. Используя реальный механизм формирования МПФС [5] с периодом равным  $(L/2+d)$  для математических моделей магнитов (рис. 3б) и обратной ей функции получим продольное распределение магнитного поля МРФС, состоящее из 6 магнитов (рис. 4).

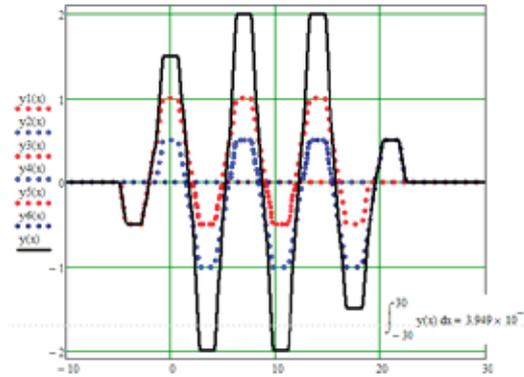


Рис. 4. Продольное распределение магнитного поля МРФС (сплошная линия), состоящее из 6 чередующихся магнитов при  $M=1, L=2, d=3$

Для моделирования создана программа расчета продольного распределения магнитного поля МРФС в среде Mathcad [2], листинг которой приведен на рис. 5.

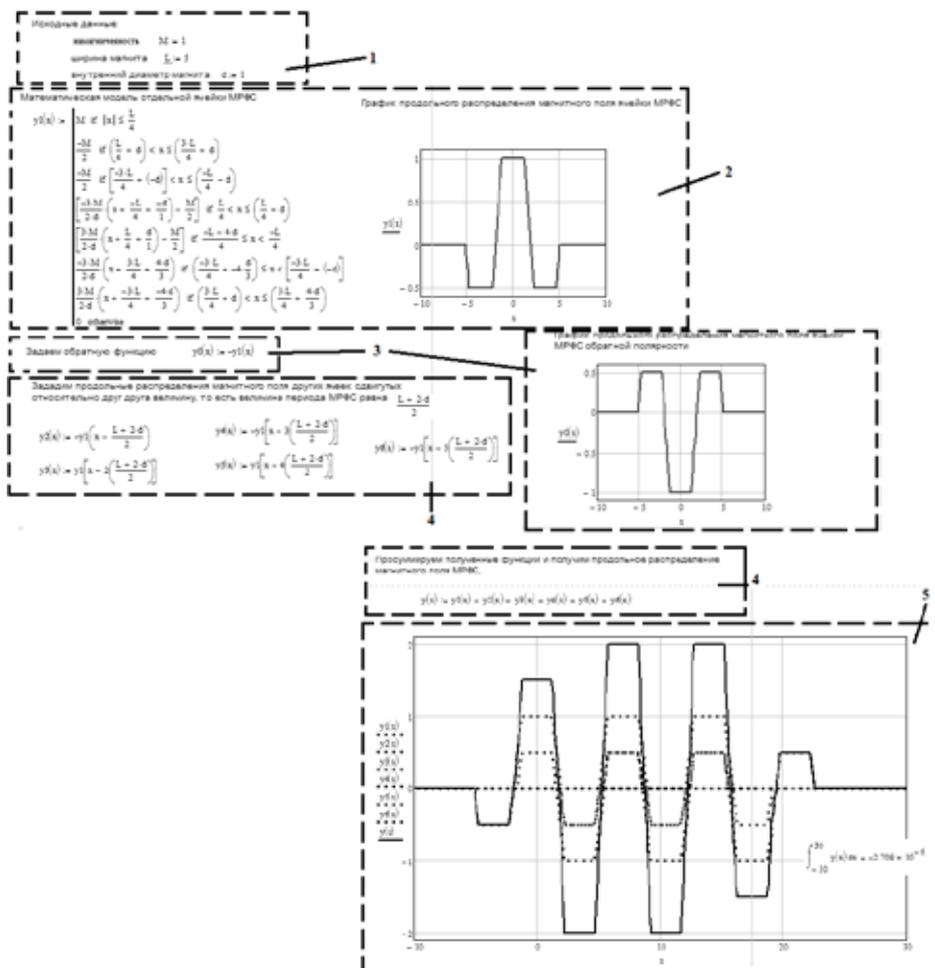


Рис. 5. Листинг программы расчета продольного распределения магнитного поля МРФС с заданными значениями  $M, L$  и  $d$  (среда MathCad)

Программа расчета для удобства (рис. 5) разделена на блоки: 1 — исходные данные (входные параметры модели ячейки МРФС), 2 — математическая модель ячейки МРФС (1), 3 — получение обратной функции; 4 — математическая модель МРФС, где задается количество ячеек (магнитов) и период МРФС ( $L/2+d$ ), 5 — область визуализации результатов моделирования. Последовательность блоков 1–5 определяет алгоритм программы моделирования [2].

Рассмотрим еще один вид продольного распределения магнитного поля МРФС [3], формирование суммирующего распределения, которого происходит путем наложения на вейвлет — функцию «Французская шляпа» (рис. 6б, линия 1) двух вейвлет — функций Гаусса первого порядка (рис. 6а), при этом последние разрываются в точке перегиба и сдвигаются в начало «горизонтальных» площадок первой вейвлет — функции.

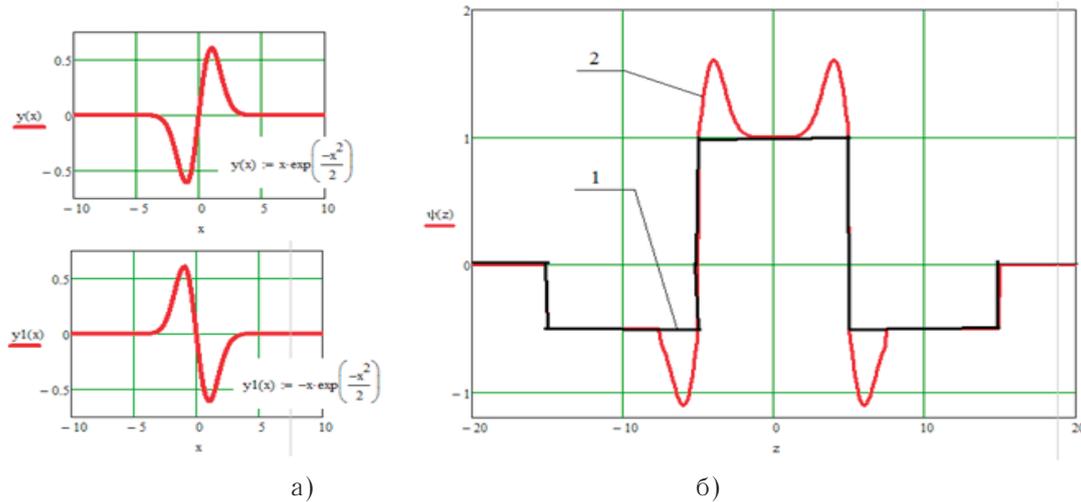


Рис. 6. Суммирующее распределение (б, линия 2), состоящее из вейвлет-функции «Французская шляпа» (б, линия 1) и двух вейвлет — функций Гаусса первого порядка (а)

Заменяем вейвлет-функцию «Французская шляпа» модернизированной вейвлет-функцией «Французская шляпа» [4], добавив вейвлет-функции Гаусса первого порядка (рис. 6), и получим продольное распределение магнитного поля МРФС (рис. 7) [3].

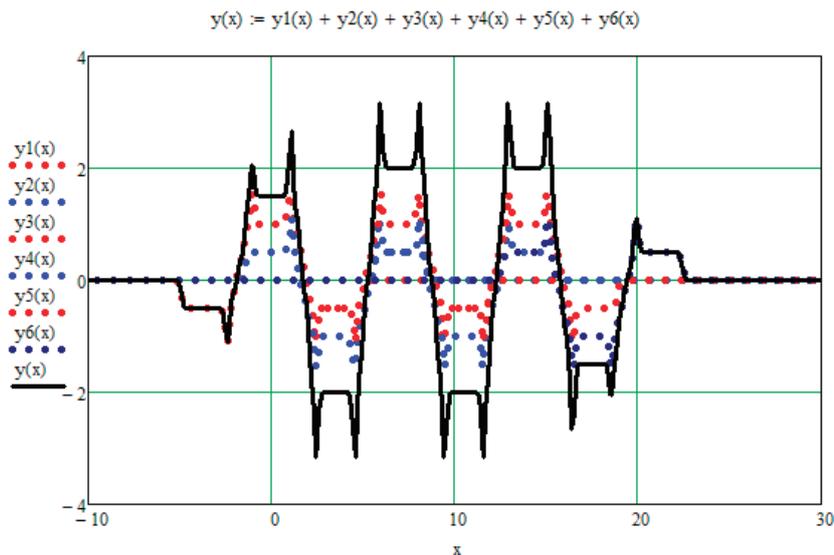


Рис. 7. Продольное распределение МРФС из 6 магнитов при следующих параметрах  $M=1, L=5, d=1$  с коэффициентом сжатия для вейвлет-функции Гаусса первого порядка  $k=7$

Для моделирования данного распределения создадим программу расчета продольного распределения магнитного поля МРФС в среде MATHCAD [2], листинг которой приведен на рис. 8. Ее аналогично можно разбить на блоки, как показано на рис. 5.

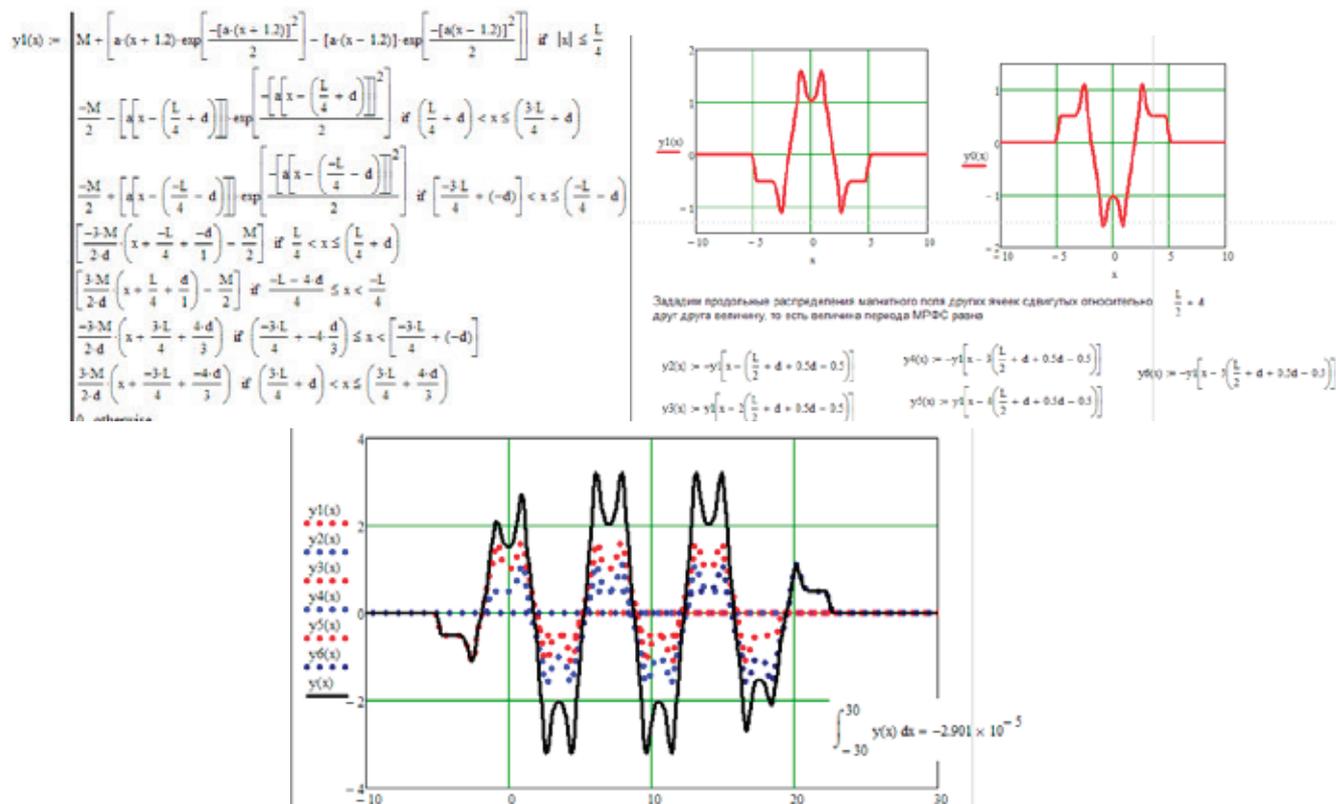


Рис. 8. Листинг программы расчета продольного распределения магнитного поля МРФС с заданными значениями  $M$ ,  $L$  и  $d$  (среда MathCad) (рис. 6б)

Сравнение листингов программ на рис. 5 и рис. 8 показывает, что алгоритм вычисления одинаков, а отличием является только математическая модель распределения ячейки МРФС (отдельного магнита). Это позволяет в перспективе создать пользовательское приложение, в котором необходимо выбирать математическую модель распределения и задать параметры отдельного магнита для решения задачи моделирования распределения МРФС.

Литература:

1. Кожанова, Е. Р. Автоматизация моделирования продольного распределения магнитного поля полигармонических магнитных периодических фокусирующих систем в среде MATHCAD // материалы II Международной научной конференции «Технические науки: проблемы и перспективы». СПб.: Заневская площадь, 2014. с. 112–116.
2. Кожанова, Е. Р. Программа для моделирования продольного распределения магнитного поля магнитной реверсивной фокусирующей системы в среде MATHCAD // Новый университет. Серия: Технические науки. 2014. № 1 (23). с. 20–24.
3. Кожанова, Е. Р., Захаров А. А., Ткаченко И. М. Возможность применения вейвлет-функции Гаусса первого порядка для моделирования продольного распределения магнитного поля реверсивных магнитных периодических систем // Молодой ученый. 2014. № 2 (61). с. 149–152.
4. Кожанова, Е. Р., Захаров А. А. Применение модернизированной вейвлет-функции «Французская шляпа» для аппроксимации продольного распределения магнитного поля в магнитных реверсивных фокусирующих системах // Молодой ученый. 2012. № 9. с. 25–29.
5. Кожанова, Е. Р., Захаров А. А. Формирование распределения суммирующих вейвлет-функций для моделирования продольного распределения магнитного поля магнитных периодических фокусирующих систем // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. Т. 4. № 1. с. 83–88.

## Микропроцессорные системы ЖАТ

Крамбаева Инкар Мекеновна, магистрант

Евразийский университет имени Л. Н. Гумилева (г. Астана, Казахстан)

*В статье рассмотрено появление нового поколения средств автоматики и телемеханики, основанного на микропроцессорной элементной базе, которое принесло новые требования к определению надежностных характеристик и показателей безопасности.*

*Более надежная элементная база, применение средств диагностики и другие меры приводят к тому, что вероятность отказов в новых устройствах железнодорожной автоматики меньше, чем в традиционных релейных устройствах.*

**Ключевые слова:** микропроцессорная система, СЖАТ, тональные рельсовые цепи, СИРДП, СЦБ, автоблокировка.

Решение стратегической задачи повышения эффективности работы железнодорожного транспорта, увеличения пропускной и провозной способности железных дорог невозможно без их оснащения современными и надежными техническими средствами. При этом особая роль принадлежит средствам автоматики и связи. Составляя всего 5% от общей стоимости основных фондов, они определяют пропускные способности железнодорожных линий, обеспечивают автоматизацию перевозочного процесса и безопасность движения поездов.

Перевозочный процесс, реализуемый на железнодорожном транспорте, состоит из множества частных технологических процессов, основным из которых является процесс управления движением поездов. И, как следствие, все технологические процессы, выполняемые в других хозяйствах железнодорожного транспорта и связанные с перевозочным процессом, могут интегрироваться только на основе систем интервального регулирования движения поездов (СИРДП). Что, в свою очередь, определяет временной и пространственный безопасный интервал между поездами, роль, значение и эффективность систем железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ).

Новые технологии, внедряемые в СИРДП, позволяют повысить безопасность перевозочного процесса и пропускную способность железнодорожных линий и, следовательно, увеличить эффективность перевозочного процесса в целом за счет интенсивных факторов развития транспортного производства. К новым технологиям относятся, в частности, современные системы железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ), выполненные на новой элементной базе.

Большинство систем ЖАТ, эксплуатируемых на железных дорогах, включает в себя устройства, выполненные на релейной элементной базе. Современное состояние железнодорожной автоматики и телемеханики характеризуется процессом интенсивного создания и внедрения устройств, реализованных с использованием самых последних достижений микроэлектроники, микропроцессорной техники, теории передачи и обработки сигналов.

Из них автоблокировка с тональными рельсовыми цепями имеет высокую надежность, высокий коэффициент

возврата путевого приемника, высокую помехозащищенность и защищенность от влияний тягового тока.

В автоблокировке (АБ) с тональными рельсовыми цепями применяют рельсовые цепи без изолирующих стыков. В этих рельсовых цепях в качестве сигнального тока используют ток тональной частоты. Основное преимущество таких рельсовых цепей в отсутствии изолирующих стыков на перегоне, что значительно сокращает время на их обслуживание, обеспечивает лучшие условия для канализации обратного тягового тока. При таких рельсовых цепях значительно сокращается количество дроссель-трансформаторов (ДТ). Также рельсовые цепи тональной частоты в отличие от других типов рельсовых цепей могут устойчиво работать при пониженном сопротивлении балласта [1].

Используют два типа рельсовых цепей ТРЦ-3 и ТРЦ-4 (соответственно тональные рельсовые цепи третьего и четвертого поколения). Рельсовые цепи ТРЦ-3 используют сигнальный ток частотой 420 или 480 Гц и имеют максимальную длину 1000 м. ТРЦ-4 использует ток частотой 5000, 5500, 4500 Гц их длина 100–300 м (обычно 200 м). Поскольку длина блок-участка автоблокировки более 1000 м, то каждый блок-участок контролируется несколькими тональными рельсовыми цепями (обычно четырьмя). У проходных светофоров размещают две ТРЦ-4 имеющие зону шунтирования 15 м, остальная часть блок-участка контролируется одной или двумя ТРЦ-3 имеющими зону шунтирования 150 м.

Вся аппаратура тональных рельсовых цепей размещается в релейных шкафах сигнальных точек, в местах подключения аппаратуры располагают лишь согласующие элементы (трансформаторы) и элементы защиты (разрядники).

Рельсовые цепи ТРЦ-3 получают питание от генератора ГП (рис. 1) вырабатывающего сигнал на частоте 420 или 480 Гц, через фильтр питающего конца этот сигнал подается на трансформатор, согласующий сопротивление аппаратуры с сопротивлением рельсовой линии. Сигнал от генератора ГП при отсутствии поезда воспринимают два приемника ПП размещаемые по обе стороны от генератора на расстоянии не более 1000 м. На выходе при-

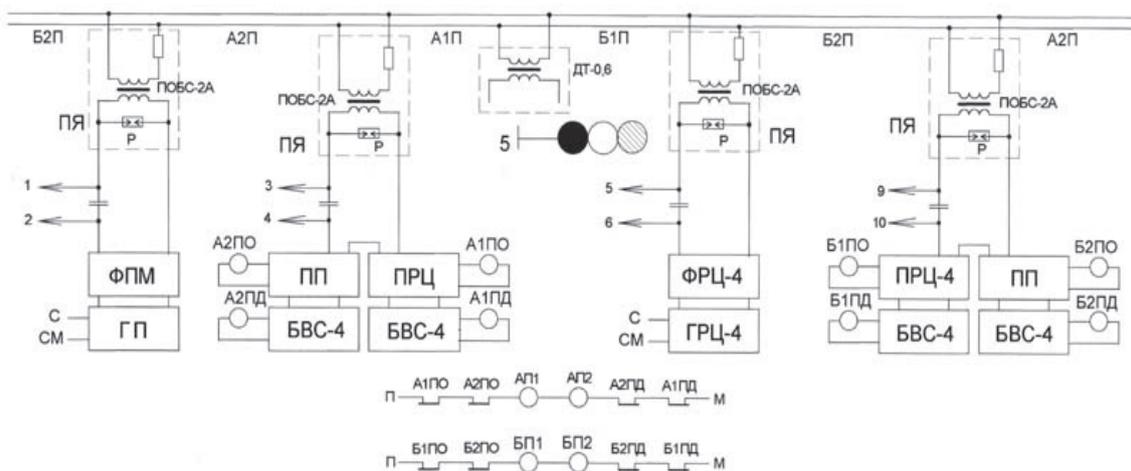


Рис. 1. Рельсовые цепи тональной частоты

емника включены основные путевые реле А2ПО и Б2ПО. К приемнику через блок выпрямителей сопряжения БВС-4 подключают дублирующие реле А2ПД и Б2ПД.

Рельсовые цепи ТРЦ-4 питаются от генератора ГРЦ-4, располагаемого за проходным светофором на расстоянии 20 м. Сигнал с частотой 5000 или 4500 Гц подается в рельсовую линию через питающий фильтр ФРЦ-4. Принимают сигнал из линии два приемника ПРЦ-4, на выходе которых включены путевые реле А1ПО и Б1ПО. Через блок выпрямителей сопряжения получают питание дублирующие реле Б1ПД и А1ПД. Место включения приемников ТРЦ-3 и ТРЦ-4 обычно совмещают. При обесточивании одного из путевых или дублирующих реле блок-участок считается занятым.

На двухпутных участках для защиты от попадания сигнального тока одного пути на другой путь используют модуляцию сигнального тока. На одном пути сигнал модулируют частотой 8 Гц, на другом — 12 Гц.

Тональные рельсовые цепи кодируются на каждом блок-участке с нескольких точек (1–2, 3–4, 5–6, 9–10) по мере продвижения поезда. При этом к соответствующим точкам подается питание 50 Гц через контакты трансмиттерного реле (на рис. 1 не показано).

Дроссель трансформаторы в тональной автоблокировке используют только для выравнивания тягового тока в рельсах, для этого у проходного светофора устанавливают один дроссель-трансформатор, допускается подключать через этот ДТ питающий конец ТРЦ-4.

К недостаткам тональных рельсовых цепей (по сравнению с кодовыми рельсовыми цепями 25 Гц) следует отнести большее количество аппаратуры и больший расход кабеля (особенно в ТРЦ с центральным размещением аппаратуры).

Наиболее перспективными сейчас считают тональные рельсовые цепи с центральным размещением аппаратуры. При таком расположении значительно сокращаются затраты на обслуживание рельсовых цепей. Тональные рельсовые цепи используют также для контроля участков станций.

По типу элементной базы системы АБ с ТРЦ можно разделить на системы с релейно-контактными устройствами, микроэлектронные системы и микропроцессорные системы [1].

В настоящее время на сети стальных магистралей внедряется целый ряд микропроцессорных систем и устройств для управления движением поездов и маневровой работой. Это — диспетчерская централизация и диспетчерский контроль, электрическая централизация и автоблокировка, полуавтоматическая блокировка. Названные системы дополнены новыми устройствами электропитания, цифровой аппаратурой рельсовых цепей, счетчиками осей, многозначной автоматической локомотивной сигнализацией (АЛС), микропроцессорной аппаратурой АЛС на локомотиве.

Соответственно, большинство фирм-производителей устройств СЖАТ прекращает выпуск электромеханических реле и переходит на микропроцессорную элементную базу. Это объясняется следующими достоинствами микропроцессорных устройств [2]:

1. Элементная база (промежуточные трансформаторы, электронная часть, выходные устройства) у большинства устройств СЖАТ получается практически одинаковой. Отличие заключается в программном обеспечении.
2. В силу идентичности устройства комплектов различного назначения, достигается высокая степень автоматизации производства с минимальной долей ручного труда.
3. Микропроцессорные устройства органически входят в автоматизированную систему управления технологическим процессом (АСУ ТП) электрической части сетей и систем и обеспечивают высокую степень информатизации электроэнергетических процессов. В конечном счете это (со временем) должно повысить надежность электроэнергетических сетей и систем.
4. Микропроцессорные устройства являются интеллектуальными системами, обладающими возможностью совершенствования путем изменения программного обеспечения и использования более перспективных принципов

выполнения (алгоритмов) защиты. Изменение алгоритмов и программ возможно осуществлять в ходе эксплуатации.

5. Эти устройства не требуют использования мощных ТТ и ТН, т.к. их потребление по цепям тока и напряжения крайне мало (единицы вольт и миллиамперы).

Широкое внедрение микропроцессорных устройств сдерживается их высокой стоимостью и практически отсутствием в производстве микропроцессорной техники. Однако это явление временное и в перспективе микропроцессорная техника СЖАТ альтернативы не имеет, другие устройства с нею со временем будут неконкурентоспособны.

В микропроцессорных системах электрической централизации (МПЦ) реализация логических цепей построена на использовании микропроцессорных контроллеров. Вместе с тем, наблюдается тенденция увеличения скоростного барьера, что потребует в ряде случаев увеличения быстродействия устройств контроля состояния пути. Заметим здесь, что тональные рельсовые цепи (ТРЦ) приняты сейчас для повсеместного проектирования новых и реконструкции устаревших систем сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ). Эти рельсовые цепи являются инерционным узлом, снижающим быстродействие. Такая особенность РЦ вызвана, как известно, повышением помехоустойчивости путевых приемников при воздействии импульсных помех.

На сегодняшний день, актуальными являются исследования по переходу на мультипроцессорную элементную базу — построению генератора и приемника РЦ на базе программируемых логических матриц (ПЛИС) в увязке с мультипроцессором. Изготовлен макет приемника и генератора частотных РЦ с применением мажоритарного резервирования. ПЛИС программируется по тех-

нологии FPGA «Spartan». Процессор поддерживает операционную систему реального времени с разработанным ПО либо ПО, созданное как standalone, ведет функциональный контроль ПЛИС, сбор данных, осуществляет передачу информации по любому каналу связи (в планах использование Wi-Max), принимает решение. Поскольку ПЛИС является гибким элементом в плане программирования, то разрабатывается «прошивка» диагностического контроля узлов рельсовой цепи. Кроме того, в устройстве решена задача преодоления «зависания» ПО, а также, интегрирован алгоритм самодиагностики системы на ответственных этапах выполнения кода, в целом, чтобы все узлы соответствовали первому классу надежности.

Базовый объект для разработки (ПЛИС) — универсальное устройство, и может использоваться не только как генератор или приемник ТРЦ, но и в качестве многоканального АЦП с гальванической развязкой по каналам для сбора данных с любого объекта СЖАТ с частотой сигнала до 100 МГц. Такое устройство может быть успешно применено в системах автоматики на железнодорожном транспорте. На ПЛИС также может быть реализован синтезатор частот для генерации сигналов в тональных рельсовых цепях (ТРЦ) или в преобразователях — инверторах источников вторичного питания.

Микропроцессорные устройства являются действительно прогрессивным направлением развития энергетики.

Провозглашаемая производителями высокая надежность микропроцессорных устройств не всегда соответствует действительности. Персоналу, обслуживающему любой блок микропроцессорной защиты, следует хорошо представлять все слабые стороны таких устройств и умело корректировать их работу.

#### Литература:

1. Кулик, П.Д., Ивакин Н.С., Удовиков А.А. Тональные рельсовые цепи в системах ЖАТ: построение, регулировка, обслуживание, поиск и устранение неисправностей, повышение эксплуатационной надежности. — Киев: Издательский дом «Мануфактура», 2004.
2. Зотов, В.Ю. Проектирование встраиваемых микропроцессорных систем на основе ПЛИС фирмы Xilinx, — М.: Горячая линия — Телеком, 2006.

## Исследования математических моделей систем контроля букса

Мекеев Адилет Бигазыулы, магистр технических наук  
Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева (г. Астана, Казахстан)

*Рассмотрены принципы работ инфракрасных приборов, а также математические формулировки диагностической модели бесконтактного теплового контроля букса.*

**Ключевые слова:** математическая модель, инфракрасные системы, буксовые узлы.

Известные преимущества инфракрасной системы по сравнению с оптическими (работающими в видимой части спектра), радиотехническими и радиолокационными системами привели в последнее десятилетие к резкому расширению применения ИК-систем и приборов в науке, технике, промышленности и в военном деле. Интенсивно разра-

батываемые тепловые приемники используется также в системах формирования изображения. Широкое применение тепловым приемникам обеспечили малая стоимость и высокое качество.

Современная инфракрасная система обладает внушительным арсеналом разнообразных средств, отличающихся областью применения. Напомним, что под инфракрасными приборами понимают устройства, предназначенные для генерирования инфракрасного излучения, а также для обнаружения и обработки сигналов информации от источника излучения. По способу использования излучения инфракрасные системы и приборы условно разделяются на два основных типа: активные и пассивные. В приборах активного типа исследуемый или наблюдаемый объект облучается источником инфракрасного излучения, параметром которого может управлять оператор. Приемники излучения, преобразующее невидимое глазом инфракрасное излучение в видимое — называются преобразователям изображения. Работа тепловых приемников излучения основано на преобразовании энергии излучения сначала в тепловую, а затем в электрическую [1].

В настоящее время значительная часть неисправности вагонов в пути следования связана с повышением нагрева подшипников, что может привести к их разрушению и дальнейшему излому шейки оси колесной пары. Контроль за состоянием буксовых узлов вагонов производится визуально на пунктах технического обслуживания (ПТО) осмотрщиками, а на перегонах и подходах к пунктам технического обслуживания — напольными бесконтактными системами теплового контроля по инфракрасному (ИК) излучению от букс проходящих поездов.

Напольные являются распределенными системами. Работа любого вида аппаратуры, использующей инфракрасное излучение основана на регистрации этого излучения специальным приемником, являющимся обязательным и основным элементом оптико-электронных приборов и других ИК-систем. При этом в приемниках, где сигнал регистрируется возникают шумы, природу которых требуется исследовать. Обычно сигнал на выходе приемника бывает слишком мал и его необходимо усиливать с помощью малошумящего усилителя. Главным критерием при выборе усилителя является выходное сопротивление приемника.

При всех хороших состояниях разработанные все эти системы не учитывают помехи, шумы, нагрева колеса при торможении и чувствительности. Перечисленные задачи решаются различными методами: экспериментальными, опытной эксплуатацией и при помощи математических моделей. При эксплуатациях средств теплового контроля букс подвижного состава приходится решать множества задач, связанных с необходимостью повышения качества работы существующих и внедряемых систем.

Математическая формулировка диагностической модели бесконтактного теплового контроля в общем виде записывается следующим образом [1]:

$$Z(t) = A(x_1, x_2, \dots, x_n),$$

где  $Z(t)$  — тепловой сигнал на приемники ИК-излучения, выраженный зависимостью принятой мощности излучения от буксы в зоне сканирования приемников, либо зависимостью температуры в зоне сканирования буксы, либо зависимостью в условных единицах средства теплового контроля;  $t$  — время;  $A$  — оператор преобразования системы из состояния в состояние;  $x_1, x_2, \dots, x_n$  — параметры системы: скорость движения вагона, нагрузка вагона, характеристики и геометрические характеристики вагона, температура окружающей среды, характеристики пропуска средой излучения, оптические характеристики принимающей системы.

Диагностическая модель может иметь детерминированный характер, рассчитывать жесткое соответствие между входными и выходными величинами или учитывать вероятностный характер этой связи, обусловленный значительной случайной составляющей процесса диагностирования.

Практически стабильный, независимый от роста скорости движения поезда нагрев внешней поверхности корпуса буксы происходит на фоне отличающегося по приросту изменения температуры подшипника. Используем для иллюстрации коэффициент передачи избыточной температуры (относительно температуры воздуха), который определяется отношением избыточной температуры на корпусе буксы в конкретном месте к избыточной температуре на подшипнике:

$$K_{пер}^{избыт} = \frac{t_{буксы}^{избыт}}{t_{подшипник}^{избыт}}.$$

Очевидно, что чем больше значение данного коэффициента для зоны корпуса буксового узла, тем больше данная зона отражает температуру подшипника.

Для математического описания полей тепловых потоков введем в рассмотрение вектор плотности теплового потока  $\vec{q}$ , имеющий направление от более «горячих» участков тела к более «холодным», а по величине равный количеству тепла, проходящему через единицу поверхности за единицу времени:

$$|\vec{q}| = \frac{dQ_s}{dSdt}.$$

В основе аналитической теории теплопроводности лежит экспериментально установленный закон Фурье, согласно которому,  $\vec{q} = -\lambda \cdot \text{gradu}$ , где  $\lambda$  — коэффициент теплопроводности среды (равен количеству тепла, переносимого в единицу времени через единицу поверхности при градиенте температуры, равном единице).

Пусть дан тонкий стержень длиной  $L$ , расположенный между точками  $x=0$  и  $x=l$  оси  $Ox$  (или любое материальное тело, продольный размер которого значительно превосходит размеры поперечного сечения, например, жидкость в трубопроводе). Обозначим через  $S$  площадь сечения стержня плоскостью, перпендикулярной оси  $Ox$ . Будем считать  $S$  настолько малой, что всем точкам одного сечения можно приписать одну и ту же температуру. Обозначим через  $u = u(x, t)$  температуру точек стержня с абсциссой  $x$  в момент времени  $t$ . Будем считать, что стержень теплоизолирован вдоль боковой поверхности, а внутри стержня нет источников или стоков (поглотителей) тепла.

Найдем количество тепла  $dQ$ , которое накапливается в элементе за время  $dt$ . Согласно закону Фурье, интенсивность  $q(x, t)$  теплового потока в сечении  $x$  определяется выражением [2]:

$$q(x, t) = -k(x) \frac{\partial u(x, t)}{\partial x},$$

где  $k(x)$  — коэффициент теплопроводности. Тогда через левое сечение внутрь элемента за время  $dt$  пройдет количество тепла, равное

$$dQ = -k(x) \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} S dt,$$

(знак минус отражает тот факт, что тепло распространяется из области с большей температурой в область с меньшей температурой). Согласно формуле Тейлора, примененной к функции,  $\frac{\partial u}{\partial x}$  имеет место равенство

$$\frac{\partial u(x + dx, t)}{\partial x} = \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} + \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2} dx + o(dx)$$

при всяком фиксированном значении  $t$  через правое сечение стержня проходит за время  $dt$  количество тепла, равное

$$dQ_2 = +k(x + dx) S \frac{\partial u(x + dx, t)}{\partial x} dt.$$

Представляя  $k = +k(x + dx) S \frac{\partial u(x + dx, t)}{\partial x} dt$  по формуле Тейлора и отбрасывая бесконечно малые слагаемые порядка  $dx^2$ , получаем:

$$\partial Q_2 = -S \left( \frac{\partial u}{\partial x} k + \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} k dx + k'' \frac{du}{dx} dx \right) dt.$$

Здесь  $\frac{\partial u}{\partial x}$ ,  $\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$ ,  $k''$  вычисляются в точке  $x$ . Таким образом, общее количество тепла, накопившееся в элементе стержня за время  $dt$ , будет равно:

$$\partial Q = \partial Q_1 - \partial Q_2 = S \left[ k(x) \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2} + k''(x) \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} \right] dx dt.$$

С другой стороны, за счет притока тепла температура в элементе стержня за время  $dt$  повышается на величину. Тогда количество тепла, поглощаемое элементом за время  $dt$ , равно:

$$dQ = c \rho S dx \frac{\partial u}{\partial t} dt,$$

где  $c$  — теплоемкость;  $\rho$  — плотность вещества стержня. Сравнивая уравнению теплопроводности для стержня:

$$c \rho \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( k(x) \frac{\partial u}{\partial x} \right)$$

Это уравнение имеет параболический тип. Если тело однородно, то  $k$ ,  $c$ ,  $\rho$  — постоянные, и уравнение можно переписать в виде

$$\frac{\partial u}{\partial t} = a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}.$$

где  $a^2 = \frac{k}{c\rho}$  — коэффициент температуры.

Предположим теперь, что внутри стержня происходит выделение или поглощение тепла (это происходит, например, при прохождении электрического тока или при химических реакциях). Тогда количество тепла, накопленное в элементе стержня за время  $dt$  за счет источников тепла, будет равно:

$$\partial Q_0 = dx S dt F(x, t),$$

где  $F(x)$  есть плотность тепловых источников внутри стержня. Суммируя  $\partial Q$  и  $\partial Q_0$ , определяемые по формулам и приравнявая эту сумму к  $\partial Q^*$  получаем уравнение

$$c\rho \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( k(x) \frac{\partial u}{\partial x} \right) + F(x, t).$$

В случае, когда тело однородное, это уравнение можно записать в виде

$$\frac{\partial \Gamma}{\partial E} = a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{F(x, t)}{c\rho}.$$

Аналогично выводится уравнение, описывающее процесс распространения тепла в трехмерных телах

$$c\rho \frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k \frac{\partial u}{\partial z} \right) + F(x, y, z, t).$$

Для однородного тела  $c, \rho, k$  не зависят от  $x, y, z$  и уравнение удобно представить в виде [2]

$$\frac{\partial u}{\partial t} = a^2 \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + \frac{1}{c\rho} F(x, y, z, t), a^2 = \frac{k}{c\rho}.$$

Помимо рассмотренных задач с использованием математической модели решаются следующие проблемы теплового контроля: обработка изображений, повышение чувствительности, оценка влияния нагрева колес при торможении на нагрев буксы и влияния этих процессов на показания при тепловом контроле. Эта система нам сообщает, что по колесным парам заранее предсказывает через сколько времени нам нужно ремонтировать.

Безопасность движения поездов на железнодорожном транспорте в условиях непрерывного роста объемов перевозок обеспечивается широким применением автоматизированных систем контроля и диагностики технического состояния подвижного состава. Важное место среди этих систем занимает аппаратура автоматического контроля букс. Одной из главных задач, решаемых на железнодорожном транспорте масштабных и сложных задач главным остается обеспечение безопасности движения поездов и создания на этой основе условий для непрерывного перевозочного процесса, гарантированной сохранности жизни и здоровья пассажиров, а также перевозимых грузов и технических устройств железнодорожного транспорта.

Литература:

1. Швалов, Д.В., Шаповалов В.В. Системы диагностики подвижного состава. Москва, 2005.
2. Самодуров, В.И. Инфракрасные системы обнаружения перегретых букс. Свердловск, 1980.

## Существующие проблемы доступной среды маломобильных групп населения в г. Рязань и мероприятия, направленные на их устранение

Миненко Екатерина Юрьевна, кандидат технических наук, доцент;  
 Михеева Наталья Александровна, студент,  
 Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

*По оценкам Всемирной организации здравоохранения на 2013 г, более 1 миллиарда людей имеют какую-либо форму инвалидности. Это соответствует почти 15% населения мира. От 110 миллионов (2,2%) до 190 миллионов (3,8%) людей 15 лет и старше испытывают значительные трудности в функционировании. Более того, показатели инвалидности возрастают в связи со старением населения и ростом бремени хронических нарушений здоровья. К сожалению, они нередко сталкиваются с негативным отношением, недо-*

*ступностью транспорта и общественных зданий и ограниченной социальной поддержкой. Обеспечение доступной среды и беспрепятственного доступа к зданиям и сооружениям, транспорту и информации — одно из фундаментальных прав человека. И в наших силах обеспечить такое право всем гражданам без исключения.*

**Ключевые слова:** доступная среда, ограниченная социальная поддержка, инвалидность.

По состоянию на 1 января 2012 года в Рязанской области общая протяженность автомобильных дорог общего пользования составляет 8640 км, из них региональных 6511 км, федеральных — 502 км, местных — 1620 км. Протяженность освещенных частей улиц составляет 1530 км (83%). Подземные водостоки имеют только 103 км улиц (6,4%).

По такому показателю, как удельный вес улиц и дорог с твердым покрытием в черте населенных пунктов наша область находится на уровне других областей центра России.

Сейчас в Рязанской области проживает около 161 тысяч людей с ограниченными возможностями — 14% от общей численности населения, сообщает региональное министерство социальной защиты населения. В Рязани проживает 63,5 тысячи граждан, имеющих инвалидность, что составляет 12% от общего количества населения города, в том числе 1432 ребенка-инвалида.

Лица преклонного возраста (60 лет и старше), люди с ограниченными возможностями, дети школьного возраста (8–11 лет), люди с детскими колясками, беременные женщины — все они составляют МГН и нуждаются в создании беспрепятственной среды и транспортной доступности города Рязани.

Государственная программа «Доступная среда» не обошла стороной и наш город. Региональным правительством утверждена долгосрочная целевая программа «Доступная среда» постановлением от 28 сентября 2012 года N 278 «Об утверждении долгосрочной целевой программы «Доступная среда» на 2013–2015 годы», которая будет реализована в 2013–2015 годах. Ее цель — создание безбарьерной среды и создание равной доступности для всех жителей Рязанской области в таких сферах, как здравоохранение, образование, социальная защита, спорт. Контроль за исполнением настоящего постановления возложен на заместителя Председателя Правительства Рязанской области Т.Н. Панфилову и Губернатора Рязанской области О.И. Ковалева.

По данным РЯЗАНСКОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ФОРУМА от 10 октября 2013г из бюджета города выделены средства, и проводятся работы по оборудованию пандусами административных зданий по следующим адресам: ул. Радищева, д. 28, Московское шоссе д. 18, ул. Горького, д. 1, ул. Введенская, д. 107, ул. Вознесенская, д. 51а.

В Рязани курсируют 8 низкопольных автобусов (рисунки 1) и 10 троллейбусов, оборудованных для перевозки инвалидов-колясочников и оснащенных системой ГЛОНАСС.

**Глобальная навигационная спутниковая система (ГЛОНАСС, GLONASS)** — советская и российская спутниковая система навигации, разработана по заказу Мини-

стерства обороны СССР. Одна из двух функционирующих на сегодня систем глобальной спутниковой навигации

Хотелось бы отметить, что Рязань является одним из первых городов России, использующих спутниковую систему навигации на общественном транспорте. С помощью системы доступа через интернет к данным движения общественного транспорта граждане могут получить точную информацию о времени прибытия на любую остановку автобуса, троллейбуса или маршрутного такси.

При проведении дорожных работ на тротуарах и проезжей части в состав работ включается устройство «колясочных съездов», при проведении капитальных ремонтов входных групп объектов социальной сферы также осуществляется обустройство «колясочных съездов» при наличии технической возможности проведения данных работ.

Большая работа, направленная на создание условий для беспрепятственного доступа людей с ограниченными физическими возможностями к объектам социальной инфраструктуры, выполнена в рамках ведомственной целевой программы «Развитие физической культуры и спорта в городе Рязани на 2011–2013 годы».

Кроме того, на стадионе «Золотые купола» предусмотрен подъезд инвалидов к стадиону и на футбольное поле. Спортивный комплекс «Локомотив» оборудован подъездом для инвалидов-колясочников к парковой зоне, а также специальными местами на стоянке автотранспорта. Также доступен для всех маломобильных групп населения Центральный спортивный комплекс. Определены места для инвалидов, которые находятся перед гостевыми трибунами. В центре спортивных единоборств «Комета» для инвалидов-колясочников оборудован проезд со двора.

Учреждения культуры уделяют большое внимание социальной реабилитации людей с ограниченными возможностями. В рамках реализации ведомственной целевой программы развития «Культура города Рязани» проведены работы по обустройству пандусов в двух центральных городских библиотеках, библиотеке-филиале № 7 ЦБС, в МБУК «Муниципальный культурный центр», МАУК ДК «Приокский». В течение года были направлены предложения в ДЦП «Доступная среда» на 2013–2016 годы на сумму более 2 млн. руб., предусматривающие оборудование пандусов (6 библиотек), перил (10 библиотек), туалетов, расширение входных проемов, приобретение программного обеспечения для работы слабовидящих на ПК с изображением и звуком в библиотеках города.

Напротив Центрального автовокзала в надземном пешеходном переходе стоят два лифта для МНГ Schindler

(Швейцария). Они отлично справляются со своей работой. Плюсы таких лифтов в пешеходных переходах:

- пользоваться могут люди с ограниченными возможностями, также использующие инвалидное кресло, люди преклонного возраста, которые с трудом преодолевают препятствия в виде лестниц;

- возле вокзалов, как правило, есть скопление людей с сумками и чемоданами, что, кстати, очень большой плюс для них;

В микрорайоне Канищево на входе Рязанского федерального перинатального центра установлен подъемник для инвалидов.

Сделано немало, но людей, допустим, использующих инвалидное кресло, по-прежнему можно встретить на улице очень редко. Это говорит о непригодности улиц, тротуаров, зданий, парков, транспорта для беспрепятственного передвижения людей с ограниченными возможностями, к ним, также, относятся незрячие люди и слабослышащие, люди с нарушением опорно-двигательной системы.

Если в рамках программы устанавливают пандусы и перила у зданий общественного доступа, это еще не означает создание безбарьерной среды. Отдельные вкрапления немногим облегчают передвижение людям с ограниченными возможностями, и то, как это ни печально, многие приспособления сделаны «для галочки», а для ис-

пользования совсем непригодны. Например, во многих местах невооруженным глазом видно, что уклон пандуса слишком крутой.

Встречаются весьма абсурдные ситуации, которые говорят о халатном отношении к реализации программы «Доступная среда».

Нужно предусмотреть передвижение людей в целом: от выхода их из дома до входа в объект. Выход — путь — вход. Выполнение этих условий максимально приспособит окружающую среду, город, к свободному передвижению МГН. Если выход и вход хотя бы попытаются приспособить для свободного передвижения, то путь остается без внимания. Необходимо создать беспрепятственное передвижение, как по тротуарам, так и в общественном транспорте. И как уже было сказано, в Рязани действуют всего 8 низкопольных автобусов и 10 троллейбусов, оборудованных для перевозки инвалидов-колясочников и оснащенных системой ГЛОНАСС. Кроме того, в транспорте не всегда объявляют остановки вслух, что актуально для незрячих людей, и повсеместно отсутствуют титры в помощь слабослышащим. В Рязани практически ничего не предусмотрено для самостоятельного ориентирования и получения необходимой информации слабослышащих и незрячих людей, разве что только светофоры на пешеходных переходах оснащены звуковым оповещением, и то не везде.

#### Литература:

1. Левицкая, Л. В., Миненко Е. Ю. Обеспечение доступной среды маломобильных групп населения Пензенской области//Интернет-журнал «Мир науки», 2014 № 4 (6) [Электронный ресурс] -М.: «Мир науки», 2014. — Режим доступа: <http://mir-nauki.com/PDF/MN414.pdf>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. рус., англ.
2. К.К. Хачатрянц. Об архитектурной среде для маломобильных групп населения. [Текст] / К.К. Хачатрянц. // Бюллетень Национального объединения строителей. — 2011. — № 7 — с. 92–106.
3. Д.В. Енин. Методологический подход к формированию логистических цепей передвижения маломобильных групп населения. [Текст] / Д.В. Енин. // Транспорт Российской Федерации. — 2013. — № 4. — с. 12–17.

## Анализ доступной среды маломобильных групп населения в микрорайоне Канищево

Миненко Екатерина Юрьевна, кандидат технических наук, доцент  
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Скрипкин Павел Борисович, ассистент  
Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева

Кусморова Юлия Анатольевна, студент  
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

*В данной статье авторами рассматривается участок с так называемыми объектами тяготения. Этот участок выбран авторами в связи с большим скоплением людей в этом районе, МГН составляют большую их часть, так как он включает в себя три медицинских учреждения для разных социальных групп населения, что является важным фактором. При таком количестве МГН данный район практически не приспособлен к свободному и безопасному их передвижению людей с ограниченными возможностями, женщин с детскими колясками, пожилых людей.*

**Ключевые слова:** маломобильные группы населения (МГН), доступная среда, инвалиды, объекты тяготения.

Канішево — городской район в составе Московского административного округа города Рязани, названный так по вошедшему в черту города селу. Территориально граничит с районами Приокский, Северо-Западный промышленный узел, Семчино и Ворошиловский.

В данной статье авторами рассматривается участок, который включает в себя корпуса Областной клинической больницы (ОКБ), Областную детскую клиническую больницу и Рязанский федеральный перинатальный центр. Так называемые объекты тяготения.

*Объекты (пункты) тяготения* — объекты народно-хозяйственного комплекса, являющиеся конечной (начальной) целью передвижения значительной части населения: жилые массивы, предприятия и учреждения, общественные и торговые центры, станции внеуличного транспорта, железнодорожные станции, вокзалы, порты, места массового отдыха и другие [1,2].

Этот участок выбран авторами в связи с большим скоплением людей в этом районе, МГН составляют большую их часть, так как он включает в себя три медицинских учреждения для разных социальных групп населения, что является важным фактором. При таком количестве МГН данный район практически не приспособлен к свободному и безопасному их передвижению людей с ограниченными возможностями, женщин с детскими колясками, пожилых людей.

Авторами предлагается рассмотреть участок в этом районе с наибольшим потоком людей (пересечение улиц Интернациональная и Княжье поле).

Рассмотрим участок пересечение улиц Интернациональная и Княжье поле на изображении со спутника, представленном на рисунке 1:

На данном нерегулируемом перекрестке находятся два остановочных пункта «Телезавод» и четыре нерегулируемых пешеходных перехода, схематично представлены на рисунке 2.

Наиболее интенсивные потоки пешеходов наблюдаются на пешеходных переходах В и С, так как, прибывая на остановочные пункты, люди идут в Областную детскую клиническую больницу и перинатальный центр. На пешеходных переходах А, С и D оборудованы съезды, а вот на переходе В съезд только со стороны детской клинической больницы, хотя на этом переходе, как было отмечено выше, наиболее интенсивные пешеходные потоки.

На пешеходном переходе В существуют дорожные ограничивающие ограждения. На остальных пешеходных переходах ограждения отсутствуют.

Для обеспечения безопасности движения людей и МГН, авторами предлагается провести следующие мероприятия на участке пересечение улиц Интернациональная и Княжье поле:

1. Оборудовать нерегулируемый пешеходный переход В съездом.
2. Установить дорожные ограничивающие ограждения на пешеходных переходах А, С и D.

Достичь этого возможно следующим образом:

1. Нерегулируемый пешеходный переход В необходимо оборудовать съездом с тротуара. При устройстве съездов следует учитывать, что ширина пути движения на участке при встречном движении инвалидов на креслах-колясках должна быть не менее 1,8 м. Продольный уклон пути движения, по которому возможен проезд инвалидов на креслах-колясках, как правило, не должен превышать 5%.



Рис. 1. Изображение со спутника пересечения улиц Интернациональная и Княжье поле

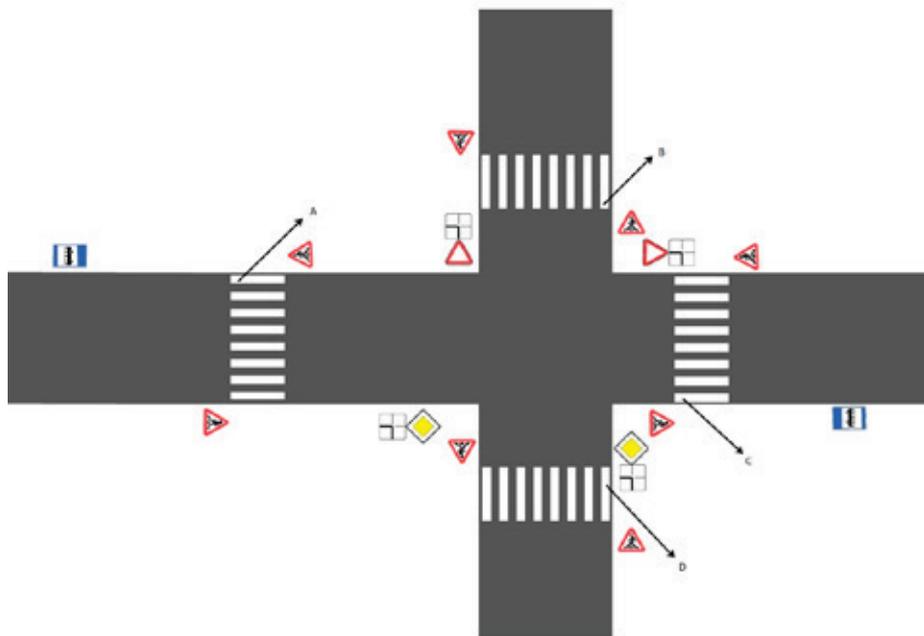


Рис. 2. Схема нерегулируемого перекрестка улиц Интернациональная и Князье поле

При устройстве съездов с тротуара около здания и в затесненных местах допускается увеличивать продольный уклон до **10%** на протяжении не более **10 м**. Поперечный уклон пути движения следует принимать в пределах **1–2%**.

Высоту бордюров по краям пешеходных путей рекомендуется принимать не менее **5 см**. Высота бортового камня в местах пересечения тротуаров с проезжей частью, а также перепад высот бордюров, бортовых камней вдоль газонов и озелененных площадок, примыкающих

к путям пешеходного движения, не должны превышать **4 см**.

2. Установить дорожные ограничивающие ограждения перильного типа у нерегулируемых пешеходных переходов А, С и D у внешнего края тротуара на расстоянии не менее **0,3 м** от лицевой поверхности бортового камня с двух сторон дороги, на протяжении не менее **50 метров** в каждую сторону. Нерегулируемый пешеходный переход В в настоящее время оборудован ограничивающими ограждениями, это можно видеть на рисунке 4.

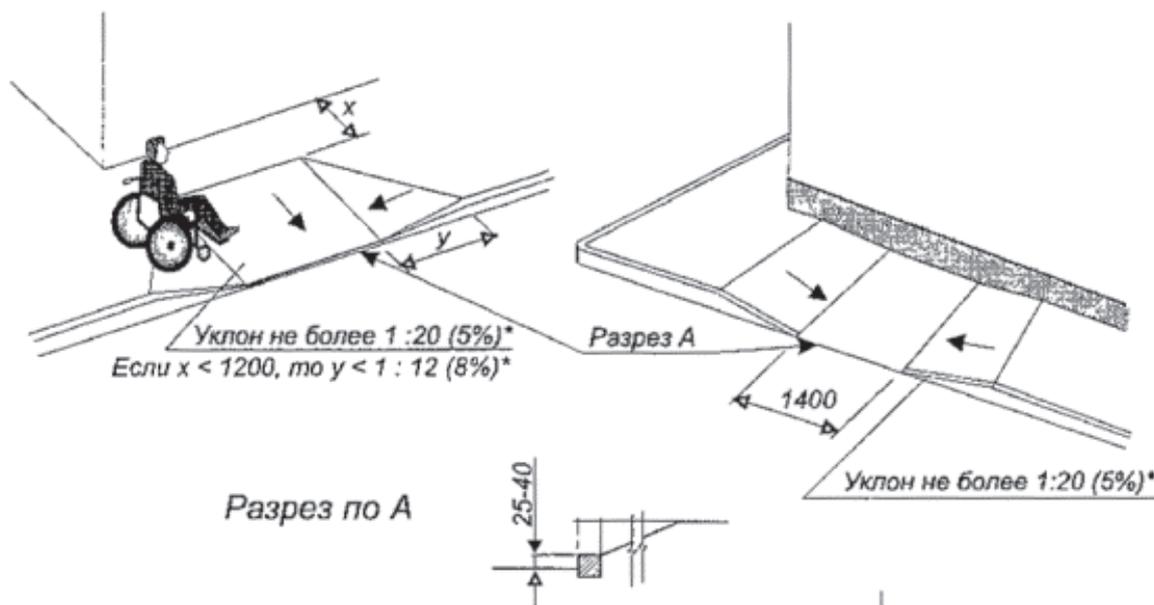


Рис. 3. Параметры съездов с тротуара на проезжую часть



Рис. 4. Пешеходный переход В

## Литература:

1. Скрипкин, П. Б. Существующие проблемы доступной среды маломобильных групп населения в России и странах мира и мероприятия по их устранению. / Скрипкин П. Б., Шаманов Р. С., Михеева Н. А. — Молодой ученый. — 2014. — № 20. — с. 217–221
2. Левицкая, Л. В., Миненко Е. Ю. Обеспечение доступной среды маломобильных групп населения Пензенской области//Интернет-журнал «Мир науки», 2014 № 4 (6) [Электронный ресурс] -М.: «Мир науки», 2014. — Режим доступа: <http://mir-nauki.com/PDF/MN414.pdf>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. рус., англ.

## To the question of practical use of «Smart home» system

Найбауэр Дмитрий Юрьевич, студент;

Волшин Максим Евгеньевич, студент;

Тумакова Наталия Александровна, старший преподаватель  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Dmitry Y. Naybauer, student;

Maxim Evg.Volshin, student;

Natalia A. Tumakova, senior lecturer  
National Research Tomsk Polytechnic University

*The article focuses on the design and creation process of the automated integrated system for monitoring and control of home appliances and other things used in a person's everyday life. The following advantages of the system are taken into consideration: the control is carried out via the web-interface; the system structure is presented by a server and multiple client unit blocks.*

**Keywords:** *web-interface, monitoring, control system, client-server technology.*

Modern century is characterized as a century of new developments. Different inventions occupy more and more part of our lives and it's difficult to imagine any sphere of a person's everyday life (social, economic, political and other ones) without innovations.

At present moment humanity is rapidly developing and at the same time the life pace is constantly increasing and requiring more and more time on everyday activities. As a result, sometimes those things which seem us to be the simplest and innocuous ones (household chores in particular)

take up the greatest part of a person's daily life which is, of course, limited by 24-hours period.

For example, during the whole week you were working quite hard and intensively, and when daily routines finally came to the end, on Friday evening or on Saturday or Sunday morning you decided to cook something delicious and tasty for yourself or maybe for your family members (like an apple pie or pancakes, for example). You go to the nearest super-market, buy all the ingredients needed for you dish, return home and suddenly found out that you'd forgotten to buy

milk for your cake. So you have to return to the store and buy a packet of milk.

Let us give another example from a person's everyday life. While leaving the house early in the morning you forgot to close the window curtains and all the windows of your room or flat or house face south. As a result, you return home in the evening and spend the rest of the day in a stuffy apartment and of, course, open all the windows of you dwelling to get some fresh air.

Or another situation: if you forgot to close the window for the night period it's very easy for you to catch a cold.

All unpleasant life situations mentioned above can be solved by developing an automated integrated system for monitoring and control of household objects through the web-interface.

### General concept of the technical part

Technical part consists of a server and several types of universal client (peripheral) units of personal control panels. Each block contains a radio transmitter and a receiver operating on a free radio frequency 433 MHz, the aim of which is to establish a logical connection for sending commands and/or parameters between units (not only client-server but also client-client connection). This frequency is used in security system sensors [2].

For client units the following options are accessible:

- Discrete inputs/outputs with a function of width-pulse modulation (to control various relays and other low-power actuators);
- 8 analogue inputs (for getting data from analog sensors, for example, light and temperature sensors);
- 8/16 power outputs 12–48/220V with a width-pulse modulation function and built-in amperemeter (for controlling the power supply of electrical appliances such as lightning and ventilation);
  - RFID-reader (plastic cards with magnetic labels);
  - iButton key reader;
  - IR transceiver (to provide the work of remote controls to all household appliances as well as for giving the opportunity to control and manage the functions of household appliances).
- GSM-module (for notifications sending and instructions receiving).

With a functional of modules mentioned above it's possible to provide a virtual management and control on any household appliance and realize exotic algorithms and conditions. For example:

- Events based on the functioning of your alarm-clock: to turn on a TV-program with news, to switch on the electric kettle on your kitchen table, or to start the car engine in cold Siberian winters.
- Morning or evening room/flat/house ventilation (for this procedure mechanical actuators are required).
- Turning off the TV-set and lightning in case the motion sensor doesn't work for a long time period (for example, a person fell asleep or on the contrary, if the person mustn't fall asleep).

- Automatic garage door opening in case the driver approaches the gates (based on RFID-labels).
- Control of the food amount on refrigerator shelves for the purpose of making the product shopping list or for the automatic product list making and its notification.
- Notification at the end of food readiness in the oven, microwave or in a multi-cooker. And many more other options which person's imagination and fantasy can create and a person, in his turn, can realize.

Some application variants are displayed in Figure 1.

### The server part

Final user needs an intuitively understandable web-interface for a simple implementation of such algorithms. Using web-interface provides for a user a possibility to set algorithms from any device with a web-browser and this makes the system more flexible.

The server part is implemented on a low-power computer with a conventional x86 processor architecture and operating system based on Linux kernel.

Linux kernel is created and distributed according to the development model of free and open software [3].

Using Linux, in the following, would provide the transition to computers/microcontrollers of other architectures such as ARM (used for example, in smartphones), MIPS (used at home in Wi-Fi routers).

In future, it's planned to transfer a server part particularly to a Wi-Fi router because it significantly reduces energy consumption comparing with a computer which computational capacity is much higher than it is required and moreover, it would provide a price benefit.

Sample interaction organization of control system parts is shown in Figure 2.

Algorithms development is conducted on high programming language C++ as it provides a wide range of possibilities for development and doesn't require any additional programs [1]. For each module an individual implementation algorithm will be created which matches the defined functions. It's necessary to mentioned modules independency which provides the possibility to create certain module sets.

Summing up all mentioned above, we should say that a powerful idea was presented in the article. Its implementation consists in various modules for different purposes, the part of which has already been developed and another one is needed to be developed. At this stage a general idea and its basic implementation are founded, namely the wireless communication protocol and a communication protocol between modules. In the future, on the way of commercialization, these protocols will be encrypted for providing an adequate safety level. This system has its advantages: it can be easily expanded and implemented. At the same time, no difficulties exist in the development of new modules with a new functional as they interact by means of similar protocols.

The server part will be periodically renewed and expanded in terms of its functional and possible ready algorithms.



Fig. 1. Possible variants for system management

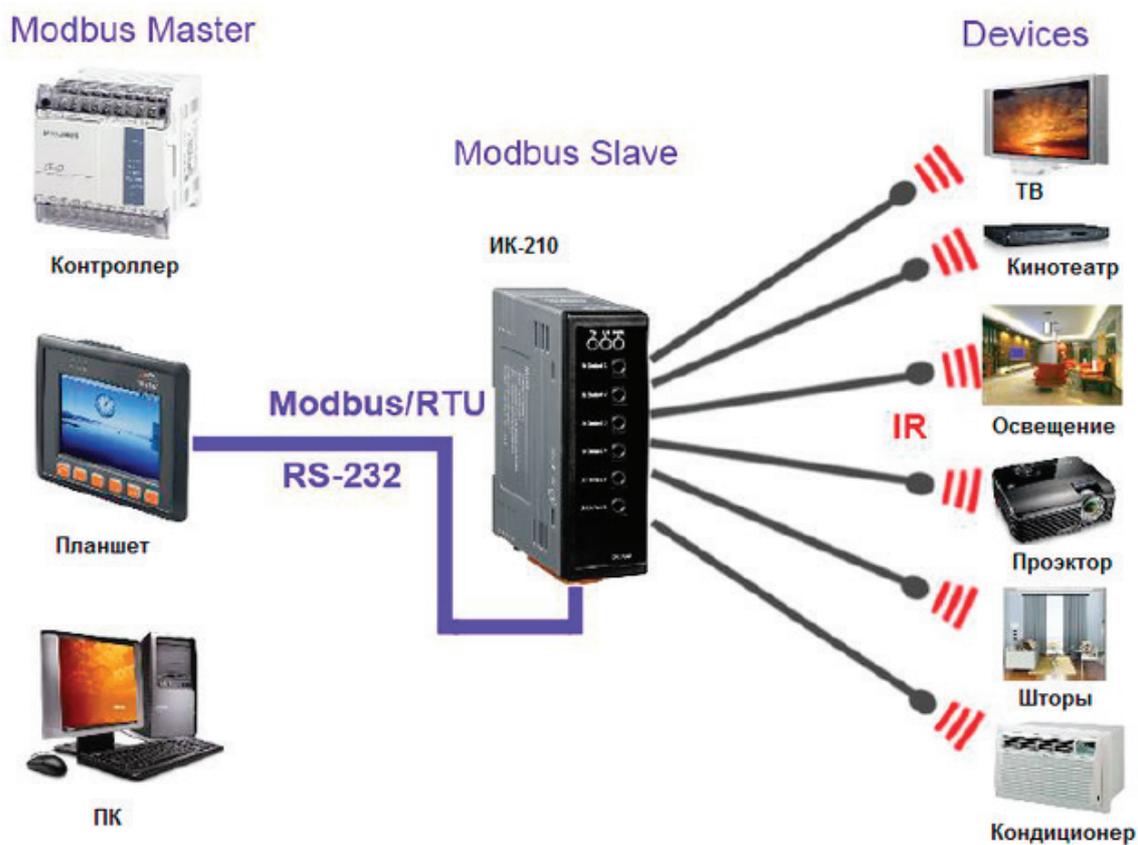


Fig. 2. Scheme of the system

References:

1. Программирование в Linux с нуля. [Electronic data] — URL: <http://www.opennet.ru/docs/RUS/zlp/zlp-prog.html.gz> (дата обращения: 20.03.2015).
2. Статья GSM камера «ReVizor X9» с датчиками охраны и WEB-сервисом. [Electronic data] — URL: <http://monitordv.ru/content/articles/449/> (дата обращения: 19.03.2015).
3. Debian — ОС на ядре Linux. URL: <https://www.debian.org/index.ru.html> (дата обращения: 23.03.2015).

## Параметры структуры управления в эргатической системе

Нашивочников Виталий Викторович, студент;  
 Гарькина Ирина Александровна, доктор технических наук, профессор  
 Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

К настоящему времени уже накоплен значительный экспериментальный материал, позволяющий определить структуру управляющих движений в эргатической системе; выявить процесс приспособления оператора к специфике управления имитационной моделью объекта [1...3]. Экспериментальные данные подтвердили гипотезу, что *имитационная модель фактически навязывает оператору алгоритмы рабочих операций, пространственно-временные характеристики которых не всегда соответствуют рабочим операциям оператора по управлению реальным объектом.*

Для того, чтобы предсказать реакцию системы на свои действия оператор фактически должен иметь «внутреннее» отображение динамики системы (*концептуальную модель*). Модель адаптивного процесса можно считать состоящей из четырех фаз:

- выявление оператором изменений в динамике системы;
- опознавание изменений (достаточно быстро после выявления изменений) в динамике;
- изменение собственных динамических характеристик оператора (для обеспечения устойчивости и возможности управления объектом);
- оптимизация характеристик оператора (с целью достижения хороших характеристик системы).

Оператор способен к частичному распознаванию параметров системы. Когда изменяются несколько параметров (например, полярность и коэффициент усиления объекта), оператор пытается опознать и компенсировать первое из этих изменений (так как оно имеет наибольшее влияние на характеристику системы). Впоследствии он следит за другими параметрами. Известно, что полярность управляющих движений всегда регулируется в первую очередь, а уже затем коэффициент усиления и упреждающие постоянные времени. Последовательность проведения регулировки определяет последовательность опознавания.

Тождественность структур деятельности оператора в двух эргатических системах («оператор — объект»,

«оператор — имитационная модель объекта») при выполнении одних и тех же задач определяется полнотой и точностью моделирования. Для ее оценки могут использоваться следующие основные критерии тождественности структур:

- пространственно-временных характеристик воздействий оператора на органы управления при тождественности движений реального объекта и имитационной модели;
- распределения и переключения внимания оператора на рассматриваемом отрезке движения реального объекта и модели;
- физиологических реакций оператора на движение объекта и имитационной модели на рассматриваемом отрезке времени.

Эти критерии являются обобщенными; охватывают внешние проявления деятельности оператора. Ими определяются достаточная полнота и точность моделирования. Объем необходимых экспериментов для определения структуры деятельности оператора на данном типе объекта зависит от условий получения статистической достоверности оценок структуры деятельности оператора, обусловленных случайными флуктуациями параметров объекта и чувствительностью человека к этим изменениям:

$$\Delta F \approx F_T - F_C = \sum_{j,i} \frac{\partial F}{\partial R_j} \frac{\partial R_j}{\partial x_i} \Delta x_i, j = \overline{1, n};$$

$F_T, F_C$  — соответственно обобщенные характеристики деятельности оператора по управлению имитационной моделью и реальным объектом;

$\frac{\partial F}{\partial R_j}$  определяет зависимость критерия  $R_j$  в оценке структуры деятельности;

$\frac{\partial R_j}{\partial x_i}$  характеризует чувствительность  $j$ -го критерия к изменению параметра  $x_i$  имитационной модели;

$\Delta x_i$  — максимально допустимая ошибка воспроизведения  $x_i$  в имитационной модели, при которой структуры деятельности оператора по управлению имитационной моделью и реальным объектом практически совпадают.

Деятельность оператора по управлению объектом фактически является поведенческим актом, объединяющим как процессы восприятия и переработки информации, так и формирования и выполнение на этой основе двигательных действий. Можно считать установленным [4,5], что в структуре сенсомоторного навыка управления двигательный компонент является интегральным показателем, отражающим полноту и качество переработки оператором информации, поступающей по каналам различных анализаторов. В конечном итоге почти вся информация, воспринимаемая оператором, реализуется в управляющих движениях. Именно, исходя из этого, в [6] оценка имитационной модели производилась по отклонению управлений  $u_c$  реальным объектом и имитационной моделью —  $u_T$ :

$$\hat{u}(t) = u_c(t) - u_T(t). \quad (1)$$

Непосредственно из этого следует, что соответствие систем «оператор — объект — среда» и «оператор — имитационная модель» может оцениваться по (1) и точности воспроизведения характеристик объекта в имитационной модели, исходя из нормы

$$\|\hat{\mathbf{x}}\| = \max_i \max_t |\mathbf{x}_{ic}(t) - \mathbf{x}_{iT}(t)|; \quad (2)$$

где  $\mathbf{x}_{ic}(t)$  — характеристики реального объекта, полученные при его натуральных испытаниях по регламентированным методам;  $\mathbf{x}_{iT}(t)$  — расчетные характеристики объекта.

Естественным образом определилась методика оптимизации в два этапа имитационных моделей с возможностью их корректировки. На первом этапе достигается соответствие технических характеристик модели и реального объекта для разомкнутого контура; на втором обеспечивается сближение управляющих движений оператора.

В качестве управляющих воздействий оператора принимается

$$\overset{\circ}{u}(t) = u(t) - m_u(t),$$

$m_u(t)$  — программное управление (опорная траектория), определяемая в виде

$$m_u(t) = \frac{1}{2T_0} \int_{-T_0}^{T_0} u(t) dt;$$

$T_0$  — длительность реализации.

Возможно аддитивное представление управляющих воздействий как суммы импульсов с различными амплитудами и длительностью

$$\overset{\circ}{u}^k(t) = \sum_i \varphi_i(t - t_i^k)$$

или как поток импульсов и т. д. [7].

При выполнении своих функций человек-оператор во многих случаях действует *в импульсном режиме*; при прогнозировании осуществляет распознавание образов и в течение каждого периода времени использует максимальное управляющее воздействие.

Этап обучения оператора устраняет необходимость сознательного принятия стратегических решений (с низкой информационной пропускной способностью сознательного мышления). При этом адаптивные действия оператора становятся подсознательными. Оператор настолько проникается необходимостью достижения цели, что даже резкие структурные изменения (иногда даже изменения полярности действия элементов) могут не повлиять на качество работы всей системы (человек может и не запомнить этого изменения структуры объекта).

Чтобы определить динамические характеристики системы в процессе функционирования и сохранить оптимум управления (даже при значительном изменении параметров и структуры объекта) оператор опрашивает объект, периодически посылая импульсно-образные сигналы.

Исходя из используемого аналитического представления управляющих воздействий оператора, формируется обобщенный вектор управления

$$\mathbf{U} = \{\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{C}, \varphi, \dots\},$$

зависящий от технических параметров модели, характеризующих их степень влияния на структуру управленческой деятельности оператора.

Использование итеративного подхода для определения параметров структуры управляющих воздействий оператора дало возможность разработки ряда тренажеров специальных транспортных систем [1,6].

#### Литература:

1. A. N. Andreev, A. M. Danilov, B. V. Klyuev, E. V. Lapshin, A. V. Blinov, N. K. Yurkov. Information models for designing conceptual broad-profile flight simulators / Measurement Techniques. — August 2000. — Vol.43. Issue 8. — P.667–672.
2. Данилов, А. М., Лапшин Э. В., Гарькина И. А., Юрков Н. К. Принципы создания сложных управляемых динамических систем применительно к авиационным тренажерам / Информационные технологии в проектировании и производстве. — 2004. — № 2. — с. 53–57.
3. Гарькина, И. А., Данилов А. М., Юрков Н. К. Системный подход к идентификации и управлению качеством, пример реализации / Проектирование и технология электронных средств. — 2009. — № 4. — с. 41–46

4. Будылина, Е. А., Гарькина И. А., Данилов А. М., Дулатов Р. Л. Структурная и параметрическая идентификация сложных эргатических систем / *Фундаментальные исследования*. — 2015. — № 2–5. с. 919–922.
5. Гарькина, И. А., Данилов А. М., Сухов Я. И. Оценка оператором характеристик объекта по управляемости / *Современные проблемы науки и образования*. — 2014. — № 6. — с. 165.
6. Гарькина, И. А., Данилов А. М., Сорокин Д. С. Классификация объектов эргатических систем по их динамическим характеристикам / *Современные проблемы науки и образования*. — 2014. — № 6. — с. 167
7. Данилов, А. М., Гарькина И. А., Домке Э. Р. Математическое моделирование управляющих воздействий оператора в эргатической системе / *Вестник МАДИ*. — 2011. — № 2. — с. 18–23.

## Методологические основы оценки качества имитационных моделей объектов управления

Нугаев Альберт Сергеевич, магистрант;  
Данилов Александр Максимович, доктор технических наук, профессор  
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

*Определяются инженерно-психологические аспекты, непосредственно связанные с оценкой качества имитационного моделирования объектов управления, описываемых системой обыкновенных дифференциальных уравнений в нормальной форме Коши.*

**Ключевые слова:** *транспортные системы, подготовка операторов, качество подготовки операторов, имитационное моделирование объекта управления, критерии качества.*

Основное требование к обучающим комплексам для подготовки операторов эргатических транспортных систем состоит в обеспечении формирования стиля и навыков управления оператором реальным объектом в условиях, когда объект заменяется на имитационную модель [1...3]. Для многоцелевых систем практически отсутствует возможность точного описания объекта его моделью, особенно при противоречивых критериях. Нельзя добиться стопроцентной адекватности модели и реального объекта. Поэтому всегда можно говорить лишь о некоторой заданной степени адекватности, достаточной для решения некоторых основных видов деятельности оператора. Так, навыки управления органами управления летательным аппаратом могут быть сформированы с помощью имитационной модели, весьма далекой от требуемой адекватности. Например, при формировании вполне конкретного стиля управления реальным летательным аппаратом с конкретными динамическими характеристиками первичные навыки обращения с органами управления летательным аппаратом в известной степени такие же, как и при управлении другими техническими объектами. Отсюда следует первый важный вывод: *характеристики имитационной модели должны выбираться, исходя из конкретных задач, которые должны решаться на обучающем комплексе.*

Непосредственно из этого вытекает необходимость решения другой задачи: *как описать навыки и стиль управления, что под этим понимать и как осуществить формализацию этих понятий?* Ясно, что решение этой задачи невозможно без формулировки и описания понятия «управляющее воздействие оператора». В настоящее время обучающие комплексы для транспортных систем представляют собой сложные технические устройства, использующие математическую модель объекта управления (полученную исходя из заданной степени точности). Обычно на временном интервале  $T = \{t, t_0 \leq t \leq t_1\}$  хорошим приближением является модель, описываемая обыкновенными дифференциальными уравнениями в нормальной форме Коши. В векторной форме модель представляется в виде:

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}\mathbf{u}(t); \tag{1}$$

$\mathbf{x} \in X^n, \mathbf{u} \in U^m$  — соответственно векторы состояния и управления;  $t \in T$ ;  $\mathbf{A}, \mathbf{B}$  — матрицы, определяемые техническими параметрами объекта. В (1) предполагается непрерывность по совокупности переменных  $t, \mathbf{x}, \mathbf{u}$  и непрерывная дифференцируемость по  $t$  и  $\mathbf{x}$ . Поведение вектора  $\mathbf{u}$  может быть произвольным; уравнение (1) определяет управляемый процесс. Ход управляемого процесса определяется на некотором интервале  $t_0 \leq t \leq t_1$ , если на этом интервале вектор  $\mathbf{u}$  задан в виде

$$\mathbf{u} = \mathbf{u}(t); \tag{2}$$

$$\mathbf{u} = \mathbf{u}(\mathbf{x}, t). \tag{3}$$

Вектор-функция  $\mathbf{u}(t)$  является программным управлением, а  $\mathbf{u}(\mathbf{x}, t)$  — законом управления. Как видим, каждому выбору вектора управления  $\mathbf{u}$  и каждому начальному состоянию  $\mathbf{x}(t_0) = \mathbf{x}_0$  при  $t = t_0$  по (1) соответствует временная последовательность состояний  $\mathbf{x}(t, \mathbf{x}_0, t_0)$ , которой определяется программное движение системы  $S$ .

Система управлений в соответствии с (1) при заданных начальных условиях имеет вид

$$\mathbf{x}(t) = e^{A(t-t_0)}\mathbf{x}(t_0) + \mathbf{x}_N(t-t_0),$$

$$\mathbf{x}_N(t-t_0) = \int_{t_0}^t \Gamma(t-\tau)\mathbf{B}\mathbf{u}(\tau)d\tau, \quad \Gamma(t-\tau) = e^{A(t-\tau)}. \tag{4}$$

Таким образом, движение объекта описывается уравнением (1) в некоторой области изменения параметров, определяемой эксплуатационным диапазоном его применения. Решение (4) характеризует опорные траектории, соответствующие заданным начальным условиям при выбранном векторе управления  $\mathbf{u} = \mathbf{u}_c(t)$ . Оценка точности воспроизведения характеристик объекта в обучающем комплексе может производиться по соотношению:

$$\|\hat{\mathbf{x}}\| = \max_i \max_t |\mathbf{x}_{ic}(t) - \mathbf{x}_{iT}(t)|;$$

$$\hat{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{x}_c(t) - \mathbf{x}_T(t), \tag{5}$$

где  $\mathbf{x}_{ic}(t)$  — характеристики реального объекта, полученные при его натуральных испытаниях по регламентированным методам;  $\mathbf{x}_{iT}(t)$  — расчетные характеристики объекта при тех же начальных условиях, что и в (1).

Для объекта с системой автоматического управления  $\mathbf{u}(t)$  представляется в виде

$$\mathbf{u}(t) = \mathbf{G}\mathbf{x}(t) + \mathbf{E}\mathbf{x}_{np}(t), \tag{6}$$

$\mathbf{G}, \mathbf{E}$  — соответственно матрицы управления по обратной связи и по вектору программных сигналов  $\mathbf{x}_{np}$ . Решения (1) и (6) для момента времени  $t$  имеют вид:

$$\mathbf{x}(t) = \Phi(t-t_0)\mathbf{x}(t_0) + \Gamma(t-t_0)\mathbf{E}\mathbf{x}_{np}(t_0), \tag{7}$$

$$\Phi(t-t_0) = e^{(A-BG)(t-t_0)}, \Gamma(t-t_0) = \int_{t_0}^t \Phi(t-\tau)\mathbf{B}d\tau, \mathbf{x}_{np}(t) = const.$$

Выражением (7) описываются характеристики контура «объект — САУ».

Как правило, разработка имитационных моделей осуществляется при ограниченных сведениях и неполной информации о динамических свойствах имитируемого объекта. Поэтому нередко точность математической модели (1) по критерию (5) оказывается недостаточной. Необходимы *структурная и параметрическая идентификации объекта (основная техническая проблема синтеза обучающих комплексов, определяющая эффективность и качество подготовки операторов)*.

Обучающий комплекс в настоящее время строится по модульному принципу, каждый из которых является моделью отдельных подсистем. Однако надо помнить, что соединение даже совершенных имитаторов в единую иерархическую структуру может привести к получению суммарных погрешностей моделирования, искажающих воспринимаемую оператором приборную, визуальную, акселерационную и др. информацию. Пришли ко второй основной технической проблеме синтеза обучающих комплексов. Указанные две проблемы являются определяющими при формировании навыка управления на обучающем комплексе. Задача сводится к сравнению двух эргатических систем: «оператор — модель объекта», «оператор — реальный объект». Модель каждой из указанных эргатических систем будет вместо уравнения (1) описываться уравнением вида:

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = (\mathbf{A} - \mathbf{BPC})\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t) = -\mathbf{PC}\mathbf{x}(t), \tag{8}$$

$\mathbf{C}, \mathbf{P}$  — соответственно матрицы параметров информационной модели и оператора.

Если уравнения (1), (3) описывают движения объекта (модели) в контуре управления с САУ, то (9) характеризует эргатическую систему «оператор — объект» («оператор — информационная модель») в режиме ручного управления. Матрицей  $\mathbf{P}$  учитываются особенности восприятия и переработки оператором поступающей информации и формирования на этой основе управляющих движений. Однако невозможно предопределить реакцию оператора на информацию, получаемую в искусственных условиях, когда при обучении используется модель объекта. Это и является основным психофизиологическим аспектом проблемы синтеза обучающих комплексов, влияющим на формирование навыков управления.

Указанные выше аспекты являются методологической основой проектирования обучающих комплексов, которые неоднократно использовались при разработке тренажеров различного назначения [4..6].

Литература:

1. E. Budylna, A. Danilov, I. Garkina. Control of multiobjective complex systems / Contemporary Engineering Sciences, Vol. 8, 2015, no. 10, 441–445. <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.5276>.
2. Данилов, А. М., Гарькина И. А., Дулатов Р. Л. Ретроспективная идентификация сложных систем // Региональная архитектура и строительство. — 2015. — № 1 (22) — с. 130–136.
3. Бudyлина, Е. А., Гарькина И. А., Данилов А. М., Дулатов Р. Л. Структурная и параметрическая идентификация сложных эргатических систем / Фундаментальные исследования. — № 2. — 2015. — с. 919–922.
4. Бudyлина, Е. А., Гарькина И. А., Данилов А. М., Тюкалов Д. Е. Параметрическая идентификация эргатической системы с помехами / Современные проблемы науки и образования. — 2015. — № 1; URL: <http://www.science-education.ru/121-17681>
5. E. Budylna, A. Danilov. Approximation of aerodynamic coefficients in the flight dynamics simulator / Contemporary Engineering Sciences, Vol. 8, 2015, no. 10, 415–420. <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.5256>.
6. A. Danilov, I. Garkina. Coherence function in analysis and synthesis of complex systems / Contemporary Engineering Sciences, Vol. 8, 2015, no. 9, 375–380. <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.5236>.

## **Влияние минеральных солей на интенсивность разрушения устойчивых водонефтяных эмульсий деэмульгаторами в сочетании с микроволновым излучением**

Очилов Абдурахим Абдурасулович, соискатель;  
Адизов Бобир Замирович, кандидат технических наук  
Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

В процессе добычи нефти попутно извлекаются пластовая вода, механические примеси (песок, глина и т.п.) и минеральные соли в виде сложных эмульсий.

Содержание минеральных солей в нефтях месторождений Узбекистана высокое, что вынуждает производителей применять многостадийные процессы их обезвоживания и обессоливания (в промысле, УПН и на нефтеперерабатывающем заводе).

Так, например, в Джаркурганской нефти содержание минеральных солей в среднем составляет 700–800 мг/л, что приводит к интенсивной коррозии трубопроводов и арматуры. Кроме того, высокодисперсные и растворенные минеральные соли повышают устойчивость водонефтяных эмульсий Джаркурганского месторождения и, тем самым, создают комплекс минеральных веществ, участвующих в стабилизации бронирующих оболочек водяных глобул.

Несмотря на то, что хлористых солей в нефтях месторождений Джаркак и Шурчи меньше (385 мг/л и 369 мг/л, соответственно), чем в Джаргурганской нефти, тем не менее их обезвоживание и обессоливание сопровождается значительными отклонениями от норм, установленных в технологическом регламенте [1].

Если учитывать, что при первичной подготовке и отправке на нефтеперерабатывающие заводы преимущественно смешивают нефти различных месторождений, то выяснится причина больших потерь ценного сырья и расходов на его переработку.

Безусловно, для промышленной переработки необходимо подбирать близкие по составу и своим физико-химическим показателям нефти, в частности, по содержанию минеральных солей [2].

Например, не следует нефть Джаркурганского месторождения смешивать с нефтями Джаркакского и Шурчинского месторождений, у которых намного меньше содержания хлористых солей.

Анализ влияния содержания минеральных солей в пластовой воде на качественные показатели местных нефтей Джаркурганского, Шурчинского и Джаркакского месторождений показал, что они ускоряют процесс старения их эмульсий, чем пресная вода.

При обессоливании водонефтяных эмульсий из них удаляют соли в виде водных растворов с размером капель от 1,6 до 250 мкм [3].

Нами изучено влияние СВЧ-обработки на эффективность деэмульгирования местных высокоминерализованных нефтей разрушением водонефтяных эмульсий месторождений Джаркурган, Шурчи и Джаркак.

Опыты проводили на лабораторной установке [4] в присутствии деэмульгатора К-1 в количестве 40 г/т, при вращении мешалки 60 об/мин в течении 10 минут. Для контроля, опыт провели и традиционным способом (без СВЧ — излучения), в тех же режимах путем конвективного нагрева эмульсии до 75–85°C. Полученные результаты представлены в табл. 1.

Из данных табл. 1. видно, что после деэмульгирования водонефтяных эмульсий месторождений Джар-

курган, Шурчи и Джаркак с СВЧ-обработкой, повышается содержание хлористых и щелочных солей в пластовой воде. Причем, больше растворяются в пластовой воде труднорастворимые хлористые соли, что очень важно с практической точки зрения для промыш-

ленной подготовки нефти. При частоте СВЧ — излучения равном 2450 МГц показатели по содержанию хлористых и щелочных солей в водонефтяных эмульсиях местных нефтей начинают стабилизироваться на достигнутом уровне.

Таблица 1. Изменение содержания хлористых и щелочных солей в эмульсии, нефти и пластовой воде до и после деэмульгирования нефти деэмульгатором К-1 в сочетании с СВЧ-излучением и без него

Месторождение	Содержание солей, мг/г					
	в эмульсии		в нефти		в пластовой воде	
	хлористых	щелочных	хлористых	щелочных	хлористых	щелочных
без СВЧ-обработки (контроль):						
Джаркурган	807,5	7,8	310,5	1,4	497,0	6,4
Шурчи	491,0	21,9	73,0	0,6	418	21,3
Джаркак	554,4	17,2	82,4	0,8	472	16,4
с СВЧ-обработкой при частоте излучения — 2450 МГц:						
Джаркурган	807,5	7,8	195,5	0,6	612,0	7,2
Шурчи	491,0	21,9	50,5	0,2	440,5	21,7
Джаркак	554,4	17,2	63,2	0,4	491,2	16,8

Сырые нефти, добываемые в Узбекистане, классифицируются на три группы в зависимости от содержания в них воды и солей (табл. 2.) [5].

Из табл. 2. видно, что после обработки местных нефтей СВЧ — излучением с частотой 2450 МГц наблюдается снижения содержания в них минеральных солей. Причем, чем больше минеральных солей в нефти, тем больше они переходят в состав отделяемых вод.

Опыты показали, что применение СВЧ — излучения при разрушении высокоминерализованных водонефтяных эмульсий Джаркурганского месторождения позволило получить сырые нефти с меньшим содержанием солей, что дало возможность подготовить к переработке нефти II группы вместо группы III. Это значительно позитивно оказывает влияние на технико-экономические показатели

предприятий и способствует повышению качества выпускаемых нефтепродуктов.

В сырых нефтях, добываемых на месторождениях Шурчи и Джаркак, после их СВЧ-обработки при деэмульгировании, значительно снизилось содержание солей, но они оставались в I группе.

При деэмульгировании образцов нефтей эффект от действия СВЧ-излучения достигался при частоте 2450 МГц и дальнейшее его повышение не считалось рациональным.

Как видно, процессы обезвоживания и обессоливания местных нефтей тесно взаимосвязаны и на сегодняшний день требуют коренного совершенствования действующей технологии с применением современных СВЧ — излучений.

Таблица 2. Изменение содержания воды и солей в местных сырых нефтях без и с СВЧ-обработкой их при деэмульгировании деэмульгатором К-1

Месторождение нефти	Содержание воды, %			Содержание солей, мг/г		
	Группа сырой нефти			Группа сырой нефти		
	I	II	III	I	II	III
По ТУ TSH 39.0–176:1999, не более (контроль)	0,5	1,0	1,0	100,0	300,0	1800
без СВЧ-обработки (контроль):						
Джаркурган	-	-	0,85	-	-	311,4
Шурчи	0,50	-	-	73,6	-	-
Джаркак	0,48	-	-	83,2	-	-
с СВЧ-обработкой при частоте излучения — 2450 МГц:						
Джаркурган	-	0,98	-	-	196,1	-
Шурчи	0,47	-	-	50,7	-	-
Джаркак	0,46	-	-	63,6	-	-

Причем, нормы по соли на многих месторождениях нефти при их отгрузке сегодня превышают допустимые пределы. Это объясняется расположением месторождений в засоленных зонах и высокоминерализованностью пластовых вод, а также (в ряде случаев) дополнительным применением щелочных и других ПАВ для повышения нефтеотдачи пластов [5]. Все это отрицательно

отражается на разрушении устойчивых водонефтяных эмульсий местных нефтей и на их качестве.

Таким образом, используя СВЧ-обработку высокоминерализованных устойчивых водонефтяных эмульсий можно повысить качество получаемой нефти и снизить в нем содержание солей, что положительно влияет на его переработку.

#### Литература:

1. Инструкция по стабилизации работы ступеней предварительного обезвоживания установок подготовки нефти в условиях применения химреагентов в нефтедобыче. РД 153–39, 0–390–05., Бугульма.: 2005. 23 с.
2. Багиров, И. Т. Современные установки первичной переработки нефти. Баку.: 1998. — 125 с.
3. Рудин, М. Г., Драбкин А. Е. Краткий справочник нефтепереработчика. — М.: Химия, 1989. — 382 с.
4. Адизов, Б. З. Разрушение высокоминерализованных эмульсий местных нефтей разработанными деэмульгаторами в сочетании с микроволновым излучением. Автореф..., канд. Техн. Наук., Ташкент, ИОНХ АН Рuz, 2009–26 с.
5. Влияние химических реагентов, применяемых при добыче нефти на устойчивость нефтяных эмульсий /Губайдуллин Ф. Р., Татьяна О. С., Космачева Т. Ф. и др. Нефтяное хозяйство. 2003. — № 8. — с. 68–70.

## Разрушение устойчивых водонефтяных эмульсий местных нефтей деэмульгаторами серии Д

Очилов Абдурахим Абдурасулович, соискатель  
Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

В настоящее время на большинстве месторождений нефти Узбекистана наблюдается образование устойчивых водонефтяных эмульсий, для разрушения которых требуются большие материальные и временные затраты. К последним относятся дорогостоящие деэмульгаторы, завозимые по импорту из-за рубежа. Так, например, дорогостоящие деэмульгатор К-1, производимые в КНР расходуются в значительных количествах и отрицательно сказывается на себестоимости получаемых нефтей.

С целью импортозамещения в работе (1) были предложены технологии синтезе деэмульгаторов серии-Д, получаемые из местных сырых жирных кислот хлопкового госсипола. Нами, используя данные деэмульгаторы проведены исследования по разрушению устойчивых водонефтяных эмульсий местных нефтей деэмульгаторами серии-Д (1.2.) линолево-олеиновой фракции сырых жирных кислот хлопкового госсипола. Д-2 был получен сульфированием метилового эфира линолево-олеиновой фракции сырых жирных кислот хлопкового госсипола.

Деэмульгирование устойчивых эмульсий местных нефтей на известном К-1 (КНР) и синтезированных (1). При этом анализ полученных нефтей осуществляем стандартными методами (3).

На практике подбор деэмульгаторов для разрушения устойчивых водонефтяных эмульсий осуществляется

опытным способом с целью определения оптимальных технологических режимов (температура, скорость перемешивания, расход деэмульгатора и т.п.) осуществления данного процесса.

Причем, чем сложнее состав устойчивой водонефтяной эмульсии, тем труднее осуществить его разрушение, даже при высоком избытке применяемого деэмульгатора.

Ранее (4) уже отмечалась многокомпонентность состава и содержание компонентов в местных нефтях, образующих устойчивых водонефтяные эмульсии из-за присутствия в них большого количества смол, асфальтенов, парафина, солей и др.

Оценка эффективности процесса разрушения устойчивых водонефтяных эмульсий производилась при температуре 60°C с фиксацией времени отстоя ( ) и степени их обезвоживания (%).

В табл. 1. представлены результаты опытов, полученных при разрушении устойчивых водонефтяных эмульсий месторождений Джаркургана, Шурчи и Джаркака.

Из табл. 1. видно, что синтезированные деэмульгаторы Д-1, Д-2, Д-3 являются более активными в сравнении с известным К-1 (КНР).

Синтезированные деэмульгаторы: Д-1 — оксигетиллированный эфир линолево-олеиновой фракции СЖК действует на 10–15%; Д-2 — сульфированный эфир

линолево-олеиновой фракции СЖК — на 15–20%; Д-3-фосфати-роанный эфир линолево-олеиновой фракции СЖК — на 20–25% более эффективнее, чем используемый в практике деэмульгатор К-1 (КНР).

Известно, ВТО повышение температуры обычно положительно влияет на деэмульгирующую способность деэмульгаторов, поэтому нами проведено исследование зависимости эффективности действия разработанных деэмульгаторов от температуры. Опыты проводили с деэ-

мульгаторами Д — 1 и Д — 3 при их расходе в 0,01% от общего веса разрушаемых эмульсий. Полученные результаты представлены в табл. 2.

Из табл. 2. видно, что с повышением температуры от 20 до 80°C всех образцов эмульсий в среднем время отстоя уменьшается на 3,0–3,5 часа.

Причем, наименьшее время отстоя для их разрушения достигается при воздействии деэмульгатором Д-3. По сравнению с известным деэмульгатором К-1, (КНР) деэ-

Таблица 1. Показатели процесса разрушения устойчивых водонефтяных эмульсий местных нефтей известным К-1 (КНР) и синтезированными деэмульгаторами Д-1, Д-2 и Д-3

Наименование место-рождения эмульсии	Расход деэмульгатора, %	Время отстоя эмульсии, ч	Степень обезвоживания эмульсии, %
<b>Деэмульгатор К-1 (контроль)</b>			
Джаркурган	0,010	6,5	32,1
	0,015	6,0	38,4
	0,020	5,7	49,3
Шурчи	0,010	5,3	38,7
	0,015	4,9	52,0
	0,020	4,1	77,1
Джаркак	0,010	5,5	36,1
	0,015	5,0	51,5
	0,020	4,0	76,2
<b>Деэмульгатор Д-1</b>			
Джаркурган	0,010	6,4	34,2
	0,015	5,8	40,5
	0,020	5,6	51,7
Шурчи	0,010	5,1	40,5
	0,015	4,8	53,9
	0,020	5,6	79,2
Джаркак	0,010	5,4	38,0
	0,015	5,0	52,4
	0,020	4,0	77,8
<b>Деэмульгатор Д-2</b>			
Джаркурган	0,010	Г 6,5	33,5
	0,015	5,9	42,3
	0,020	5,5	52,0
Шурчи	0,010	5,2	42,3
	0,015	4,9	55,8
	0,020	4,0	82,0
Джаркак	0,010	5,5	41,1
	0,015	5,1	54,8
	0,020	4,1	79,7
<b>Деэмульгатор Д-3</b>			
Джаркурган	0,010	6,3	38,4
	0,015	6,0	42,7
	0,020	5,4	53,5
Шурчи	0,010	5,3	42,9
	0,015	5,0	55,2
	0,020	4,0	82,6
Джаркак	0,010	5,3	41,0
	0,015	5,0	55,2
	0,020	4,0	81,4

Таблица 2. Влияние деэмульгаторов на время отстоя (час) водонефтяных эмульсий в зависимости от температуры

Температура, °С	Месторождение		
	Джаркурган	Шурчи	Джаркак
Деэмульгатор К-1			
20	15,0	12,0	11,5
40	14,5	9,0	8,5
60	13,5	6,5	6,0
80	12,0	6,0	5,5
Деэмульгатор Д-1			
20	14,5	11,5	11,0
40	13,5	8,5	8,0
60	13,0	6,0	5,5
80	11,0	5,5	5,0
Деэмульгатор Д-2			
20	14,0	11,0	10,5
40	13,5	8,0	7,5
60	12,5	5,5	5,0
80	10,0	5,0	4,5
Деэмульгатор Д-3			
20	13,0	10,5	10,0
40	12,5	7,5	7,0
60	12,0	5,0	4,5
80	9,5	4,5	4,0

мульгатор Д-1 позволяет сократить время отстоя эмульсий на 0,5 часа, Д-2 — на 1,0 час и Д-3 — на 1,5 часа.

В производственных условиях прогрев устойчивых водонефтяных эмульсий сопряжен со значительными энергетическими и материальными затратами. Поэтому, чаще ограничиваются нагревом эмульсий до 60°С.

Остаточное содержание воды в нефтях после разрушения устойчивых водо-нефтяных эмульсий месторождений Джаркурган, Шурчи и Джаркак служит одним из важным показателей успеха процесса деэмульгирования нефтей реагентами.

В связи с этим, проведена серия опытов по разрушению устойчивых водонефтяных эмульсий при темпе-

ратуре 60°С в присутствии различного количества исследуемых деэмульгаторов. Полученные результаты представлены в табл.3.

Из данных табл. 3. видно, что с увеличением расхода изученных деэмульгаторов наблюдается уменьшение остаточного содержания воды в нефтях.

Сокращается также время отстоя при этом. Из рассмотренных деэмульгаторов наилучшие результаты достигнуты при использовании Д-2 и Д-3. Обобщая полученные результаты исследования можно сделать вывод о том, что разработанные деэмульгаторы, особенно Д-1 и Д-3 по своей активности не уступают известному импортному деэмульгатору К-1.

Таблица 3. Содержание остаточной воды (%) в местных нефтях после их деэмульгирования различными деэмульгаторами при разных их расходах

Наименование деэмульгатора	Расход деэмульгатора, г\т	Месторождение нефти		
		Джаркурган	Шурчи	Джаркак
К-1	50	1,5 (6,5) *	0,9 (6,3)	1,1 (6,2)
Д-1	50	1,3 (6,3)	0,9 (6,1)	1,0 (6,3)
Д-2	50	1,3 (6,3)	0,8 (6,2)	1,1 (6,1)
Д-3	50	1,2 (6,2)	0,8 (6,1)	1,0 (6,1)
К-1	60	1,3 (6,4)	1,0 (6,0)	1,0 (6,1)
Д-1	60	1,2 (6,3)	0,9 (6,0)	0,8 (6,2)
Д-2	60	1,2 (6,2)	0,7 (6,1)	0,8 (6,1)
Д-3	60	1,1 (6,1)	0,6 (6,2)	0,7 (6,0)

\*-в скобках указано водонефтяной эмульсии.

Следовательно, импортозамещение в данном случае позволит нефтеперерабатывающим предприятиям снизить себестоимость получаемых продуктов и повысит их качество. Таким образом проведенные исследования показывают, что путем оксигенирования, сульфирования и фосфотирования основы (метилового эфира линолево-олеиновой фракции СЖК) можно получить эффективные деэмульгаторы (соответственно Д-1, Д-2 и Д-3) с различной сте-

пенью активности. При этом по деэмульгирующей способности разработанные деэмульгаторы располагаются в следующей (известный К-1 приведен для сравнения):

$$Д-3 > Д-2 > Д-1 > К-1$$

Причем, с повышением температуры от 20 до 80°C эффективность деэмульгирования местных нефтей разрушением их устойчивых водонефтяных эмульсий исследуемыми деэмульгаторами усиливается.

Литература:

1. Адизов, Б. З. Разрушение высокоминерализованных эмульсий местных нефтей разработанными деэмульгаторами в сочетании с микроволновым излучением. Дисс. канд. техн. наук. Ташкент, ИОНХ АН РУз, 2009—126 с.
2. Рябов, В. Д. Физико-химические методы исследования углеводородов и других компонентов нефти. — М. ГАНГ. 2006. — 315 с.
3. Адизов, Б. З., Абдрахимов С. А., Атауллаев Ф. Ш. Особенности состава и свойств местных водонефтяных эмульсий // Узбекский журнал нефти и газа. Ташкент, 2008. № 2, с. 10—11.

## Методические указания по проведению экспертных обследований вентиляторов местного проветривания ВМЭ-6, ВМЭ-6/1

Пальцев Сергей Анатольевич, эксперт;  
Нижегородов Владимир Александрович, эксперт;  
Алексеев Андрей Викторович, эксперт  
АНО «РегионЦентр» (г. Кемерово)

*Разработана методика по проведению экспертных обследований вентиляторов местного проветривания с целью определения соответствия технических устройств требованиям промышленной безопасности и возможности их дальнейшей эксплуатации.*

### 1. Общие положения

Настоящими методическими указаниями рассмотрены общие требования по проведению экспертных обследований вентиляторов местного проветривания типа ВМЭ-6, ВМЭ-6/1 с оценкой технического состояния элементов (деталей), в том числе электродвигателя, и возможности дальнейшей их эксплуатации.

Экспертное обследование вентиляторов проводится по истечении срока службы, установленного заводом-изготовителем, а в дальнейшем в сроки, определенные предыдущими экспертными обследованиями.

Экспертное обследование может проводиться в соответствии с решением комиссии по результатам расследования аварии (инцидента), а также при наличии предписаний органов Ростехнадзора о проведении такого обследования.

### 2. Организация экспертного обследования

Экспертное обследование осуществляется в порядке, определенном федеральными нормами в области промышленной безопасности «Правила проведения экс-

пертизы промышленной безопасности», утвержденными приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору № 538 от 14.11.2013 г.

До начала проведения обследования экспертами должна быть проанализирована представляемая заказчиком следующая техническая документация:

- сертификат соответствия на применение вентилятора;
- паспорт (формуляр) с указанием зав. № вентилятора;
- руководство по эксплуатации (РЭ);
- график ППР и его выполнение;
- сведения об авариях, инцидентах, отказах;
- сведения о наработке (в часах) за весь период эксплуатации.

До проведения экспертного обследования должна быть составлена рабочая карта с учетом требований настоящих Методических указаний.

Обследование вентиляторов, как правило, следует проводить в сухом отапливаемом помещении (мехцех, электроцех или др.), оснащенном грузоподъемными средствами. В ходе обследования вентилятор (в т.ч. электродвигатель) подлежит полной разборке. Такому обследованию перед спуском в шахту подлежат отработавшие

расчетный ресурс вентиляторы, поступившие из ремонта с ремонтного предприятия (завод, центральные электро-механические мастерские или др.).

### 3. Вибродиагностическое обследование

Обследование состояния механической части вентилятора включает проведение вибрационного контроля при работающем электродвигателе.

Оценка опасности обнаруженных дефектов дается в соответствии с нормативно-технической документацией.

При выявлении недопустимых (по нормам браковки) величин при измерении виброскорости, виброперемещений, виброускорений должны быть выявлены причины, вызвавшие повышенные вибрации, и даны рекомендации по устранению дефекта (ремонт или замена отдельных деталей или узлов вентилятора).

### 4. Обследование механической части

Подлежат проверке следующие элементы (в части исправности и соответствия чертежам).

#### 4.1. Рабочее колесо:

- сохранность лопаток (материал — полиамид со стальной арматурой);
- соответствия положения каждой лопатки (по углу установки);
- прочность закрепления лопаток рабочего колеса — исправность резьбовой части «ножки».

#### 4.2. Входной коллектор (на всасе).

4.3. Противосрывное устройство (перед рабочим колесом).

#### 4.4. Ограждающая решетка (на всасе вентилятора).

*Примечание: в соответствии с РЭ запрещается работа вентилятора без ограждающей решетки и корпуса противосрывного устройства.*

4.5. Кожух со спрямляющими лопатками.

*Примечание: не допустимы вмятины на кожухе в зоне рабочего колеса.*

4.6. Глушитель шума (с центральной вставкой, внутрь которой закладывается звукопоглощающий материал).

4.7. Присоединительный патрубок с хомутом для крепления трубы прорезиненной.

4.8. Салазки для транспортирования вентилятора и скобы для подвески.

4.9. Кольцо и болты М16 (4 шт.) для крепления электродвигателя к кожуху вентилятора.

### 5. Обследование электродвигателя

5.1. Соответствие размеров щелей взрывозащиты вводного устройства и станины с подшипниковыми щитами.

5.2. Соответствие резиновых уплотнительных колец во вводном устройстве.

5.3. Сопротивление изоляции обмотки статора (не менее 1 Мом).

5.4. Состояние термодатчиков ДТР-212 (в статорной обмотке электродвигателя 2ВРМ 160 М2), фактическая температура срабатывания.

5.5. Износ подшипников и их смазка.

*Примечание: подшипники заполнены смазкой, рассчитанной на срок службы подшипников без ее пополнения.*

### 6. Рабочая карта экспертного обследования

Рекомендуемая форма

Тип вентилятора \_\_\_\_\_.

Зав. № \_\_\_\_\_.

Год выпуска \_\_\_\_\_.

Год ввода в эксплуатацию \_\_\_\_\_.

Завод-изготовитель \_\_\_\_\_.

Таблица 1

Условный номер документа, составной части вентилятора	Наименование документа, составной части вентилятора	Оценка состояния	Нарушение ведения документа, дефект оборудования
01	Техническая документация		
01-01	Разрешение Ростехнадзора		
01-02	Паспорт (формуляр)		
01-03	Руководство по эксплуатации (РЭ)		
01-04	График ППР		
01-05	Сведения об авариях, инцидентах, отказах		
01-06	Наработка _____ час		
02	Идентификация вентилятора		
03	Сведения о вибродиагностике		
04	Оценка составных частей		
04-01	Рабочее колесо		
04-02	Входной коллектор		
04-03	Противосрывное устройство		

04–04	Ограждающая решетка		
04–05	Спрямяющие лопатки		
04–06	Глушитель шума		
04–07	Присоединительный патрубков		
04–08	Салазки и скобы (для подвески)		
04–09	Элементы крепления электродвигателя к кожуху		
05	Электродвигатель		
05–01	Взрывозащита		
05–02	Уплотнительные кольца		
05–03	Сопротивления изоляции, факт. _____		
05–04	Термодатчики ДТР-212		
05–05	Износ и смазка подшипников		

### 7. Средства измерений и инструменты для проведения экспертного обследования

№ п/п	Наименование прибора, инструмента	Диапазон измерений
1	Штангенциркуль двухсторонний с глубиномером	0–125 мм
2	Линейка измерительная металлическая	0–500 мм 0–1000 мм
3	Рулетка в закрытом корпусе самосвертывающаяся	0–2000 мм
4	Микрометр	25–50 мм
5	Щупы № 2 и № 4	0,02–0,5 мм 0,1–1,0 мм
6	Лупа складная карманная	Увеличение 6-кратное
7	Лупа измерительная	Увеличение 10-кратное
8	Мегомметр М11021	2500 В
9	Мегомметр М 4100/5	1000 В
10	Ключи гаечные двухсторонние	Зев. 3,2x4–75x80
11	Ключи торцовые	Размер под ключ 2,5–36 мм
12	Молоток слесарный	Масса 0,2–0,4 кг
13	Плоскогубцы	Ширина губок 8–12 мм
14	Отвертки слесарно-монтажные	Комплект
15	Зубила слесарные	Ширина резца 5–20 мм

### 8. Оформление экспертного заключения

Оформление заключения по результатам экспертизы и утверждение его проводится в порядке, установленном [1]. Форма заключения рекомендована Консультативным советом по экспертизе промышленной безопасности при Южно-Сибирском управлении Ростехнадзора (протокол № 4–2010 от 22.06.2010 г.).

Заказчику направляется копия проекта заключения экспертизы, а также перечень выявленных в процессе экспертизы недостатков.

Эксплуатирующая организация разрабатывает план мероприятий по устранению недостатков, который согласовывается с экспертной организацией и территориальным органом Ростехнадзора.

План мероприятий выполняет заказчик или специализированная организация по поручению заказчика.

О выполнении плана руководитель эксплуатирующей организации обязан официально уведомить руководителя экспертной организации.

По окончании экспертизы:

- заказчику (эксплуатирующей организации) передается подписанное руководителем экспертной организации и утвержденное в установленном порядке заключение с приобщенными к нему актами (протоколами);
- в формуляр (паспорт) вносится запись о ее результатах (с указанием даты и номера соответствующего заключения). При наличии дефектов эта запись вносится после выполнения плана мероприятий.

Копия экспертного заключения хранится в экспертной организации до вывода вентилятора из эксплуатации.

Литература:

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности», утвержденными приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору № 538 от 14.11.2013 г.
2. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах», утверждённые приказом Ростехнадзора от 19.11.2013 г. № 550, зарегистрированные в Минюсте России 31.12.2013 г., рег. № 30961.
3. Вентилятор местного проветривания типа ВМЭ. Руководство по эксплуатации ВМЭ-6, ВМЭ-6/1 РЭ.

## Исследование свойств геополлимерных вяжущих при длительном твердении

Полубаров Евгений Николаевич, магистрант;

Ерошкина Надежда Александровна, кандидат технических наук, инженер-исследователь;

Коровкин Марк Олимпиевич, кандидат технических наук, доцент

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

*Приведены результаты исследования прочности и усадки геополлимерного вяжущего на основе измельченного отсева дробления габбро-диабазы при длительном твердении. Показано, что исследованное вяжущее после твердения во влажных условиях способно набирать прочность в сухих условиях при длительном твердении.*

**Ключевые слова:** минерально-щелочное вяжущее, геополлимерное вяжущее, магматическая горная порода, доменный шлак.

В последнее время в России и за рубежом выполнено большое число исследований по разработке новых разновидностей и совершенствованию шлакощелочных, геополлимерных и других вяжущих, получаемых при щелочной активации шлаков и алюмосиликатных пород [1, 2]. В Пензенском ГУАС получены геополлимерные вяжущие на основе отходов добычи и переработки алюмосиликатных магматических горных пород и шлаков [3–5]. Эти вяжущие обладают высокой прочностью, водостойкостью и низким водопоглощением при длительном выдерживании образцов в воде [2, 4]. Изменение свойств геополлимерных вяжущих при эксплуатации в воздушно-сухих условиях является малоизученной проблемой. В данной работе были проведены исследования по оценке влияния воздушно-сухих условий на изменение прочности и усадочные деформации геополлимерного вяжущего.

### Методы и материалы

Исследования проводились в 2 этапа. На первом этапе были изучены свойства образцов после твердения в нормально-влажностных условиях. На втором этапе образцы находились в воздушно-сухих условиях лаборатории с температурой 17–25 °С и влажностью 60–80% в течение 11 месяцев.

Вяжущие изготавливались из шлака и отсева дробления габбро-диабазы, измельченных до дисперсности 380 и 500 м<sup>2</sup>/кг, соответственно. Для активизации процесса твердения использовались щелочные активаторы: товарное жидкое стекло на натриевой основе (Щ<sub>1</sub>)

и NaOH (Щ<sub>2</sub>). Содержание указанных компонентов в составе вяжущего назначалось в соответствии с планом четырехфакторного рототабельного эксперимента. В качестве факторов были исследованы:  $x_1$  — содержание шлака по отношению к габбро-диабазе (Ш/Г),  $x_2$  — отношение активатора Щ<sub>1</sub> к твердому компоненту вяжущего (Щ<sub>1</sub>/Т),  $x_3$  — отношение жидкой составляющей к твердому (Ж/Т) и  $x_4$  — содержание щелочи Щ<sub>2</sub>. Основные уровни и интервалы варьирования для факторов были назначены следующие:  $x_1 = 3 \pm 1$ ;  $x_2 = 21 \pm 5$ ;  $x_3 = 3 \pm 0,3$ ;  $x_4 = 3 \pm 1$ .

Исследование прочностных свойств проводилось на образцах с размерами 20'20'20 мм, а измерение усадочных деформаций — на образцах с размерами 20'20'100 мм, изготовленных из растворных смесей при соотношении вяжущего к растворной части 1:1.

### Результаты и их обсуждение

После статистической обработки влияния исследованных факторов на прочность вяжущего в возрасте 28 суток было составлено уравнение  $R_{28} = 44,74 - 7,125 \cdot x_1 + 5,1583 \cdot x_2 + 1,9833 \cdot x_3 + 3,6 \cdot x_4 - 1,3125 \cdot x_1 \cdot x_2 - 1,8875 \cdot x_1 \cdot x_3 - 3,0875 \cdot x_2 \cdot x_3 + 4,0875 \cdot x_3 \cdot x_4 - 2,3728 \cdot x_3^2 - 3,1478 \cdot x_4^2$ . Из уравнения видно, что прочность возрастает с увеличением содержания в смеси шлака, активатора Щ<sub>1</sub> и Щ<sub>2</sub>, и с уменьшением содержания Ж/Т. Однако, последний из указанных факторов в меньшей степени влияет на повышение прочности. Графическая интерпретация уравнения приведена на рис. 1.

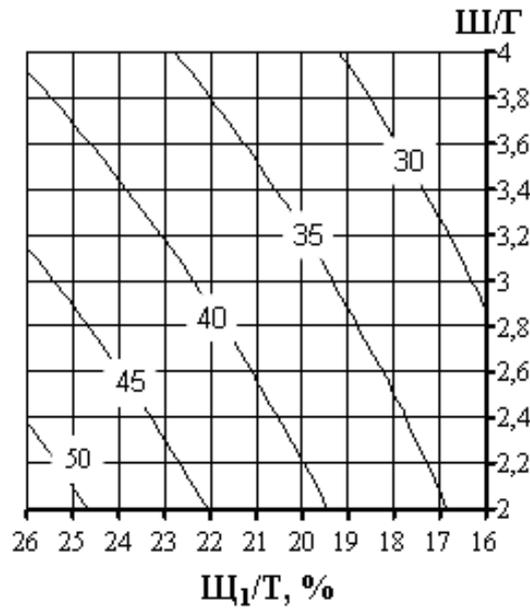


Рис. 1. Прочность через 28 суток, МПа

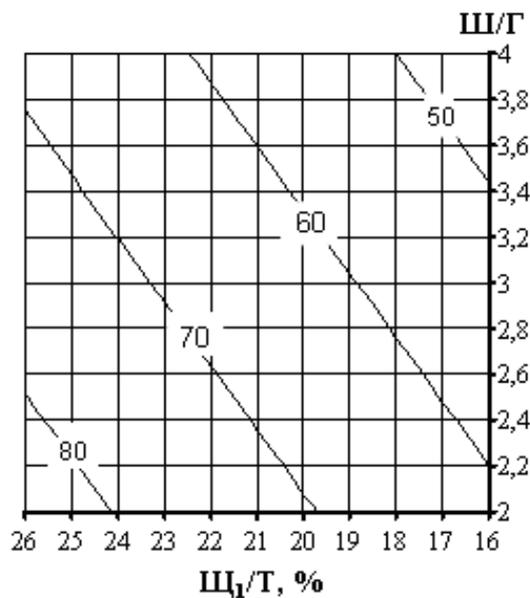


Рис. 2. Прочность при твердении в воздушно-сухих условиях, МПа

Прочность вяжущего при последующем твердении в сухих условиях лаборатории описывается зависимостью  $R = 56,112 - 8,1 \cdot x_1 + 10,508 \cdot x_2 + 8,7 \cdot x_3 + 1,8667 \cdot x_4 + 1,9125 \cdot x_2 \cdot x_3 - 1,1375 \cdot x_2 \cdot x_4$ . В соответствии с уравнением наибольшее влияние на прочность оказывает содержание щелочного активатора  $Щ_1$  и примерно одинаковое влияние — содержание шлака и жидкой составляющей, а содержание щелочи  $Щ_2$  оказывает на прочность незначительное влияние. Наглядно характер формирования прочности вследствие адсорбции влаги из окружающей среды лаборатории показан на рис. 2. Прирост прочности по отношению к прочности, достигнутой на 28 сутки, в составах с наименьшим количеством шлака ( $Ш/Г=3,6-4$ ) и  $Щ_1$  ( $Щ_1/Т \leq 16\%$ ) дости-

гает 100%, а в составах с наибольшим количеством шлака и жидкого стекла составляет 60%.

Деформации усадки вяжущего в возрасте 28 суток при твердении в нормально-влажностных условиях описываются уравнением  $\zeta = 0,5292 + 0,54375 \cdot x_1 - 1,962 \cdot x_2 - 0,419 \cdot x_3 - 0,4319 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,2494 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,2444 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0,4669 \cdot x_2 \cdot x_4 - 0,3931 \cdot x_3 \cdot x_4 - 0,4197 \cdot x_2^2 - 0,386 \cdot x_3^2 - 0,3072 \cdot x_4^2$ . Анализ уравнения показывает, что на развитие усадки наибольшее влияние оказывают содержание активатора жидкого стекла и отношение жидкости к твердому веществу. На рис. 3 показан график зависимости усадки от  $Щ_1/Т$  и  $Ж/Т$ . С уменьшением отношений  $Щ_1/Т$  и  $Ж/Т$  усадка возрастает с 0,3 до 0,7 мм/м.

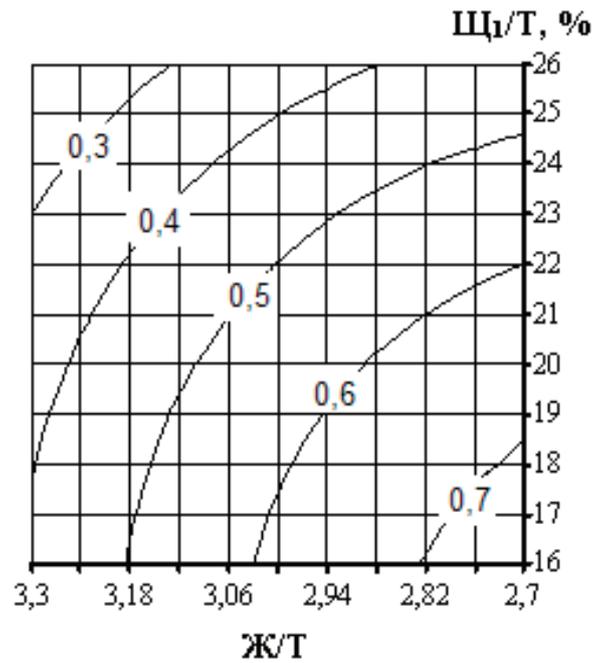


Рис. 3. Усадка геополимерного вяжущего через 28 суток твердения, мм/м

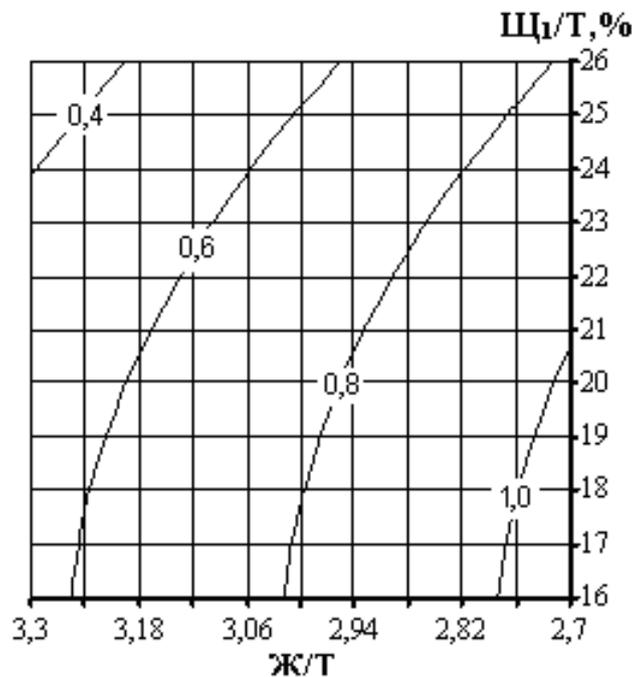


Рис. 4. Усадка через 60 суток твердения в воздушно-сухих условиях лаборатории, мм/м

При дальнейшем твердении образцов вяжущего в воздушно-сухих условиях усадочные деформации возрастают и достигают на 60 сутки значений 0,8–1,1 мм/м (рис. 4).

Развитие усадочных деформаций геополимерного вяжущего продолжается в течение года. К этому времени в зависимости от соотношений Щ<sub>1</sub>/Т и Ж/Т образцы вяжущих имеют усадку в интервале от 0,7 до 1,3 мм/м (рис. 5).

### Заключение

В ходе эксперимента было показано, что геополимерное вяжущее на основе габбро-диабазы с добавкой шлака способно набирать прочность не только в нормально-влажностных условиях, но и в воздушно-сухих условиях при длительном твердении. Эта особенность вяжущего может служить своего рода гарантией его долговечности.

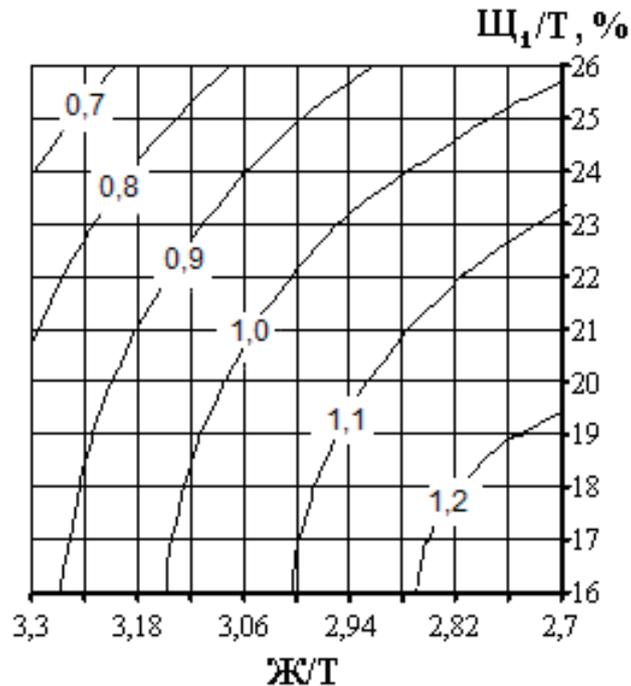


Рис. 5. Усадка через 360 суток твердения в воздушно-сухих условиях, мм/м

Литература:

1. Davidovits, J. High-Alkali Cements for 21<sup>st</sup> Century Concretes / J. Davidovits // Concrete Technology, Past, Present and Future: proceedings of Symposium. 1994. P. 383–397.
2. Davidovits, J. Geopolymer chemistry and applications. 3<sup>rd</sup> edition. — France, Saint-Quentin: Institute Geopolymer, 2011. — 614 p.
3. Ерошкина, Н.А. Вяжущее, полученное из магматических горных пород с добавкой шлака, и бетон на его основе / Н.А. Ерошкина, В.И. Калашников, М.О. Коровкин // Региональная архитектура и строительство. 2011. № 2. с. 62–65.
4. Ерошкина, Н.А. Геополимерные вяжущие на базе магматических горных пород и бетоны на их основе / Н.А. Ерошкина, М.О. Коровкин // Цемент и его применение. 2014. № 4. с. 107–113.
5. Ерошкина, Н.А. Исследование вяжущих, полученных при щелочной активизации магматических горных пород / Н.А. Ерошкина // Строительство и реконструкция. 2011. № 1. с. 61–65.

## Технологический режим эксплуатации скважин месторождения Зеварды

Раджабов Сухроб Раджабович, магистрант;  
 Базаров Гайрат Рашидович, доцент  
 Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

Под технологическим режимом эксплуатации газовых скважин понимается поддержание на забое (устье) скважин или наземных сооружений заданных условий изменения дебита или (и) давления, осуществляемых путем их регулирования и обеспечивающих соблюдения правил охраны недр, окружающей среды и безаварийную эксплуатацию скважин. С математической точки зрения режим эксплуатации скважин определяет граничные условия на

забое (устье) скважин, знать которые необходимо для интегрирования уравнения фильтрации газа к скважинам при прогнозировании разработки месторождений природного газа.

Изучению технологического режима эксплуатации газовых скважин посвящены работы исследователей А.А. Брискмана, Г.А. Зотова, А.К. Иванова, А.Л. Козлова, Ю.П. Каратаева, Б.Б. Лапука, М. Маскета,

Б. М. Минского. А. С. Смирнова, А. И. Ширковского и других.

Методика определения параметров технологического режима эксплуатации газовых скважин по методу последовательной смены стационарных состояний детально разработана и широко используется при проектировании разработки газовых и газоконденсатных месторождений. Расчеты при этом сводятся к совместному решению уравнения истощения залежи и уравнения притока газа к забою с заданием в последнем определенных соотношений между забойным давлением и дебитом в зависимости от выбранного режима работы скважины.

В практике проектирования и разработки газоконденсатных месторождений наибольшую известность получили шесть технологических режимов эксплуатации скважин:

режим постоянного градиента на стенке забоя скважины;

режим постоянной депрессии на пласт;

режим постоянного дебита;

режим постоянной скорости фильтрации на забое скважины;

режим постоянного забойного давления;

режим постоянного давления на устье скважины.

При обосновании технологического режима эксплуатации учитываются природные и технологические факторы, а при его оптимизации — экономические критерии. В зависимости от этих факторов, с целью предотвращения разрушения породы, слагающей пласт, конусообразования, гидратообразования, уменьшения выпадения конденсата в пласте, увеличения пропускной способности системы сбора и подготовки газа, поддержания заданного давления на входе и (или) выходе потребителя (ДКС, ГПЗ, магистральный газопровод), задается тот или иной из вышеперечисленных режимов работ скважин.

Наиболее широкое распространение в промышленной практике получил режим постоянной депрессии на пласт, критериями которого являются прежде всего предотвращения разрушения пород и (или) подтягивания конуса пластовой воды к забою скважины. Для месторождений Зевардинской группы эти критерии не являются определяющими из-за их природных особенностей. Действительно, карбонатные коллектора, слагающие залежи этих месторождений, выдерживают значительные депрессии на пласт (200 кг/см<sup>2</sup> и выше), не разрушаясь при этом. Не отмечены также конусообразования, за более чем 20-ти летнюю эксплуатацию газовых скважин рассматриваемых месторождений.

Как показывает многолетняя практика разработки, широкомасштабное освоение газоконденсатных месторождений, содержащих агрессивные компоненты (сероводород, углекислых газ) в составе пластового газа, технологический режим должен, при соблюдении прочих отмеченных выше ограничений, обеспечивать в первую очередь бескоррозионные условия эксплуатации скважин.

Результаты многочисленных промысловых и лабораторных исследований показывают, что при известных концентрациях агрессивных компонентов и влаги в добываемом газе, давлений и температуре существует некоторая скорость потока газа, превышение которой приводит к заметному увеличению скорости коррозии металла скважинного оборудования. В процессе этих исследований установлено, что при вводе в поток газа ингибитора скорость коррозии остается практически постоянной и незначительной в достаточно большом диапазоне изменения скорости газожидкостного потока. При дальнейшем увеличении скорости потока газа с определенного момента времени скорость коррозии резко возрастает и приближается к скорости в незащищенной ингибитором скважине. Величина предельной скорости потока газа зависит от многих факторов, преобладающими из которых являются термодинамические условия, состав газа, количество конденсата, наличие влаги и механических примесей.

При известной конструкции с постоянным диаметром фонтанных труб, своего максимального значения скорость потока добываемого газа достигает на устье скважины. То есть устье скважины наиболее подвержено опасности коррозии, и целесообразнее всего назначить ограничение на устьевую скорость потока газа. На основании выше изложенного, при проектировании разработки Зевардинской группы месторождений, технологический режим эксплуатации скважин был принят исходя из условия поддержания предельной скорости потока на устье — 10 м/с. При этом обеспечивались максимально возможные дебиты газодобывающих скважин и соблюдалась эффективная защита скважинного оборудования от коррозии и требования по охране недр.

Практика проектирования и разработки сероводородсодержащих месторождений свидетельствует, что при эксплуатации скважин в режиме постоянной скорости потока газа на устье скважины, величина рабочей депрессии на пласт и характер её изменения во времени в значительной мере зависят от фильтрационных характеристик вмещающих коллекторов. Разработка месторождений с плохими фильтрационными свойствами коллекторов протекает при более высоких депрессиях и резком снижении их во времени. В случае высоких фильтрационных свойств, эксплуатация скважин в режиме поддержания постоянной устьевой скорости потока газа протекает практически при постоянной депрессии на пласт. Действительно, результаты проектирования разработки месторождения Зеварды показывают, что за прогнозируемый срок промышленной разработки (25 лет), депрессия изменяется всего лишь от 11 до 10 кг/см<sup>2</sup>. Аналогичные результаты наблюдаются по другим месторождениям рассматриваемой группы.

В условиях опережающего эксплуатационного бурения, газовые скважины Зевардинской группы месторождений на практике эксплуатировались в режиме не превышения предельной устьевой скорости (10 м/с).

После завершения эксплуатационного бурения ввод новых скважин прекратится и постоянный отбор газа можно будет обеспечивать только за счет поддержания постоянных дебитов скважин. Но, как следует из уравнения скорости потока газа на устье скважины, при постоянном дебите в процессе разработки скважины эта скорость возрастает. Поскольку происходит падение пластового давления и, если не предпринимать мер по интенсификации притока, депрессии на пласт будут расти, в падение устьевого давления происходит более интенсивно.

$$U_y = 0,52 \cdot T_y \cdot Z_y \cdot q \cdot (1) \\ d^2 \cdot P_y$$

В этих условиях необходимо контролировать скорость потока газа на устье скважины, чтобы она не превышала предельно допустимые значения.

Из вышеизложенного следует, что пока на Зевардинской группе месторождений имеются возможности по вводу новых скважин, наиболее обоснованным для них является режим поддержания предельно допустимой устьевой скорости (10 м/с). Затем, в условиях заданного постоянного отбора газа, по достижении постоянного фонда действующих скважин, их эксплуатация переводится на режим постоянного дебита. Но как отмечено выше, этот режим чреват превышением предельно допустимой устьевой скорости, что ставит под сомнение целесообразность поддержания заданного отбора газа. В этом случае необходимо либо снижать дебиты скважин и, соответственно, темпы отбора газа, или подобрать ингибиторы, обеспечивающие надежную защиту скважинного оборудования от коррозии при более высоких скоростях потока газа.

## Методы исследования рабочих органов шнекового распределителя при транспортировании сыпучих материалов

Рахмонов Хайриддин Кодирович, профессор;  
Орипов Зайниддин Баходирович, магистрант;  
Гойилов Обид Хайруллаевич, магистрант;  
Хамроева Матлуба Фармоновна, магистрант  
Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

*В статье приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований машинного агрегата с вращающимися механизмами, с учетом инерционных свойств и производительности машин.*

*Приведена новая методика определения частоты вращения вращающихся органов.*

*In article are brought results theoretical and experimental studies of the machine unit with rotating mechanism, with provision for characteristic of the inertias and capacity of the machines.*

*It is brought new methods of the determination of the frequency of the rotation rotating organ.*

При исследовании рабочих органов устройства, важным фактором является расчет отдельных рабочих органов с учетом сил и моментов, действующих на них, а также изменение частоты их вращения.

С целью определения основных рабочих параметров вращающихся органов устройства, нами были проведены эксперименты, с помощью которых стало возможным определение характера и величины момента, частоты вращения движущих органов. Это позволяет получить действительные значения искомых нагрузок и оценить корректность. Основная цель экспериментальных исследований состоит в подтверждении правильности методики динамического расчета рабочих органов. Определение величин и характера изменения динамических нагрузок при работе устройства позволяет оценить правильность выбора рабочих приводов и электродвигателей устройства, а также надежность работы кинематических узлов. Определение частоты вращения рабочих органов осуществляется при помощи специальной установки (рис. 1), которая

отражает изменения частоты вращения органов в зависимости от внешних нагрузок.

Установка предназначена для измерения нагрузочных характеристик распределителя при различной производительности. Измерения проводятся одновременно по двум параметрам — по частоте вращения винта распределителя и по потребляемой электрической мощности. Измерение частоты вращения вала распределителя производится при помощи фотоэлектронного датчика, схема которого приведена на рисунке 1.

Фотоэлектронный датчик состоит из датчика освещенности (фотодиод ФД-256), диска прерывателя (диск с прорезями, насаженный на вал винта), источника света (сверхяркий светодиод красного цвета свечения). При вращении вала винта, а соответственно и диска прерывателя, световой поток от источника света модулируется на фотодатчик с частотой, кратной частоте вращения вала. В данной работе был использован диск 1 диаметром 150 мм из акрилового пластика, в котором были проделаны ради-

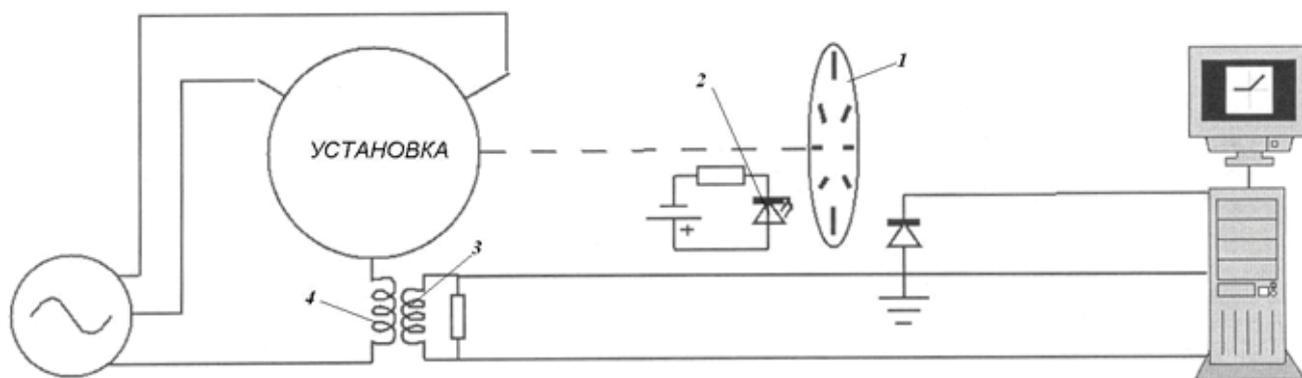


Рис. 1. Экспериментальная установка для определения частоты вращения рабочих органов

альные прорези шириной 5 мм и углом поворота 10, всего 36 прорезей. Таким образом, частота получаемого с фотодатчика сигнала в 36 раз больше частоты вращения ротора электродвигателя, выраженной в оборотах в секунду. Для получения результата измерения в оборотах в минуту, соответственно используется формула  $n = \frac{f \cdot 60}{36}$ , где  $f$  — частота сигнала с фотодатчика в герцах.

В качестве измерительного прибора используется персональный компьютер (PENTIUM-IV). Сигнал фотодатчика 2 заводится на правый канал звуковой карты ПК. Специально разработанная на языке Python 2.5 программа считывает данные с аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) звуковой карты (преобразование с частотой 8 кГц, 16 бит, стерео). Поскольку фотодатчик обладает высоким выходным сопротивлением, он подключается к компьютеру посредством сравнительно длинного кабеля (1,5 м). Так как измерения проводятся при высоком уровне электрических наводок и вибрации работающего вала, то сигнал с фотодатчика получается сильно зашумленным. Поэтому при анализе полученных с АЦП данных используется принцип пороговой отсеки, при котором пропускаются только сигналы с амплитудой, большей некоторого предварительно заданного порогового значения, а все остальные сигналы отсекаются (приравниваются к нулю). Для определения частоты получен-

ного таким образом очищенного сигнала, подсчитывается количество переходов через ноль, это количество делится на 2. На этом цикл измерения заканчивается. В секунду проводится около 8 таких циклов, результаты которых записываются в файл и отображаются на дисплее в режиме реального времени (рис. 2). Поскольку используется цифровая запись и компьютерный анализ данных, погрешность измерения частоты вращения составляет не более 1 %.

Увеличение производительности приводит к уменьшению частоты вращения вала шнека по нелинейной закономерности. С увеличением производительности до 30 т/ч, частота вращения вала шнека уменьшается до 98 об/мин (10 %) (рис. 2).

Кроме того, сравнение результатов эксперимента с теоретическими выкладками по определению коэффициента неравномерности колебаний угловой скорости вала винта, также показывает незначительную разницу. На рисунке 4 представлены сравнительные графические зависимости неравномерности угловой скорости вала винта.

Анализ зависимостей показывает, что разница между теоретической и экспериментальными кривыми увеличивается с возрастанием производительности (см. рис. 4. кривые 1,2). Максимальная разница между экспериментальными и теоретическими показателями составляет 0,065 при  $\dot{I}_d = 1,0 \text{ } \dot{\vartheta} / \div 9,0 \%$ .

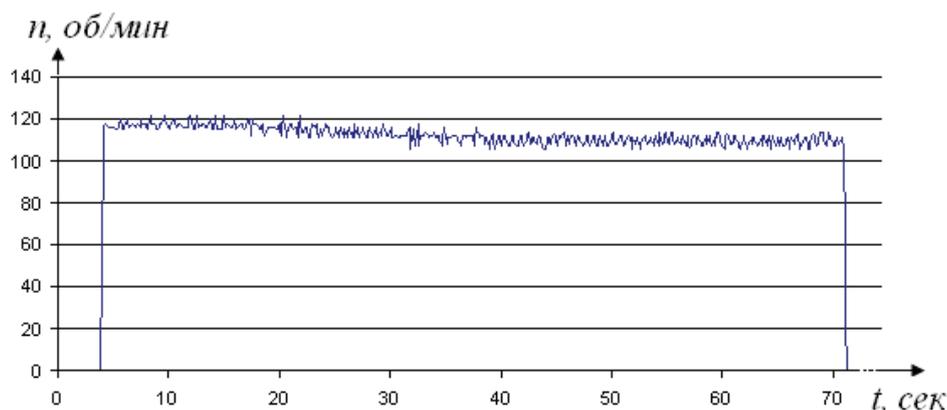


Рис. 2. Диаграмма зависимости частоты вращения от производительности

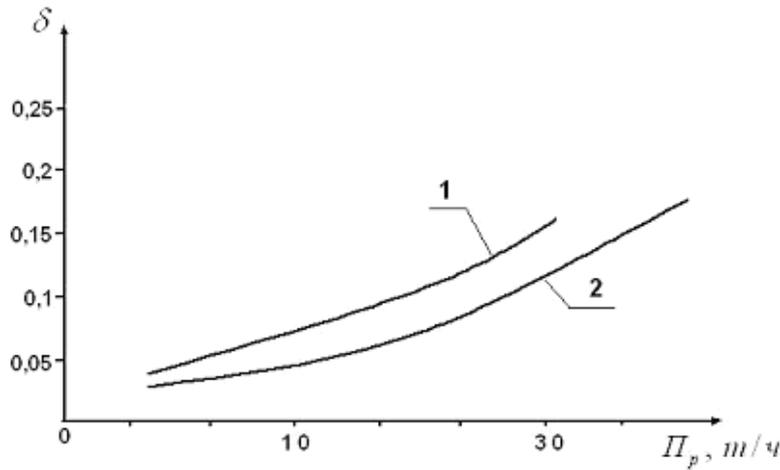


Рис. 4. Зависимости изменения неравномерности угловой скорости вала винта от производительности машины, где: 1 — экспериментальная; 2 — теоретическая

Литература:

1. Патрон В. З., Перлин П. И. «Методы математической теории упругости: Учебное пособие. — М. Наука. Главная реакция физико-математической литературы: 1981.-688с.
2. Х. Қ. Рахмонов. Разработка рациональной технологии распределения хлопка-сырца при его складировании. Дис... канд. тех. наук. Ташкент, 1996

### Теоретические основы транспортирования хлопка-сырца на устройстве подачи и распределения

Рахмонов Хайриддин Кодирович, профессор;  
 Орипов Зайниддин Баходирович, магистрант;  
 Гойибов Обид Хайруллаевич, магистрант;  
 Хамроева Матлуба Фармоновна, магистрант  
 Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

Для решения задач исследования и определения направления совершенствования технологии транспортирования, сушки и распределения хлопка, а также обоснования геометрических и кинематических параметров устройства транспортирования хлопка-сырца в области применения, необходимо изучить теоретические основы процесса транспортирования.

Процесс транспортирования хлопка-сырца осуществляется при помощи вращающихся винтов или перемещающейся ленты. Изучением внутреннего трения хлопка-сырца по различным поверхностям занимались многие исследователи.

Величина сопротивления сдвигу хлопка-сырца, характеризующаяся величиной внутреннего трения и сцепления, выражается следующим уравнением (рис.1):

$$\tau = \tau_0 + q_n \cdot \text{tg} \varphi_c, \text{ н/м}^2 \tag{1}$$

где  $\tau_0$  — внутреннее трение хлопка сырца;  $q_n$  - нормальное давление хлопка сырца. Нам известно, что зависимость между сопротивлением сдвигу хлопка-сырца и нормальным давлением выражается следующим эмпирическим уравнением:

$$\tau = q_n \cdot \text{tg} \varphi + c,$$

$c$  — структурное сплетение хлопка-сырца. Сопротивление сдвигу хлопка-сырца, в зависимости от плотности, экспериментально определяется следующим уравнением [1]:

$$\tau = m_\lambda \cdot e^{n_4} \cdot \rho,$$

$m_\lambda$  и  $n_4$  — постоянные зависящие от влажности хлопка-сырца.

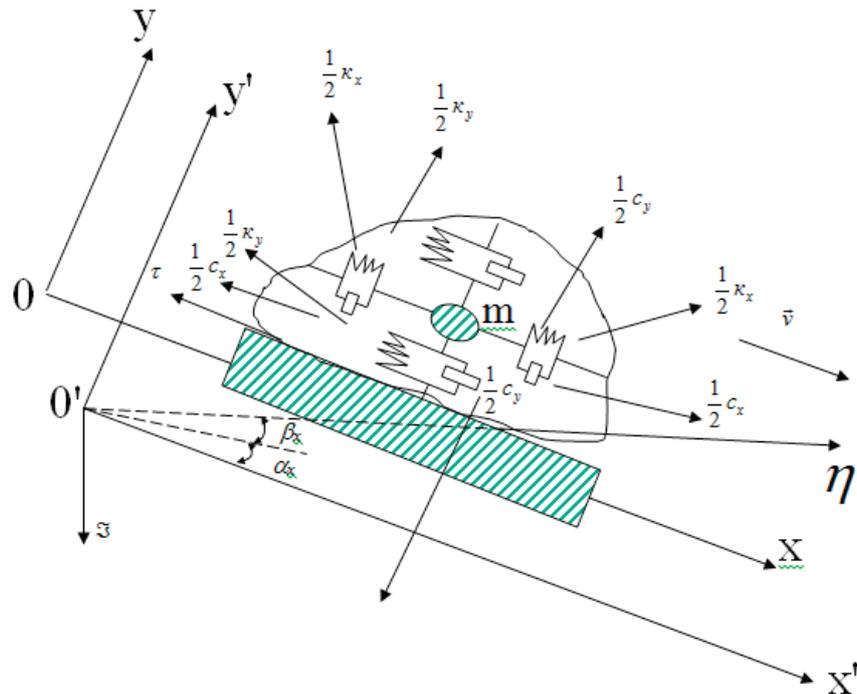


Рис. 1. Упруго-вязкоупругая модель хлопка-сырца, где:  $O'X'Y'$  — подвижная система координат;  $OXY$  — неподвижная система координат

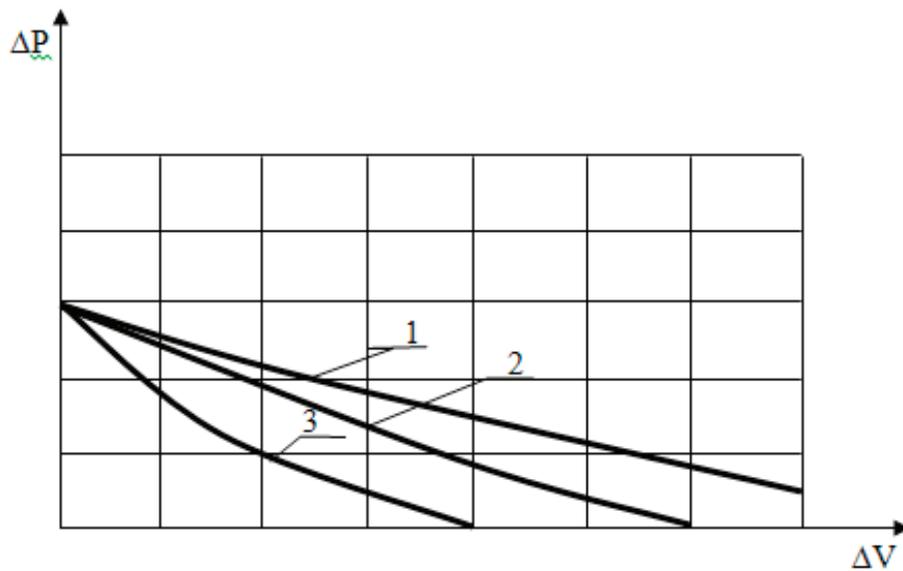


Рис. 2. Зависимость давления хлопка-сырца от скорости. 1 —  $\kappa_x = \kappa_y = 0,001$ , 2 —  $\kappa_x = \kappa_y = 0,01$ , 3 —  $\kappa_x = \kappa_y = 0,1$

Рассмотрим общий случай транспортирования хлопка-сырца (моделируемая как вязко-упругая механическая система) с помощью грузонесущего органа транспортирующей машины (рис.1), совершающего движения, направленные под углом  $\beta$  к наложенному под углом  $\alpha$  к горизонту грузонесущего органа.

Общие затраты энергии машиной, связанные с процессом транспортирования хлопка-сырца вычисляются следующим образом:

$$W = \frac{1}{\Delta} \left[ \int_{\delta_n}^{\delta_0} T^+ y dt + \int_{\delta_H}^{\delta_k} F^\pm x dt + \int_{\delta_{n_0}}^{\delta_o} F_o y dt \right] \tag{2}$$

где,  $\Delta$  — продолжительность цикла движения;  $T^+$ ,  $F^\pm$ ,  $F_o$  — действующие и нормальные сдвиговые силы;  $\delta_0$ ,  $\delta_k$ ,  $\delta_n$ ,  $\delta_{r_0}$ ,  $\delta_{n_0}$  и  $\delta_H$  - верхние и нижние значения продолжительности действующей силы.

С помощью уравнения Лагранжа 2-го рода можно записать уравнения движения хлопка-сырца на участке упругой деформации на подвижные оси  $x, y$ :

$$\begin{aligned} m\ddot{y} &= -m\ddot{y} - mg \cos \alpha - c_y \dot{y} - k_y y + \Phi_y \\ m\ddot{x} &= -m\ddot{x} - mg \sin \alpha - c_x \dot{x} - k_x x - c_x (\ddot{x} + \dot{x}) + \Phi_x \end{aligned} \quad (3)$$

где,  $m$  — масса летучего хлопка-сырца;

$k_y, k_x$  — коэффициент жесткости упругих элементов;

$c_y, c_x$  — коэффициенты трения;

$\Phi_y$  и  $\Phi_x$  — действующие внешние кинематические воздействия.

$$\ddot{y} = d^2 y / dt^2; \quad \ddot{x} = d^2 x / dt^2; \quad \dot{x} = dx / dt, \quad \dot{y} = dy / dt.$$

По результатам исследования установлено, что увеличение влажности хлопка-сырца в пределах от 11 до 38 % сопровождается повышением коэффициента трения покоя и движения. С повышением удельной нагрузки на хлопок-сырец, величина коэффициента трения снижается, а с увеличением скорости скольжения поверхности от 0 до 0,54 м/с, коэффициент трения снижается сравнительно резко.

Дальнейшее увеличение скорости сопровождается незначительным снижением коэффициента трения и приближением его к некоторой постоянной величине. Система дифференциального уравнения решается численно методом Рунге-Куты. Зависимость  $\Delta P$  (давления) от скорости  $v$  приведена на рис. 2. Из рисунка видно, что  $\Delta P$  сильно зависит от внутреннего трения хлопка-сырца (влажность, засоренность и др.).

Проведенные исследования композиционных полимерных покрытий рабочих органов транспортирующих средств показали, что с повышением скорости до определенной величины для всех нормальных давлений коэффициент трения повышается, а затем несколько понижается и принимает постепенное значение. С увеличением влажности до 14–16 % коэффициент трения повышается, а затем с дальнейшим увеличением влажности — снижается.

Литература:

1. Х. К. Рахмонов. Разработка рациональной технологии распределения хлопка-сырца при его складировании. Автореферат. Ташкент. 1996 й.
2. Р. Л. Зенков и др. Машины непрерывного транспорта. М. 1982.

## Регенерация отработанного синтетического цеолита СаА и его характеристика

Сайпуллаев Фарход Сайпуллаевич, магистрант;  
Хайитов Руслан Рустамжонович, кандидат химических наук

Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

В настоящее время значительное количество добываемого газа (природного и попутного нефтяного) содержит кислые компоненты, как сероводород, серосодержащие вещества и диоксид углерода. Их содержание изменяется в широких пределах от долей до десятков процентов. Сероводород и меркаптаны являются ядовитыми веществами, их максимальное количество в газе регламентируется, так как они вызывают интенсивную коррозию газопроводов и аппаратуры [1].

Процессы очистки газа от сероводорода, двуокиси углерода, аммиака основаны на высокой избирательности адсорбции этих компонентов промышленных газов цеолитами.

В первую очередь цеолиты рекомендуются как уникальное средство для осушки газов. Их быстрому внедрению в промышленность и различные отрасли экономики способствовало способность низкотемпературного разделения газов, тщательная и глубокая осушка. Приме-

нение известных жидких осушителей и традиционных адсорбентов в ряде случаев не может эффективно решить эту задачу. Цеолиты широко применяются в газовой промышленности: для осушки природного газа на промыслах, газобензиновых заводах, их закачивают в пласт, используют в криогенных установках, для осушки сжиженных углеводородных газов и т.д. [2].

В настоящее время рекомендуются и используются в газовой промышленности синтетические цеолиты СаА и NaX (адсорбционная способность этих адсорбентов по  $H_2S$  дана в нижеприведенной табл. 1) [3].

Цеолит СаА рекомендуется для очистки природного газа от  $H_2S$ , а NaX — от меркаптанов [3].

На УДП «Шуртаннефтегаз» природный газ очищается от сернистых соединений при помощи синтетического цеолита СаА. При использовании его в процессах адсорбции-десорбции наблюдается неполная регенерация, много потерь от истощения и др. недостатки, в связи с чем выполнение данной работы является актуальным. Следует отметить, что синтетический цеолит СаА является им-

Таблица 1. Адсорбционная способность цеолитов по H<sub>2</sub>S (в % масс.)

Цеолит	Температура, °С	Давление, кПа (мм.рт.ст.)						
		0,07 (0,5)	0,13 (1,0)	0,33 (2,5)	1,33 (10)	6,65 (50)	13,30 (100)	33,25 (250)
CaA	25	3,0	4,8	6,8	10,0	13,6	15,0	16,2
	75	1,3	1,7	2,7	7,2	9,6	11,8	13,2
	150	0,3	0,4	0,7	2,2	4,3	3,5	7,4
NaX	25	2,8	4,0	7,5	10,5	14,5	16,0	16,2
	75	1,0	2,0	4,0	6,0	9,5	11,8	14,0
	150	0,0	0,2	1,3	2,0	5,5	6,2	9,2

портным адсорбентом, но он закупается в достаточном количестве УДП «Шуртанский Газохимический Комплекс» для осушки и очистки природного газа от сопутствующих примесей.

Из анализа малого количества опубликованных работ следует, что решение проблемы восстановления (регенерации) молекулярно-ситовых адсорбентов (цеолитов) при очистке природного газа от сернистых соединений является актуальным.

Регенерация отработанного цеолита CaA путем термообработки в атмосфере (в токе) воздуха в интервале температур 200–850°С осуществлялась следующим образом. В противни из нержавеющей стали загружали отработанный в промышленных адсорберах Шуртанского газохимического комплекса цеолит CaA толщиной слоя 2,5–3,0 см и помещали в камеру электропрокалочного агрегата, температуру печи которого поднимали от комнатной до 850°С (табл. 2).

Таблица 2. Режим терморегенерации отработанного цеолита CaA

№ п/п	Режим подъема температуры печи, °С	Время подъема и выдержки, мин.
1.	Нагрев от комнатной до 200° Выдержка при 200°	210÷220 55÷60
2.	Нагрев от 200° до 400° Выдержка при 400°	90÷110 120÷130
3.	Нагрев от 400° до 600° Выдержка при 600°	160÷180 330÷350
4.	Отключение нагрева и охлаждение	120÷130

По окончании прокалки постепенно снижали температуру печи со скоростью 45–50°С в час до 60–70°С, а затем терморегенерированный цеолит выгружали из печи. С целью освобождения его от крошки, пыли и продуктов, образующихся в процессе выгорания адсорбированных

органических веществ, сначала продували воздухом, затем просеивали через сито с отверстием на 0,8–1,0 мм, которое меньше, чем размеры исходного цеолита CaA.

В табл. 3 приведены результаты исследования потери веса отработанного цеолита CaA.

Таблица 3. Потери веса отработанного цеолита CaA в зависимости от температуры прокалки

№ п/п	Температура прокалки отработанного цеолита CaA, °С	Потери веса, % масс.
1.	до 200°	11,7
2.	до 300°	12,95
3.	до 400°	14,02
4.	до 500°	15,33
5.	до 600°	16,15
6.	до 750°	18,05

Как следует из данных таблицы, интенсивное удаление нежелательных примесей протекает при температуре до 600°С.

На рис. 1 приведены термограммы отработанного цеолита CaA. Как следует из рисунка, эндозэффект при 200°С соответствует удалению структурной воды.

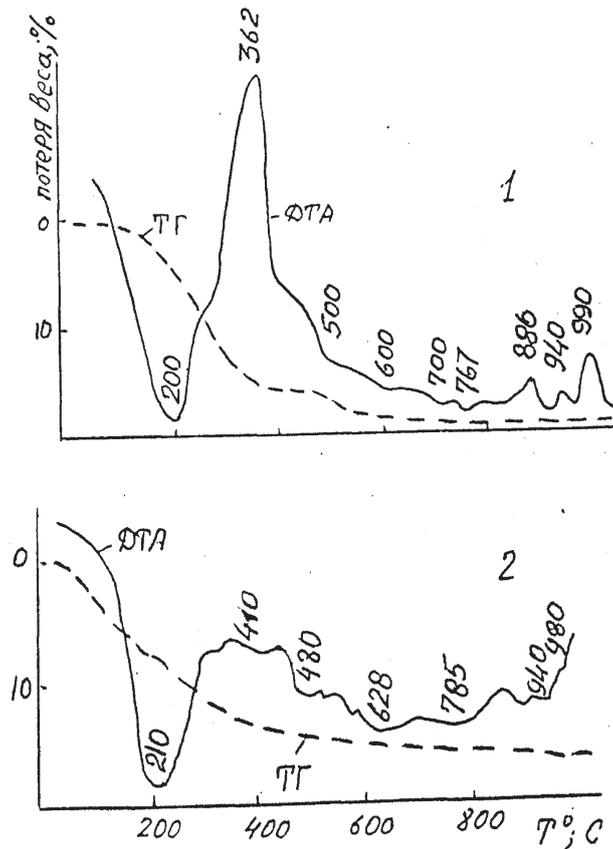


Рис. 1. Термограммы исходного цеолита (1) и высушенного (2)

Ярко выраженный экзотермический эффект с максимумом при 362°C относится к разложению основной части адсорбированных в процессе эксплуатации углеводородов и серосодержащих соединений, слабые эффекты в области 500–600°C обусловлены выгоранием прочно адсорбированных веществ, они сопровождаются незначительной потерей веса. Начиная с температуры

700°C и до 990 наблюдается спекание цеолита без потери веса.

На рис. 2 приведен дифрактограммы свежего (кр. 1) и терморегенерированного (кр. 2) цеолита CaA. Видно, что в экспериментально установленных оптимальных режимах заметного изменения фазового состава терморегенерированного цеолита не происходит.

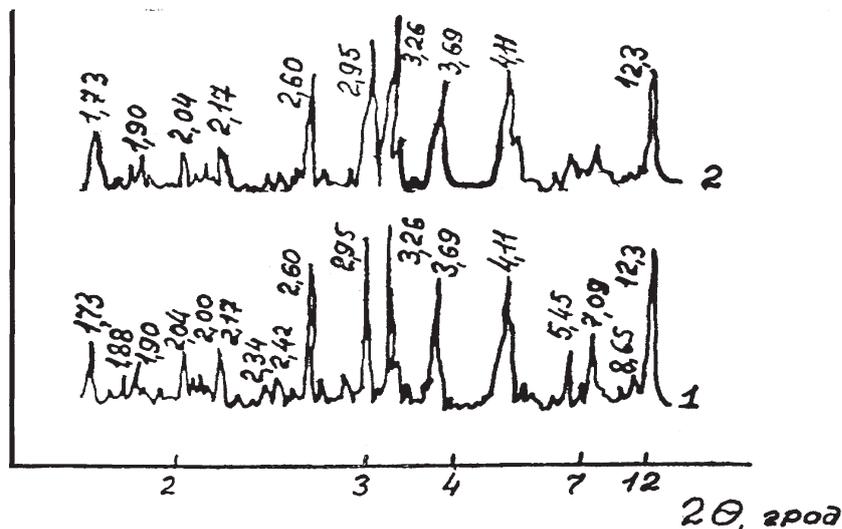


Рис. 2. Рентгенограммы исходного цеолита (1) и терморегенерированного цеолита (2)

Таблица 4. Поверхностные кислотно-основные свойства отработанного и терморегенерированного синтетического цеолита СаА

Образцы цеолита СаА	Концентрация кислотно-основных центров с различными значениями рКа, моль/г									Тип центров
	-13	-8	-6,3	-5,7	-3,3	-1	+1,5	3,8	6,1	
Отработанный	—	—	—	—	0,05	0,05	0,13	0,38	0,45	В +
Терморегенерированный	—	—	0,08	0,09	0,24	0,27	0,34	0,47	0,47	В

Он, как и свежий может быть использован как адсорбент. В табл. 4 приведены результаты исследования кислотно-основных свойств, типов, силы и концентрации кислотных центров отработанного и терморегенерированного цеолита СаА.

Как следует из данных таблицы, даже нерегенерированный цеолит СаА проявляет кислотные свойства; в нем одновременно присутствуют Льюисовские и Бренстедовские кислотные центры. Сила и концентрация кислотных центров терморегенерированного цеолита значительно больше, чем у нерегенерированного.

Из вышеизложенного следует, что выделение H<sub>2</sub>S и CO<sub>2</sub> из газовой смеси — пример крупномасштабного

процесса очистки природного газа от кислых компонентов с помощью адсорбции на синтетическом цеолите, который избирательно адсорбирует из газовой смеси молекулы H<sub>2</sub>S и CO<sub>2</sub>. Его эффективный диаметр составляет 0,49 нм и он не адсорбирует более крупные молекулы углеводородов.

В Узбекистане синтетический цеолит СаА промышленностью не производится, но широко используется в процессе газоочистки. Крупнотоннажным потребителем цеолита в качестве адсорбента является Шуртанский газохимический комплекс (ШГХК). Годовая потребность ШГХК в указанном адсорбенте составляет порядка 500 т. Его закупают за границей за валюту.

Литература:

1. Бекиров, Т. М. Промысловая и заводская обработка природных и нефтяных газов. — М.: Недра, 1980. — 283 с.
2. Мурин, В. И. и др. Технология переработки природного газа и конденсата. Справочник: В 2 ч. — М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2002. — Ч.1. — 517 с.
3. Кельцев, Н. В. Основы адсорбционной техники. — М.: Химия, 1976. — 512 с.

## Методический подход к оценке надежности аппаратуры системы управления летательных аппаратов с учетом формирования потока неисправностей с использованием рекуррентного алгоритма

Синютин Андрей Юрьевич, адъюнкт

4-й Центральный научно-исследовательский институт Министерства обороны РФ (г. Юбилейный, Московская обл.)

Синютина Дарья Сергеевна, ведущий инженер

Центральный научно-исследовательский институт машиностроения (г. Королев, Московская обл.)

*Настоящая статья посвящена созданию универсальной методике оценки надежности на основе применения метода статистических испытаний математической модели надежности аппаратуры СУ, отображающей реальную систему управления, в основу которого положен расчетно-экспериментальный статистический метод, использующий экспериментальные данные по областям работоспособности комплектующих элементов, в зависимости от формирования по ним потока неисправностей в аппаратуре СУ, и восхождения от них с помощью модели к оценке надежности СУ в целом.*

**Ключевые слова:** надежность, система управления, летательные аппараты.

Система управления (СУ) летательных аппаратов проектируется как совокупность унифицированных функциональных трактов, объединённых интерфейсом и программой диспетчер в единую информационно-логическую систему. В зависимости от задач, предъявляемых к объекту управления и системе управления, набор функциональных трактов может изменяться и модифицироваться, не изменяя структуры СУ в целом. Такое представление СУ даёт воз-

возможность прогнозировать её характеристики надежности задолго до разработки конструкторской документации, изготовления и испытаний опытных образцов.

В качестве методического подхода к оценке надежности аппаратуры СУ летательных аппаратов выступают: модель, отображающая поток неисправностей в системе, обусловленный отказами комплектующих элементов и модель, отображающая свойство системы сохранять работоспособность при возникновении в ней неисправностей (для краткости первая-модель формирования потока неисправностей, вторая — модель работоспособности). Он базируется на использовании метода статистических испытаний и включает в себя ряд этапов, предусматривающих:

- описание системы управления как объекта оценки надежности;
- определение вероятности безотказной работы структурных звеньев;
- формирование потока неисправностей в СУ с использованием рекуррентного алгоритма оценки состояний системы;
- оценка работоспособности аппаратуры СУ при сформированной совокупности неисправностей в каждой реализации статистических испытаний;
- оценка надежности аппаратуры СУ по результатам статистического моделирования процесса эксплуатации.

Описание системы управления как объекта оценки надежности представляет собой комплекс алгоритмов, воспроизводящих процессы функционирования системы в реальных условиях эксплуатации с учётом особенностей её структурного построения.

Структурная модель СУ представляется либо в виде расчетно-функциональной структуры, или в виде структурно-логической схемы (по типу структурной схемы надежности). Как расчетно-функциональная структура, так и структурно-логическая схема строятся из структурных звеньев (СЗ) и учитывают примененные в системе виды резервирования (мажоритирования, дублирования и т.п.) при этом под структурным звеном понимается группа функционально связанных комплектующих элементов (КЭ) или функциональных узлов представляющих собой нерезервированный участок функциональной или структурно-логической схемы и не имеющих внутри себя точек встречи или разветвления обрабатываемой информации. Следствием такого способа формирования структурного звена является то, что сбой или отказ одного любого КЭ, входящего в структурное звено, приводит к его сбою или отказу. Примеры функциональной расчетной и логической схемы представлены на рисунках 1 и 2.

Конструктивно-компоновочная модель (ККМ) строится по иерархическому принципу — комплектующее систему электрорадиоизделие (ЭРИ) (в общем случае КЭ), плата, прибор, изделие в целом.

Начальной единицей расчёта надёжности системы управления летательных аппаратов является структурное звено. Характеристикой надёжности структурного звена служит вероятность безотказной работы за назначенное время. Так как структурное звено представляет собой совокупность последовательно соединённых между собой комплектующих элементов, то отказ одного любого элемента приведёт к отказу всего звена, а значит, вероятность сохранения его работоспособности определяется по формуле:

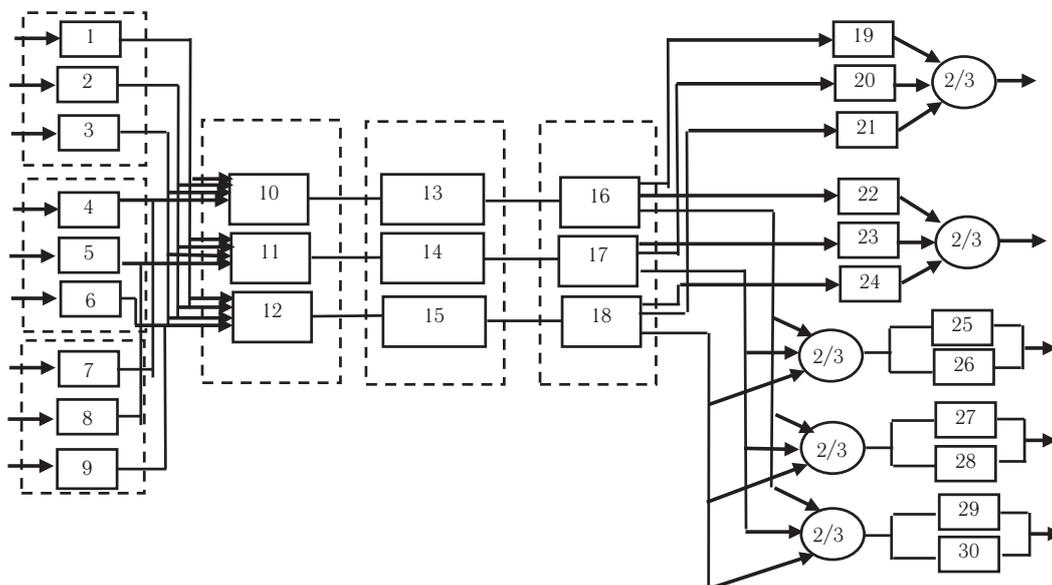


Рис. 1. Пример ФРС СУ для составления логических уравнений, определяющих условия работоспособности системы

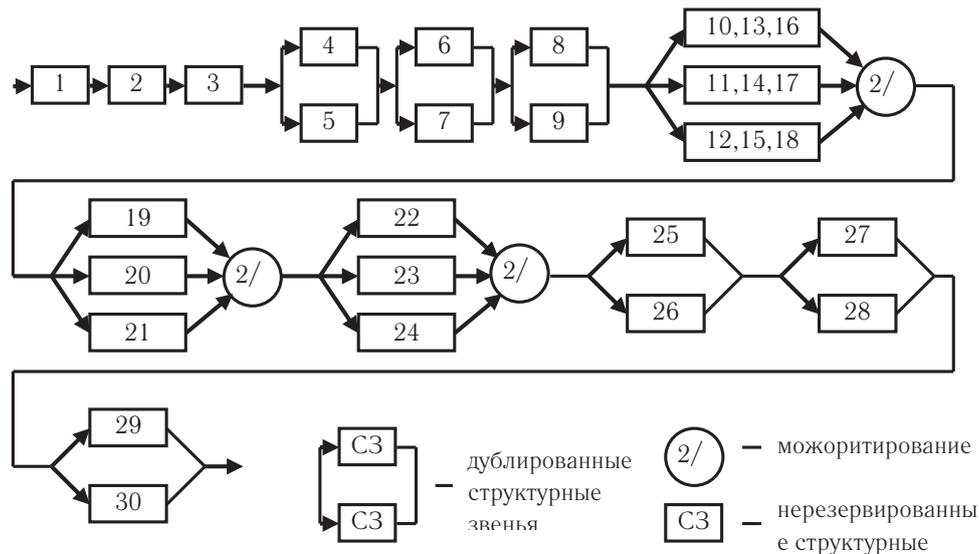


Рис. 2. Пример структурно-логической схемы системы

$$p_{cз}(t) = e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i t} \tag{1}$$

где  $\lambda_i$  — интенсивность отказа  $i$ -го комплектующего элемента структурного звена;  
 $n$  — количество комплектующих элементов в структурном звене.  
 Вероятность отказа структурного звена будет равна

$$q_{cз}(t) = 1 - e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i t} \tag{2}$$

При систематическом значимом проявлении конструктивных и производственных отказов оценка достигнутой надежности СУ производится с учетом их влияния. При этом учет производственных и конструктивных дефектов может производиться следующими способами, определяемыми характером их проявления в системе.

Если появление конструктивных и производственных дефектов носит устойчивый статистический во времени характер, тогда учет этих отказов производится коэффициентом при  $\lambda$ -характеристиках ЭРИ тех структурных звеньев, в которых имели место данные дефекты

$$\lambda_{cз}^* = K_D \sum_{i=1}^n \lambda_i \tag{3}$$

где  $\lambda_{cз}^*$  — интенсивность отказов структурного звена с учетом производственных и конструктивных дефектов;  
 $K_D$  — коэффициент влияния производственных и конструктивных дефектов;

$\lambda_i$  — суммарная интенсивность отказов  $i$ -го типа ЭРИ;  
 $n$  — количество типов ЭРИ в структурном звене;

$$K_D = \left( 1 + \frac{m_D}{m_{ЭРИ}} \right) \tag{4}$$

где  $m_D$  — количество отказов структурного звена (прибора, устройства) из-за производственных и конструктивных дефектов;

$m_{ЭРИ}$  — количество отказов структурного звена из-за катастрофических отказов ЭРИ.

Вероятность безотказной работы структурного звена определяется по формуле:

$$P(t) = e^{-\lambda_{cз}^* t} \tag{5}$$

Формирование потока неисправностей в приборах системы управления с использованием рекуррентного алгоритма состояний системы представим следующим образом.

В связи с тем, что вероятность сохранения работоспособности СЗ существенно различны, вероятность состояний СУ с 0, 1...n отказами СЗ не могут быть получены, например, по формулам биномиального распределения. Возможное применение метода перебора состояний системы неэффективно из-за большой размерности множества СЗ.

Выход из этой ситуации обеспечивается за счет применения следующего алгоритма определения вероятностей состояний СУ.

Пусть функционально-расчетная схема СУ состоит из N работоспособных СЗ. Определены вероятности сохранения работоспособности СЗ  $P_{CЗ1} \dots P_{CЗv} \dots P_{CЗN}$ . Тогда вероятность состояния СУ без отказов определится как

$$P(0) = \prod_{v=1}^N P_{CЗv}, \tag{6}$$

вероятность сохранения СУ с нарушением работоспособности любого одного СЗ:

$$P(1) = P(0) \cdot V_1; \quad V_1 = \sum_{v=1}^N \frac{q_{CЗv}}{P_{CЗv}}; \quad q_{CЗv} = 1 - P_{CЗv} \tag{7}$$

$v = \overline{1, N}$ , причем для каждого j проводится цикл по v, а вероятность состояния СУ с j отказами ( $j=2, 3 \dots N_i$ ) по рекуррентному соотношению

$$P(2) = \left( \frac{q_1 q_2}{p_1 p_2} + \frac{q_1 q_3}{p_1 p_3} + \dots + \frac{q_{N-1} q_N}{p_{N-1} p_N} \right) \cdot P(0) \tag{8}$$

$$Y_{jv} = Y_{j(v-1)} - X_{(j-1)v};$$

$$X_{jv} = Y_{jv} \cdot \frac{q_{\tilde{n}_{Gv}}}{D_{\tilde{n}_{Gv}}}; \tag{9}$$

$$V_j = \sum_{v=1}^{N_j} X_{jv};$$

$$P(j) = V_j \cdot P(0).$$

Начальные условия для рекуррентных вычислений

$$Y_{20} = V_1; \quad X_{11} = \frac{q_{CЗv}}{P_{CЗv}}. \tag{10}$$

По полученным вероятностям состояния СУ по необратимым отказам КЭ определяется количество и номера неработоспособных СЗ в текущей реализации статистического моделирования. При проведении статистического моделирования процесс определения количества отказавших СЗ и их номеров осуществляется в следующей последовательности.

При вычислении вероятности состояния системы, как правило, учитывается не N — отказов, равное количеству СЗ, а n — отказов, при которых удовлетворяется условие

$$1 - \sum_{j=0}^n P_{CЗ}(j) \leq \mathcal{E}, \tag{11}$$

где  $\mathcal{E}$  — наперед заданное положительное число, принимаемое на практике 0,0005. Поэтому для того, чтобы вероятности состояний системы с  $0, 1 \dots n$  составляли полную группу несовместимых событий, производится их нормирование в соответствии с соотношением

$$P'(j) = \frac{P(j)}{\sum_{j=0}^n P(j)}. \tag{12}$$

Далее, для определения количества отказавших СЗ вычисляется ряд вспомогательных величин:

$$P_0 = P'(0);$$

$$P_1 = P'(0) + P'(1);$$

...

$$P_k = \sum_{j=0}^k P'(j); \tag{13}$$

...

$$P_n = \sum_{j=0}^n P'(j) = 1,$$

которые позволяют определить количество неработоспособных СЗ в  $l$ -ой реализации как результат выполнения первого в порядке следования соотношения

$$r_{li} = \begin{cases} 0, & \text{если } \xi_l \leq P_0; \\ 1, & \text{если } P_0 < \xi_l \leq P_1; \\ \dots \\ k_1, & \text{если } P_{k-1} < \xi_l \leq P_k; \\ \dots \\ n, & \text{если } P_n < \xi_l \leq P_n, \end{cases} \quad (14)$$

где  $\xi_l$  — случайное число из равномерно распределенных на интервале (0, 1), выбранное в  $l$ -ой реализации.

При определении номеров отказавших СЗ используются вероятности отказов СЗ  $q_{сз}$ . При этом после выбора очередного номера, отказавшего СЗ, проводится нормирование вероятностей отказов оставшихся СЗ по формуле

$$Q'(v) = \frac{q(v)}{\sum_{v=1}^N q(v)}, \quad (15)$$

и вычисляются вспомогательные величины

$$\begin{aligned} Q_1 &= Q'(1); \\ Q_2 &= Q'(1) + Q'(2); \\ &\dots \\ Q_n &= \sum_{j=0}^n Q'(v) = 1, \end{aligned} \quad (16)$$

с помощью которых определяется номер отказавшего СЗ как результат выполнения первого в порядке следования соотношения

$$H_{l\delta} = \begin{cases} 1, & \text{если } \eta \leq Q_1; \\ 2, & \text{если } Q_1 < \eta \leq Q_2; \\ \dots \\ n, & \text{если } Q_{n-1} < \eta \leq Q_n, \end{cases} \quad (17)$$

где  $\eta$  — случайное число из равномерно распределенных на интервале (0, 1).

Таким образом, определяется совокупность возникающих отказов структурных звеньев для одного из участков временного графика процесса жизни системы. На каждом из последующих участков повторяются аналогичные операции, при этом в зависимости от принятой стратегии восстановления в процессе эксплуатации системы, отказы, возникшие на предыдущем участке, сохраняются или парируются.

Изложенный метод позволяет оценивать надежность аппаратуры системы управления летательных аппаратов с учетом формирования потока неисправностей с использованием рекуррентного алгоритма.

## Многокомпонентные вяжущие для бетонов на легких целлюлозосодержащих заполнителях

Сорокин Дмитрий Сергеевич, студент;  
Береговой Виталий Александрович, доктор технических наук, профессор  
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

*В статье приводятся результаты исследований, направленных на разработку составов смешанных вяжущих для производства эффективных теплоизоляционных строительных материалов — легких арболитовых бетонов на основе гипсоцементно-пуццоланового вяжущего и заполнителей растительного происхождения.*

**Ключевые слова:** арболитовые бетоны, гипсоцементно-пущолановое вяжущее, разработка составов, исследование физико-механических свойств

**Введение.** Ужесточение требований к теплозащите зданий, в том числе расположенных в сельской местности, ставит задачу совершенствования технологий производства недорогих теплоэффективных материалов для ограждающих конструкций.

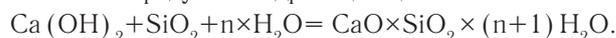
В стране ежегодно скапливаются многотоннажные целлюлозосодержащие отходы различного вида (древесина, солома, костра и др.), которые при наличии соответствующих технических решений могут стать неиссякаемыми сырьевыми источниками для производства легких строительных бетонов. Так, общий объем спелых и перестойных лесов составляет свыше 44 млрд. м<sup>3</sup>, а ежегодный прирост древесины равен 950 млн. м<sup>3</sup>, что значительно превышает объемы ее промышленной заготовки.

Основными факторами, способствующими утилизации пористых растительных отходов в качестве легкого заполнителя, является их низкая теплопроводность, экологическая безопасность и практически повсеместная доступность. Для обеспечения качества материалов, получаемых путем совмещения минеральной матрицы и растительного заполнителя, необходимо решить ряд принципиальных вопросов, связанных с объединением компонентов с резко отличными механическими и химическими показателями.

**Результаты исследований.** В качестве вяжущего вещества, формирующего при твердении несущую матрицу строительного конгломерата, применяли смешанные (гипсоцементно-пущолановые) композиции. Такой выбор обусловлен хорошей адгезией гипса к поверхности растительного заполнителя. Процессы твердения таких многокомпонентных вяжущих протекают в три основных этапа:

- этап № 1 — твердение гипсовой составляющей  
 $\text{CaSO}_4 \times 0,5\text{H}_2\text{O} + 1,5 \times \text{H}_2\text{O} = \text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O} + \text{Q};$
- этап № 2 — твердение минералов цементного вяжущего  
 $2(3\text{CaO} \times \text{SiO}_2) + 6 \text{H}_2\text{O} = 3\text{CaO} \times 2\text{SiO}_2 \times 3\text{H}_2\text{O} + 3\text{Ca}(\text{OH})_2;$   
 $3\text{CaO} \times \text{Al}_2\text{O}_3 + 6 \text{H}_2\text{O} = 3\text{CaO} \times \text{Al}_2\text{O}_3 \times 6\text{H}_2\text{O};$

— этап № 2 — обеспечение долговечности искусственного конгломерата за счет взаимодействия кремнезема опоки и продуктов гидратации цемента



Процесс оптимизации компонентного состава вяжущего производили по критериям прочности (R) и водостойкости ( $K_{\text{вод}}$ ). Первичный вариант базового состава смешанного вяжущего был рассчитан по существующей методике [1]. С этой целью предварительно определяли гидравлическую активность опоки по показателю ее растворимости в 20%-ом растворе КОН. Анализ экспериментальных данных показал, что активность кремнистой разновидности природной опоки является достаточно высокой (230 мг/г) и соответствует требованиям, предъявляемым к добавкам данного типа. При проведении исследований использовались методы математического планирования эксперимента (табл. 1).

Образцы изготавливали по рецептуре табл. 1, при этом вместе с водой затворения в сырьевую смесь вводили пластификатор С-3 (0,66% от массы). В качестве полимерных модификаторов в разрабатываемых составах были опробованы поливинилацетатная эмульсия (ПВА) и карбамидная смола (КС) в количестве от 0 до 10%.

Зависимости механических показателей матричного материала от компонентного состава вяжущего выражаются следующими уравнениями:

прочность на сжатие (МПа):

– контрольный состав  
 $R_{\text{сж}} = 10,8 \times A_1 + 12,0 \times B_2 + 13,6 \times C \quad \_ \quad 2,4 \times A \times B - 18,4 \times A \times C + 3,2 \times B \times C;$

– с добавкой ПВА (5% от массы)  
 $R_{\text{сж}5} = 9,55 \times A + 10,6 \times B + 12,02 \times C - \quad 1,9 \times A \times B - 16,1 \times A \times C + 2,76 \times B \times C;$

– с добавкой ПВА (10% от массы)  
 $R_{\text{сж}10} = 4 \times A + 4,44 \times B + 5,03 \quad \times C \quad \_ \quad 0,48 \times A \times B - 6,82 \times A \times C + 1,1 \times B \times C;$

прочность при изгибе (МПа):

– без добавки полимера

Таблица 1. Диапазоны варьирования компонентов состава и показатели свойств материала-основы [2]

Рецептура в кодовом выражении			Содержание по массе			Показатели свойств		
A	B	C	Гипс	Цемент	Опока	$R_{\text{изг}}$ , МПа	$R_{\text{сж}}$ , МПа	$r_m$ , кг/м <sup>3</sup>
1	0	0	0,6	0,2	0,2	3,49	10,8	1400
0	1	0	0,5	0,3	0,2	2,54	12,0	1414
0	0	1	0,5	0,2	0,3	2,0	13,6	1429
1/2	1/2	0	0,55	0,25	0,2	3,82	10,8	1322
1/2	0	1/2	0,55	0,2	0,25	3,78	7,6	1289
0	1/2	1/2	0,5	0,25	0,25	4,18	13,6	1332

$$R_{изг} = 3,49 \times A + 2,54 \times B + 2,0 \times C + 3,22 \times A \times B + 4,14 \times A \times C + 7,64 \times B \times C;$$

– при содержании в количестве 5%

$$R_{изг} 5 = 4,92 \times A + 3,55 \times B + 2,81 \times C + 4,58 \times A \times B + 5,74 \times A \times C + 10,8 \times B \times C;$$

– при содержании в количестве 10%

$$R_{изг} 10 = 3,23 \times A + 2,36 \times B + 1,85 \times C + 3,02 \times A \times B + 3,84 \times A \times C + 6,98 \times B \times C.$$

На рис. 1...3 приведены зависимости физико-механических показателей от соотношения исходных компонентов в составе ГЦПВ, а также от содержания полимерной добавки.

Проведенные исследования показали, что прочность матричной части легкого бетона на основе ГЦПВ возрастает при введении в состав 5% полимерной добавки.

Повышение прочности происходит за счет уплотнения структуры материала и повышения его трещиностойкости вследствие формирования упругой полимерной фазы [3, 4]. Одним из факторов, увеличивающих прочность модифицированного ГЦПВ, является физико-химическое взаимодействие макромолекул поливинилацетатной эмульсии и положительно заряженных частиц гидроалюмината кальция. Это приводит к уменьшению его концентрации в твердеющей системе и блокирует деструктивный процесс образования избыточного количества этtringита.

Уменьшение прочности при введении полимерных добавок в избыточном количестве (более 8%) объясняется образованием на поверхности центров кристаллизации вяжущего значительных экранирующих пленок, блокиру-

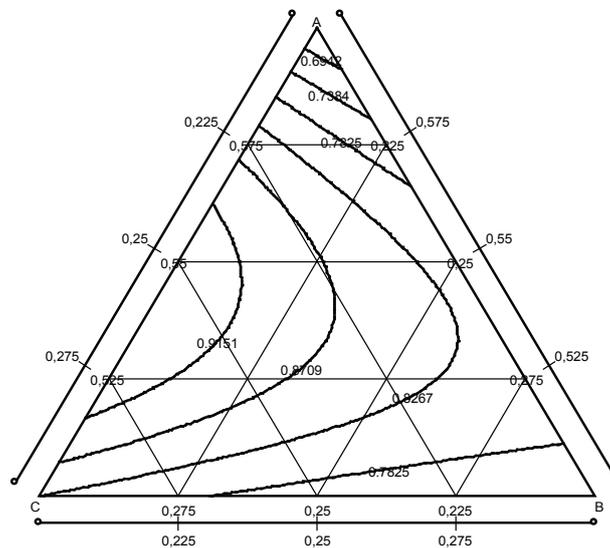


Рис. 1. Влияние состава на водостойкость

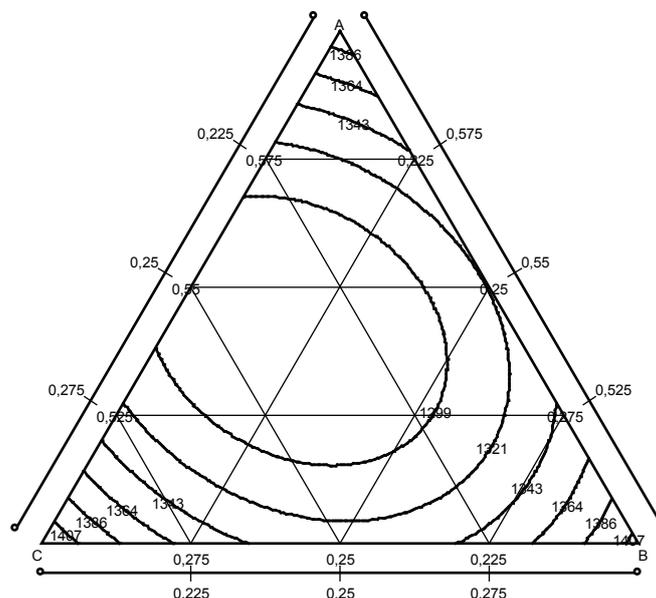


Рис. 2. Влияние состава на среднюю плотность

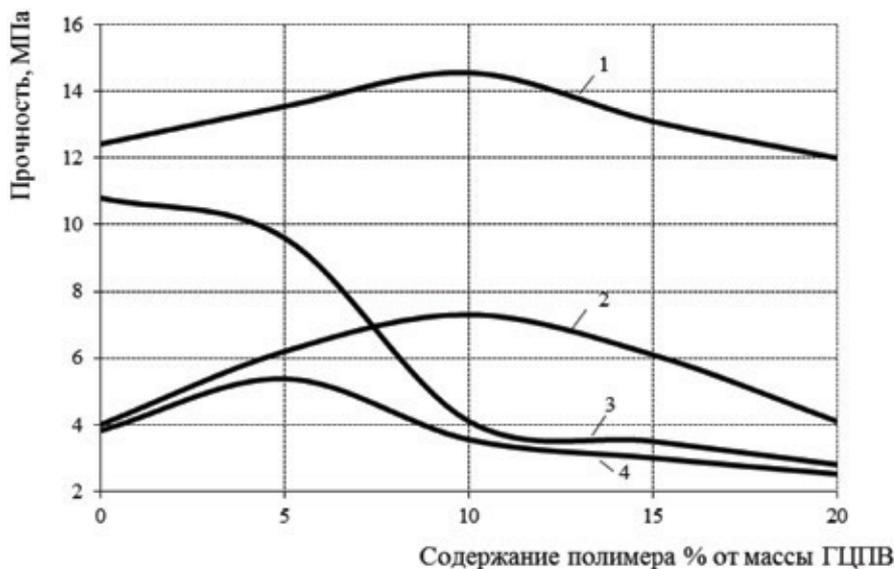


Рис. 3. Влияние полимерной добавки на показатели прочности: на сжатие: 1 и 3 (добавка КС и ПВА соответственно); при изгибе: 2 и 4 (добавка КС и ПВА соответственно)

ющих процесс нормальной гидратации вяжущего. Увеличение содержания полимерных добавок в исследованных составах до 20% приводит к заметному повышению общей пористости образцов (на 3,5...4,0%).

**Выводы.** Установлено, что для производства легких арболитовых изделий целесообразно использовать смешанное вяжущее со следующим массовым соотношением

основных компонентов гипс: цемент: опока=2,08:1:1. Это обеспечивает формирование требуемого набора основных качеств — высокую прочность ( $10 \pm 3$  МПа) и достаточную водостойкость ( $0,8 \pm 0,1$ ). Модифицирование состава смешанного вяжущего полимерными добавками на основе дисперсии ПВА обеспечивает увеличение прочности при изгибе, а ее оптимальное содержание составляет 5%.

Литература:

1. Волженский, А. В. Гипсоцементно-пуццолановые вяжущие, бетоны и изделия / А. В. Волженский, В. И. Стамбулко, А. В. Ферронская — М.: Изд-во по стр-ву, 1971. — 316 с.
2. Береговой, В. А. Пеноарболиты на основе отходов деревообрабатывающих и сельскохозяйственных производств в строительстве / В. А. Береговой, А. М. Береговой. — Пенза: ПГУАС, 2012. — 136 с.
3. Береговой, В. А. Составы для устройства конструктивных слоев монолитных полов и межкомнатных перегородок / Береговой В. А., Прошин А. П., Береговой А. М., Саксонова Е. Н. // Строительные материалы, — 2005. — № 6 — с. 44–47
4. Береговой, В. А. Разработка составов и экспериментальной технологической установки по производству пористых материалов на композиционных вяжущих / Королев Е. В., Береговой В. А., Королев Е. В., Еремкин А. И., Береговой А. М. // Строительные материалы, — 2006. — № 6 — с. 8–10

## Контроль неуспешного автоматического повторного включения секционирующих выключателей

Суров Леонид Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент;  
 Филиппов Вадим Владимирович, кандидат технических наук, доцент;  
 Суров Игорь Леонидович, инженер  
 Орловский государственный аграрный университет

*Описан способ контроля неуспешного автоматического повторного включения секционирующих выключателей, разработана структурная схема и описана ее работа с изображением выходных сигналов.*

**Ключевые слова:** датчик тока короткого замыкания, одновибратор, память, регистрирующее устройство.

## Control unsuccessful automatic reclosing sectionalizing cutouts

L. D. Surov, V. V. Filippov, I. L. Surov

*Describes a method for controlling an unsuccessful automatic reclosing sectionalizing switches, designed block diagram and described her work with the image of the output signals.*

*Keywords: sensor short-circuit current, one-shot, Memory, a recording device.*

Секционирующие выключатели (СВ), устанавливаемые в линиях электропередач, предназначены для деления протяженных линий и позволяют: во-первых — при неустойчивых коротких замыканиях (КЗ), которые за время бестоковой паузе самоустранились, возобновить электроснабжение. Во-вторых — при устойчивых КЗ, отключить поврежденный участок линии, расположенный за местом установки СВ и сохранить питание потребителей, подключенных к головному участку линии. Возобновление питания при неустойчивых КЗ осуществляется путем автоматического повторного включения АПВ СВ, оно осуществляется при небольшом промежутке времени, поэтому не оказывает больших негативных последствий. Устойчивые КЗ могут приводить к длительным перерывам в электроснабжении потребителей и приводить к экономическим потерям.

С целью сокращения времени перерыва в электроснабжении и сокращения экономических потерь информацию о неуспешном АПВ необходимо получать в режиме реального времени. Для этого разработан способ контроля отключения и неуспешного АПВ секционирующих выключателей радиальных линий подстанции [1].

Согласно этому способу с момента появления первого броска тока КЗ на шинах трансформатора, измеряют время его протекания, сравнивают это время с временем выдержек срабатывания всех СВ, установленных в линиях, отходящих от шин подстанции. При равенстве измеренного времени с временем выдержки срабатывания защиты одного из СВ устанавливают отключившийся секционирующий выключатель. И с момента отключения первого броска тока КЗ начинают отсчет времени, равного времени выдержки АПВ, отключившегося СВ, при этом контролируют появление второго броска тока КЗ, и если он появится в момент окончания отсчитываемого времени, то устанавливают факт повторного включения этого выключателя на КЗ и с момента включения начинают отсчет времени выдержки срабатывания защиты с ускорением отключившегося СВ, при этом контролируют отключение второго броска тока КЗ. И если в момент окончания времени выдержки срабатывания защиты с ускорением происходит отключение второго броска тока КЗ, то устанавливают факт неуспешного АПВ секционирующего выключателя радиальной линии.

Суть предлагаемого способа поясняется рисунками 1 и 2, где:

– на рис. 1 — представлена структурная схема, содержащая элементы для реализации способа;

– на рис. 2 — диаграмма сигналов на выходах элементов, показанных на рис. 1 при устойчивом КЗ в точке 12 (см. рис. 1).

Схема (см. рис. 1) содержит: трансформатор силовой 1, головные выключатели линий 2, 3, 4, 5, 6 и 7. секционирующие выключатели линий 8, 9, 10 и 11, точки КЗ 12, 109, 110 и 111, датчик тока короткого замыкания (ДТКЗ) 13, элемент ЗАПРЕТ 14, элемент НЕ 15, элемент ПАМЯТЬ 16, элемент ЗАДЕРЖКА 17, элемент ОДНОВИБРАТОР 18, элемент ПАМЯТЬ 19, элемент И 20, элемент ПАМЯТЬ 21, элемент ЗАДЕРЖКА 22, элемент ОДНОВИБРАТОР 23, элемент И 24, элемент ПАМЯТЬ 25, элемент ЗАДЕРЖКА 26, элемент ОДНОВИБРАТОР 27, элемент И 28, элемент ПАМЯТЬ 29, элемент ЗАДЕРЖКА 30, элемент ОДНОВИБРАТОР 31, элемент И 32, элемент ИЛИ 33, элементы ПАМЯТЬ 34, 35 и 36, элементы ЗАПРЕТ 37, 38 и 39, элементы ПАМЯТЬ 40, 41, 42, 43 и 44, элемент ЗАДЕРЖКА 45, элемент ОДНОВИБРАТОР 46, элемент И 47, элемент ПАМЯТЬ 48, элемент ЗАДЕРЖКА 49, элемент ОДНОВИБРАТОР 50, элемент И 51, элементы И 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58 и 59, регистрирующее устройство (РУ) 60.

Диаграммы сигналов на выходах элементов, показанных на фигуре 1 при устойчивом КЗ в точке 12 (см. рис. 1), имеют вид (см. рис. 2): 61 — на выходе элемента 13, 62 — на выходе элемента 14, 63 — на выходе элемента 15, 64 — на выходе элемента 16, 65 — на выходе элемента 17, 66 — на выходе элемента 18, 67 — на выходе элемента 19, 68 — на выходе элемента 20, 69 — на выходе элемента 21, 70 — на выходе элемента 22, 71 — на выходе элемента 23, 72 — на выходе элемента 24, 73 — на выходе элемента 25, 74 — на выходе элемента 26, 75 — на выходе элемента 27, 76 — на выходе элемента 28, 77 — на выходе элемента 29, 78 — на выходе элемента 30, 79 — на выходе элемента 31, 80 — на выходе элемента 32, 81 — на выходе элемента 33, 82 — на выходе элемента 34, 83 — на выходе элемента 35, 84 — на выходе элемента 36, 85 — на выходе элемента 37, 86 — на выходе элемента 38, 87 — на выходе элемента 39, 88 — на выходе элемента 40, 89 — на выходе элемента 41, 90 — на выходе элемента 42, 91 — на выходе элемента 43, 92 — на выходе элемента 44, 93 — на выходе элемента 45, 94 — на выходе элемента 46, 95 — на выходе элемента 47, 96 — на выходе элемента 48, 97 — на выходе элемента 49, 98 — на выходе элемента 50, 99 — на выходе элемента 51, 100 — на выходе элемента 52, 101 — на выходе элемента 53, 102 — на выходе эле-

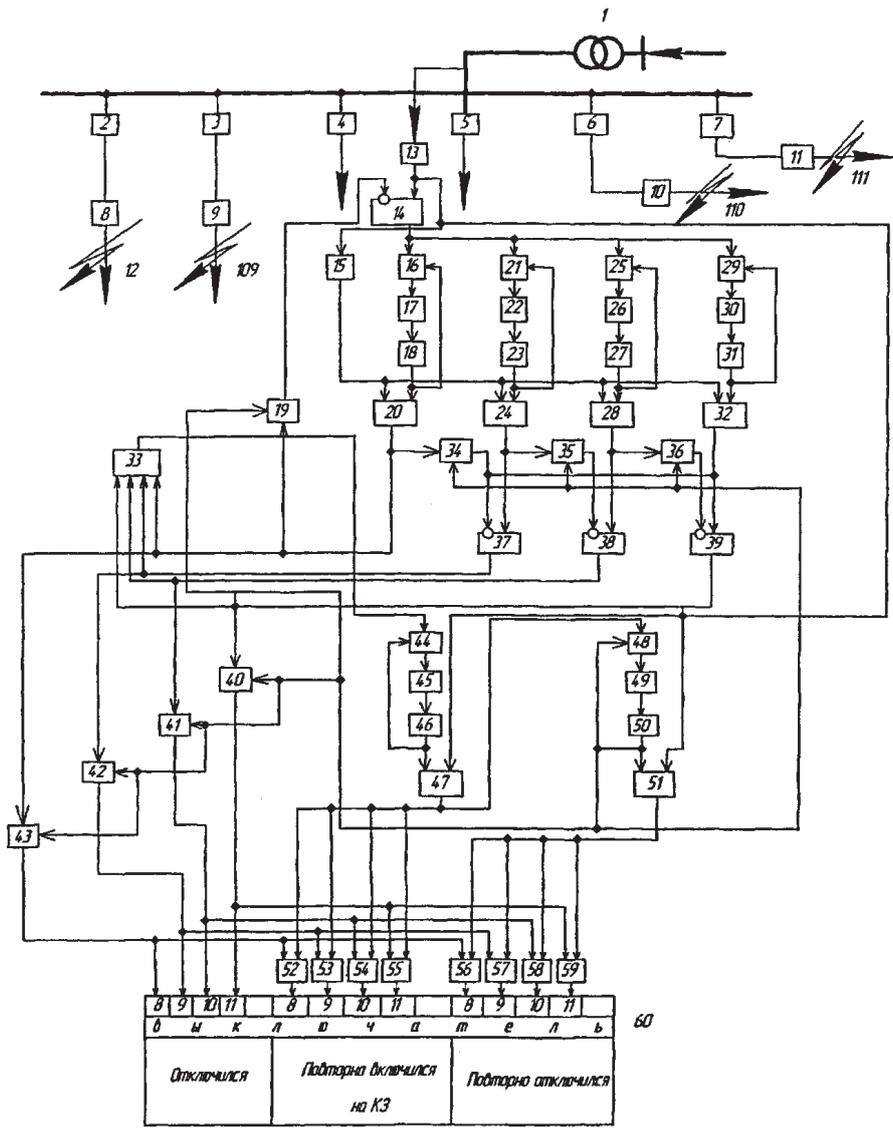


Рис. 1. Упрощенная схема контроля неуспешного включения секционирующих выключателей

мента 54, 103 — на выходе элемента 55, 104 — на выходе элемента 56, 105 — на выходе элемента 57, 106 — на выходе элемента 58, 107 — на выходе элемента 59, 108 — в РУ 60.

На рис. 2 кроме диаграмм выходных сигналов элементов схемы также показаны:  $t_1$  — момент времени возникновения устойчивого КЗ в точке 12,  $t_2$  — момент времени отключения первого броска тока КЗ секционирующим выключателем 8,  $t_3$  — момент времени повторного включения секционирующего выключателя 8,  $t_4$  — момент времени повторного отключения секционирующего выключателя 8.

Способ осуществляется следующим образом.

В нормальном режиме работы сети головные выключатели линий 2, 3, 4, 5, 6 и 7 включены (рис. 2, момент времени  $t_0$ ). На выходе ДТКЗ 13 сигнала нет, поэтому схема находится в режиме контроля.

При устойчивом КЗ, например, в точке 12, на выходе ДТКЗ 13 появится сигнал (рис. 2, диагр.61, момент времени  $t_1$ ), который поступит на вход элемента НЕ 15, при

этом существовавший до этого его выходной сигнал исчезнет (рис. 2, диагр.63, момент времени  $t_1$ ), также он поступит на вход элемента ЗАПРЕТ 14 (рис. 2, диагр.62) и с его выхода на входы элементов ПАМЯТЬ 16, 21, 25 и 29, а также на вторые входы элементов И 47 и 51. Сигнал, поступивший на элемент ПАМЯТЬ 16. запомнится им (рис. 2, диагр.64) и поступит на вход элемента ЗАДЕРЖКА 17. С выхода этого элемента сигнал появится через время, равное времени выдержки срабатывания защиты СВ 8 (рис. 2, диагр.65) и поступит на вход элемента ОДНОВИБРАТОР 18. Он совершит одно колебание (рис. 2, диагр.66), этот сигнал «сбросит» память с элемента 16 (рис. 2, диагр.64) и поступит на второй вход элемента И 20. При этом на первом входе этого элемента вновь появится сигнал с элемента НЕ 15 (рис. 2, диагр.63), т.к. в момент времени  $t_2$  (рис. 2) произойдет отключение тока КЗ головным выключателем 8. Наличие двух входных сигналов на И 20 приведет к появлению его выходного сигнала (рис. 2, диагр.68). Этот сигнал поступит на элемент ПАМЯТЬ 43, запомнится им

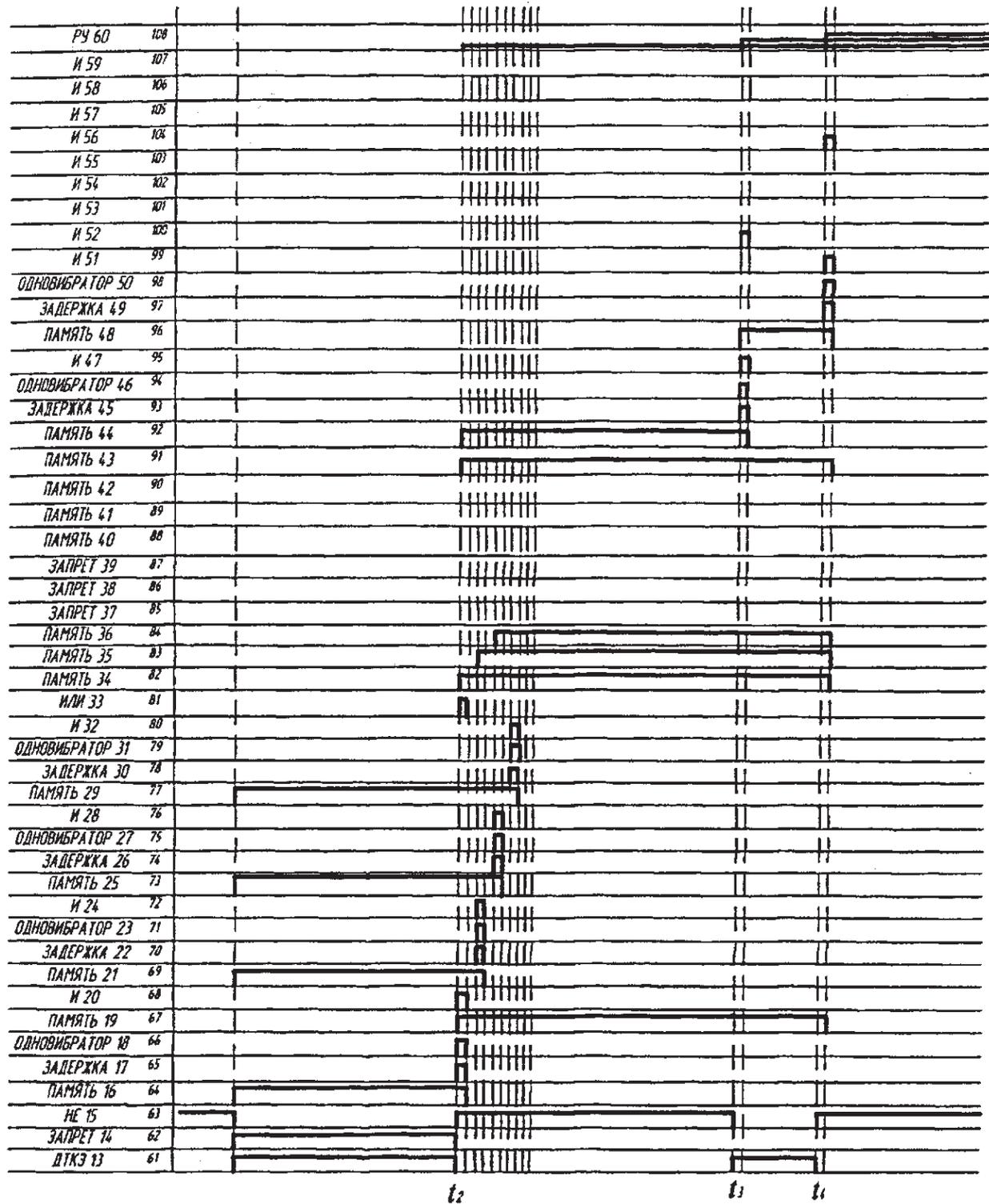


Рис. 2. Диаграммы выходных сигналов элементов структурной схемы

(рис. 2, диагр.91) и поступит в РУ 60, где появится информация об отключении СВ 8 (рис. 2, диагр. 108, момент времени  $t_2$ ). Также этот сигнал поступит на вход элемента ПАМЯТЬ 34, запомнится им (рис. 2, диагр.82) и поступит на запрещающий вход элемента ЗАПРЕТ 37. Это предотвратит поступление сигнала с элемента И 24 на вход элемента ИЛИ 33, т.к. он сработает после окончания времени задержки элемента 22. Каждый элемент

ЗАДЕРЖКА 17, 22, 26 и 30 имеет свое время задержки, равное времени выдержки срабатывания защиты СВ 8, 9, 10, и 11 соответственно. Причем время задержки СВ 8 —  $Dt_8 < Dt_9 < Dt_{10} < Dt_{11}$ , где  $Dt_9$ ,  $t_{10}$  и  $Dt_{11}$  — время задержек СВ 9, СВ 10 и СВ 11 соответственно. Поэтому элементы И 24, 28 и 32 сработают позже элемента И 20, и их сигналы не поступят в элемент ИЛИ 33 потому, что на запрещающие входы элементов ЗАПРЕТ 37, 38 и 39

с элементов ПАМЯТЬ 34, 35 и 36 соответственно сигналы поступят раньше, чем сигналы с элементов И 24, 28 и 32 соответственно. Сброс памяти с элементов 34, 35 и 36 и снятие сигналов запрета с элементов 37, 38 и 39 произойдет после срабатывания ОДНОВИБРАТОРА 50 (рис. 2, диагр.98). Кроме этого выходной сигнал с элемента И 20 поступит на элемент ПАМЯТЬ 19, запомнится им (рис. 2, диагр.67) и с его выхода поступит на запрещающий вход элемента ЗАПРЕТ 14 и предотвратит повторное поступление сигнала с ДТКЗ 13 до момента «сброса» памяти с элемента 19 сигналом ОДНОВИБРАТОРА 50 (рис. 2, диагр.98), а так же поступит на вход элемента ИЛИ 33 (рис. 2, диагр.81). С выхода элемента ИЛИ 33 сигнал поступит на вход элемента ПАМЯТЬ 44, запомнится им (рис. 2, диагр.92), и поступит на вход элемента ЗАДЕРЖКА 45, задержится в ней на время, равное времени выдержки АПВ секционирующего выключателя 8 (рис. 2, диагр.93). По истечении указанного времени сигнал поступит на вход элемента ОДНОВИБРАТОР 46. Он совершит одно колебание (рис. 2, диагр.94) и своим сигналом «сбросит» память с элемента 44 (рис. 2, диагр.92), и поступит на первый вход элемента И 47. В этот момент времени произойдет повторное включение СВ 8 на КЗ (рис. 2, момент времени  $t_3$ ), поэтому на второй вход элемента И 47 с ДТКЗ 13 (рис. 2, диагр.61) поступит второй сигнал. Это приведет к срабатыванию элемента И 47, появлению его выходного сигнала (рис. 2, диагр.95), который поступит на второй вход элемента И 52. При этом на первом входе этого элемента уже есть сигнал с элемента ПАМЯТЬ 43 (рис. 2, диагр.91), и на выходе элемента И 52 появится свой сигнал (рис. 2, диагр. 100), который обеспечит появление информации в РУ 60 (рис. 2, диагр.108) о повторном включении головного выключателя 2 на КЗ. Параллельно с этим выходной сигнал с элемента И 47 по-

ступит на вход элемента ПАМЯТЬ 48 (рис. 2, диагр.96), а также на вторые входы элементов И 53, 54 и 55. С выхода элемента ПАМЯТЬ 48 сигнал поступит на вход элемента ЗАДЕРЖКА 49, а с его выхода сигнал появится через время выдержки срабатывания защиты с ускорением СВ 8 (рис. 2, диагр.97, момент времени  $t_4$ ) и поступит на вход ОДНОВИБРАТОРА 50. Он совершит одно колебание (рис. 2, диагр.98), своим сигналом «сбросит» память с элемента ПАМЯТЬ 48 (рис. 2, диагр.96) и поступит на первый вход элемента И 51, при этом на втором входе этого элемента появится второй сигнал с элемента НЕ 15 (рис. 2, диагр.63), т.к. в момент времени  $t_4$  СВ 8 повторно отключится. Это приведет к появлению выходного сигнала с элемента И 51 (рис. 2, диагр.99), который поступит на второй вход элемента И 56. При этом на первом входе этого элемента уже есть сигнал с элемента ПАМЯТЬ 43 (рис. 2, диагр.91), поэтому появится выходной сигнал с элемента И 56 (рис. 2, диагр.104), который, поступив в РУ 60, обеспечит появление там информации о повторном отключении СВ 8 (рис. 2, диагр. 108, момент времени  $t_4$ ).

Появление информации в регистрирующем устройстве 60 о действиях секционирующих выключателей 9, 10 или 11 произойдет только при возникновении устойчивых КЗ в точках 109, 110 или 111 соответственно. При этом после истечения выдержки времени срабатывания защиты и отключения одного из секционирующих выключателей 9, 10 или 11 в РУ 60 появится информация об его отключении по причине появления выходного сигнала на элементе И 24, 28 или 32. Работа остальных элементов схемы будет осуществляться аналогично выше описанной.

Таким образом, при использовании предлагаемого способа можно получать информацию об отключении и неуспешном АПВ секционирующих выключателей радиальных линий подстанции.

Литература:

1. Патент РФ № 2479911 С1 кл.НО2J 13/00 опубл. 20.04.2012. Бюл.№ 11.

## Контроль над состоянием головного выключателя линии, питающей трансформаторную подстанцию при исчезновении напряжения в ней

Сулова Татьяна Борисовна, инженер;  
Филиппов Вадим Владимирович, кандидат технических наук, доцент;  
Махиянова Наталья Витальевна, старший преподаватель  
Орловский государственный аграрный университет

*Описан способ контроля над состоянием головного выключателя линии, питающей трансформаторную подстанцию при исчезновении напряжения в ней, разработана структурная схема и описана ее работа с изображением выходных сигналов.*

**Ключевые слова:** силовой трансформатор, вводной выключатель шин подстанции, датчик напряжения, головной выключатель.

## Control state head switch line supplying the transformer substation undervoltage in it

T. B. Surova, V. V. Filippov, N. V. Mahiynova

*Describes a method for controlling the state of the brain switch line supplying the transformer substation voltage failure in it, developed a block diagram and described her work with the image of the output signals.*

*Keywords: power transformer, main switch tires substation voltage sensor head switch.*

Исчезновение напряжения в линии, питающей трансформаторную подстанцию возможно по разным причинам:

- плановое отключение;
- аварийное отключение;
- ложное отключение головного выключателя (ГВ);
- отказ отключения секционирующего выключателя (если он установлен в этой линии) и отключение ГВ;
- возможны и другие.

И, если плановое отключение линии однозначно определяет отключенное состояние ГВ, то при других ситуациях информация о состоянии ГВ остается неизвестной.

Для однозначного определения включенного им отключенного состояния ГВ разработан способ [1]. Используя этот способ разработана структурная схема контроля над состоянием ГВ при исчезновении напряжения в линии, где он установлен. Такой контроль осуществляется следующим образом.

С момента исчезновения напряжения на трансформаторе начинают отсчет времени выдержки автоматического повторного включения (АПВ) ГВ линии, при этом в момент окончания этого отсчета контролируют появление напряжения на трансформаторе. И если оно не появилось, то в линию посылают зондирующий импульс,

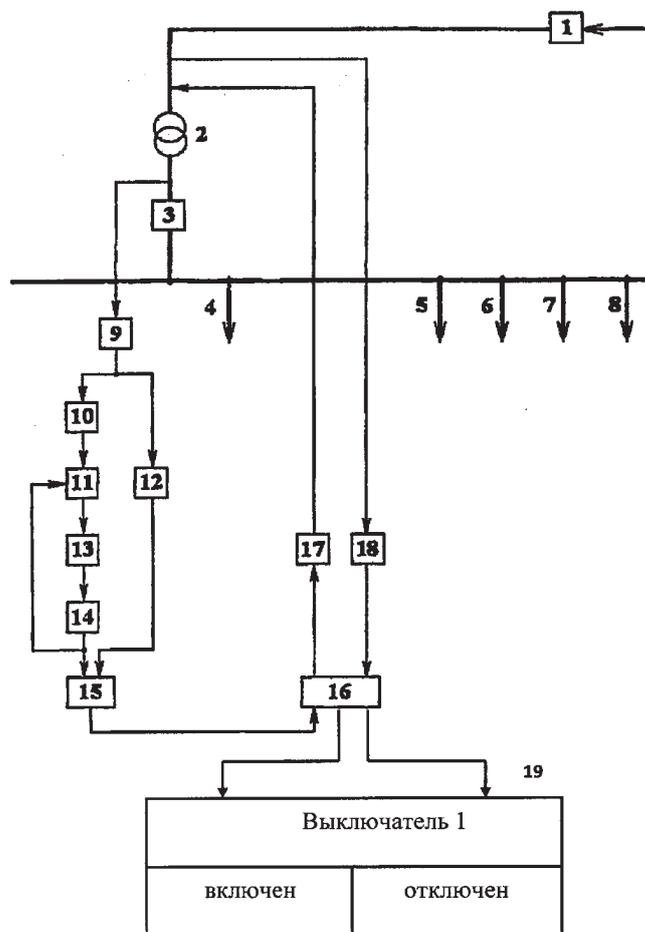


Рис. 1. Упрощенная однолинейная схема трансформаторной подстанции и структурная схема контроля

На рис. 1 приняты обозначения: 1 и 3 — головной и вводной выключатели; 2 — силовой трансформатор; 4–8 — линии, отходящие от шин подстанции.



ловного выключателя линии, питающей трансформаторную подстанцию, при исчезновении напряжения в ней. Это позволит при возникновении аварийных и ненормальных режимов сократить время на устранение возникших неисправностей, что будет способствовать повышению надежности электроснабжения.

По аналогии с вышерассмотренным контролем и с учетом [2,3,4,5,6,7] можно разработать структурную схему дистанционного контроля над состоянием или изменением состояния головного выключателя линии, питающей трансформаторную подстанцию, при разных состояниях линии электропередач.

Литература:

1. Патент № 2505906. Способ контроля включенного состояния головного выключателя линии, питающей трансформаторную подстанцию при исчезновении напряжения в ней / Суков Л. Д., Сукова Т. Б., 2014.
2. Патент № 2503108. Способ контроля отключения и отказа автоматического повторного включения головного выключателя линии, питающей трансформаторную подстанцию при неустойчивом коротком замыкании / Суков Л. Д., Суков И. Л., 2013.
3. Патент № 2502167. Способ контроля отключения, автоматического повторного включения и отказа отключения головного выключателя линии при переходе двухфазного короткого замыкания в трехфазное / Суков Л. Д., Суков И. Л., 2013.
4. Патент № 2502178. Способ контроля ложного или аварийного отключения и отказа автоматического повторного включения головного выключателя линии, питающей трансформаторную подстанцию, с определением вида короткого замыкания / Суков Л. Д., Сукова Т. Б., Махиянова Н. В., 2013.
5. Патент № 2504068. Способ контроля отключения головного выключателя линии, питающей трансформаторную подстанцию при исчезновении напряжения в ней / Суков Л. Д., Сукова Т. Б., Махиянова Н. В., 2014.
6. Способ контроля вида неустойчивого короткого замыкания при успешном автоматическом повторном включении головного выключателя линии, питающей трансформаторную подстанцию / Суков Л. Д., 2014.
7. Способ запрета автоматического повторного включения головного выключателя линии, питающей трансформаторную подстанцию с определением вида короткого замыкания / Суков Л. Д., 2014.

### Some hazards of long-term space flights

Сысоева Наталья Владимировна, студент;  
 Куимова Марина Валерьевна, кандидат педагогических наук, доцент  
 Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Sysoeva Natalya Vladimirovna, student  
 Kuimova Marina Valeryevna, PhD in Methods of TFL  
 National research Tomsk polytechnic university

*We don't want to conquer the cosmos,  
 we simply want to extend the boundaries of Earth to the frontiers of  
 the cosmos*

*Stanisław Lem, Solaris*

Despite seeming easiness and romantic attraction, long term space flights cause several threats to astronauts' health and wellbeing as people are subject to many stressful conditions (radiation, microgravity, g-forces, anxiety, psychological stress, changes in health status, loss of body mass, etc.).

Human bodies undergo dramatic changes with the absence of gravity as weightlessness significantly complicates daily life and results in the weakening of bones and muscles, poor coordination. Due to the lack of gravity, back vertebrae separate slightly contributing to the change in the height of astronauts and backaches. In space they grow up to two

inches taller. Regular exercises in space and upon return help the crew to slow the loss and counter side effects. Thus some scientists believe that artificial gravity is necessary for the crew during the future Mars mission [3, 4]. Low gravity also impacts blood circulation. On Earth, blood is naturally drawn downward by the force of gravity; whereas, in space bodily fluids no longer flow back down. Sometimes it causes headaches, nasal congestion, red and swollen eyes and space sickness.

Astronauts have to struggle with high radiation levels emitted by the Sun, distant stars and galaxies. There are occasional solar flares that provoke enormous life-threatening

radiation from the Sun. Space radiation gives rise to cancer, changes in motor functions, neurological disorders and serious diseases [1]. Exposure to radiation and high-energy particles account for cognitive problems.

Atmospheric contaminants, higher intracranial pressure, noise level at the spacecraft cause temporary hearing loss. Microgravity and rise of fluid that occurs in a person's body in a weightless lead to another health hazard — blurred vision.

In addition, there are some factors that cause stress, fatigue, insomnia, sickness, bad interpersonal relations and mistakes among astronauts:

- unusual environment;
- irregular light patterns (the sun rises and sets every 90 minutes when the spacecraft orbits Earth);
- constant noise;
- cooling systems in space suits;
- absence of shower;
- high level of carbon dioxide;
- demanding schedule;
- 24 hours camera [5].

All this makes quality sleep rather challenging and most astronauts rely on sleep medication to get some rest. Astronauts sleep in individual sleeping bags. Poor sleep leads to

interpersonal conflicts, depression, tension and anxiety. Scientists and engineers are working on replacing orbit bulbs to create more comfortable lighting and day-night cycles on spacecraft.

Additionally, astronauts have to overcome certain challenges concerning human psychology such as food intake. Food and meals play a great psychosocial role in remote, stressful, exhausting environments. Long flights reveal many nutritional problems. Astronauts need a balanced diet to support the quality of their life and their nutrition needs are generated from ground-based studies. Before departure, they select desired food items from available choices assembled by nutritionists. Crew members are provided with carefully selected individual portions, adequate diets to ensure health, convenience and minimize immune alterations, changes in muscle, bone and fluid loss on long flights [2, 6, 7].

Life in space also means living with a distinct lack of space. When astronauts return to Earth, they need time to readjust to gravity, as its sudden reintroduction causes low blood pressure and lightheadedness. On the whole, there are many dangers of long-distance space flights, but with advanced engineering developments and proper safety precautions we are moving forward to longer deep space missions.

#### References:

1. About space radiation. <http://spaceradiation.usra.edu/about/> (accessed April 12, 2015).
2. Cena H., Sculati M., Roggi C. Nutritional concerns and possible countermeasures to nutritional issues related to space flight // *Eur J Nutr.* 2003, No. 42 (2). P. 99–110.
3. Known effects of long-term space flights on the human body [http://www.racetomars.ca/mars/article\\_effects.jsp](http://www.racetomars.ca/mars/article_effects.jsp) (accessed April 12, 2015).
4. Life in space [http://www.racetomars.ca/mars/article\\_life\\_space.jsp](http://www.racetomars.ca/mars/article_life_space.jsp) (accessed April 12, 2015).
5. Palinkas L. A. Psychosocial issues in long-term space flight: overview // *Gravitational and space biology bulletin.* 2001, No. 14 (2). P. 25–33.
6. Smith S. M., Davis-Street J., Rice B. L. and Lane H. W. Nutrition in Space // *Nutrition Today*, Vol. 32, No. 1, P. 6–12.
7. Space and food nutrition — an educator's guide with activities in science and mathematics. [http://www.nasa.gov/pdf/143163main\\_Space.Food.and.Nutrition.pdf](http://www.nasa.gov/pdf/143163main_Space.Food.and.Nutrition.pdf) (accessed April 12, 2015).
8. Weightlessness and weight loss: malnutrition in space. <https://escholarship.org/uc/item/91v8027g#page-1> (accessed April 12, 2015).

## Моделирование условий пропуска поездов в программном комплексе имитационного моделирования процессов перевозок

Тимченко Вячеслав Сергеевич, младший научный сотрудник  
Институт проблем транспорта им. Н. С. Соломенко Российской Академии наук (г. Санкт-Петербург)

Теоретические исследования и практика доказали преимущества определения наличной пропускной способности с учетом всего множества значимых факторов методом имитационного моделирования процессов перевозок [1–6]. Использование данного метода является

весьма актуальным, в условиях расширения области применения имитационного моделирования для решения различных транспортных задач [7–25].

Моделирование условий пропуска поездов в программном комплексе имитационного моделирования

процессов перевозок (рис. 1) иллюстрируют фрагменты графика движения и карты состояний участка, оборудованного трехзначной автоблокировкой с защитными участками и локомотивной сигнализацией.

Длительности горения на локомотивном светофоре красного огня обозначены на карте состояний черным цветом, красного с желтым — наполовину штриховкой и черным, желтого огня — штриховкой, а зеленого огня — отсутствием этих обозначений.

В соответствии с правилами тяговых расчетов линия хода поезда на графике движения (нитка графика) строится для центра тяжести поезда. Красный огонь на проходном светофоре горит с момента вступления головы поезда на ограждаемый этим светофором блок-участок (б/у) до момента освобождения хвостом поезда защитного участка, расположенного за следующим проходным светофором. В этот момент красный огонь на светофоре меняется на желтый, а при освобождении хвостом поезда следующего (б/у) — на зеленый. Поэтому для построения карты состояний нитки графика дополняются линиями хода головы и хвоста каждого поезда. Эти линии соответствуют длительностям проследования поездом расстояний, равных половинам его длины, определяемых тяговым расчетом.

На карте состояний отображаются изменения показаний локомотивного светофора на локомотиве поезда, движущегося за впереди идущим поездом, в зависимости от его сближения с впереди идущим. Движение головы поезда по блок-участкам соответствует перемещению по

карте состояний левой грани прямоугольников черного цвета. Так, поезд 2012 сначала занимает (б/у) 16, затем одновременно 16 и 14, только 14, 14 и 12 и т.д.

При освобождении хвостом поезда 2012 (б/у) 16 на встречу идущему за ним поезду 64 в рельсовую цепь начинает поступать код красно-желтого огня, и, в случае вступления поезда 64 на этот б/у, на локомотивном светофоре загорелся бы красно-желтый огонь. При вступлении поезда 64 на предыдущий б/у (18) на его локомотивном светофоре загорелся бы желтый огонь, и при вступлении на б/у (20) — зеленый.

Карта состояния показывает, что при занятии поездом 64 б/у 10 на локомотивном светофоре загорелся бы желтый огонь, что означает недопустимое сближение с поездом 2012, одновременно занимающим блок-участки 6 и 4, и потребовалось бы снижения скорости поезда 64 (штриховая линия на графике). Поэтому поезд 2012 в этом интервале не пропускается (штриховая линия) и обгоняется поездом 64.

На б/у 10 (см. рис. 1) поезд-скорострел 2014 нагоняет поезд-тихоход 2012 и поэтому два б/у следует на желтые огни светофоров со скоростью не более 60 км/ч. До занятия поездам 2014 б/у 6 поезд 2012 успевает остановиться на боковом пути станции А для обгона. Готовится маршрут, и открываются входной и выходной светофоры на станции А для безостановочного пропуска поезда 2014. На впереди расположенном проходном светофоре 6 этому поезду загорается зеленый огонь, поэтому далее он следует с установленной скоростью.

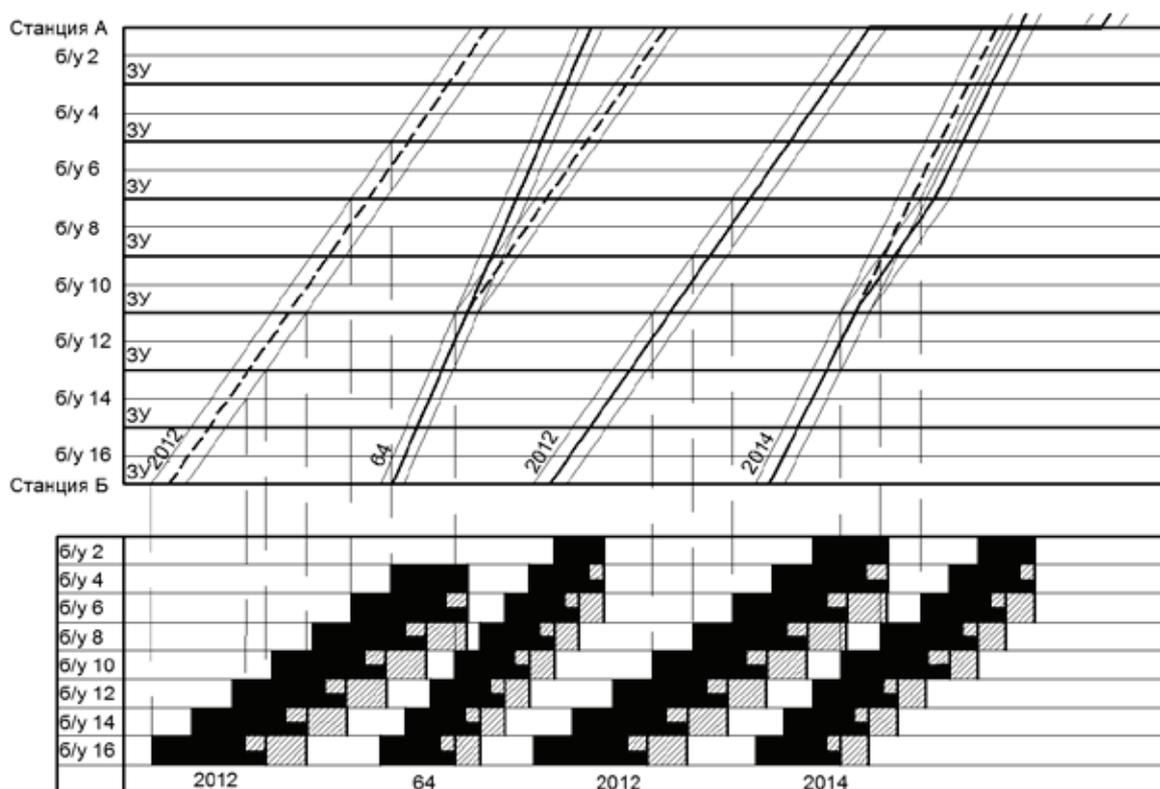


Рис. 1. Отображение пропуска поездов на графике движения и карте состояний

При необходимости первоочередного пропуска поезда 2014, например, по причине малого оставшегося времени работы локомотивной бригады, поезд 2012 потребуются обогнать на станции Б.

Моделирование учитывает, что при выполнении ремонтных работ поезд задерживается на начальной станции, а при наличии свободной станции останавливается на промежуточной станции до окончания «окна». При этом учитывается необходимость сокращенного опробования тормозов, в случае стоянки поезда более установленного времени.

Для линий с высоким значением коэффициента использования пропускной способности в имитационной модели предусмотрена возможность использования безобгонного движения поездов.

После моделирования пропуска поездов за статистически достаточное количество суток определяется закон распределения пропускной способности, математическое ожидание и дисперсия которого позволяют оценить с заданной доверительной вероятностью статистически обоснованную наличную пропускную способность железнодорожной линии и риск ее недостижения.

#### Литература:

1. Белый, О. В. Инновационные проблемы развития транспорта // Бюллетень объединенного ученого совета ОАО РЖД. — 2010. — № 4. — с. 97–100.
2. Кокурин, И. М., Тимченко В. С. Оценка методом имитационного моделирования возможности освоения прогнозируемых объемов перевозок грузов по железнодорожной линии, обслуживающей морской порт // Вестник транспорта Поволжья. — 2014. — № 6. — с. 39–44
3. Кокурин, И. М., Тимченко В. С. Методы определения «узких мест», ограничивающих пропускную способность железнодорожных направлений // Известия Петербургского университета путей сообщения. — 2013. — № 1. — с. 15–22.
4. Тимченко, В. С. Алгоритмизация процессов оценки пропускной способности железнодорожных участков в условиях предоставления окон // Транспорт Российской Федерации. — 2013. — № 5 (48). — с. 34–37.
5. Тимченко, В. С. Алгоритмы расчета графиков проведения ремонтных работ железнодорожного пути на перспективу // Интернет-журнал «Науковедение». — 2014. — № 3. — с. 127.
6. Тимченко, В. С. Оценка перспективной пропускной способности участков железнодорожной сети с учетом предоставления «окон», на основе применения имитационного моделирования процессов перевозок // Молодой ученый. — 2014. — № 2. — с. 199–204.
7. Козлов, П. А. Теоретические основы, организационные формы, методы оптимизации гибкой технологии транспортного обслуживания заводов черной металлургии: дис. ... д-ра техн. наук / П. А. Козлов. — Липецк: ЛПИ, 1986.
8. Владимирская, И. П. Взаимодействие отправителей и получателей грузов при случайном разбросе в доставке и потреблении // Научный вестник МГТУ ГА. — 2009. — № 147. — с. 166–168
9. Осокин, О. В. Интеллектуальное сопровождение производственных процессов на железнодорожном транспорте: Дисс. ... докт. техн. наук. Ек.: УрГУПС. — 2014. — 355 с.
10. Тимухина, Е. Н., Окулов Н. Е. Повышение устойчивости взаимодействия производства и транспорта // Транспорт Урала. — 2014. — № 2. — с. 7–11
11. Кайгородцев, А. А., Рахмангулов А. Н. Применение имитационного моделирования в предпроектной оценке варианта размещения распределительного центра продукции промышленного предприятия // Имитационное моделирование. Теория и практика: Сборник докладов четвертой всероссийской научно-практической конференции ИММОД-2009. Том 2. СПб.: ОАО «ЦТСС». 2009. — с. 90–95.
12. Лаврушина, Е. Г., Гаевой С. С. Построение имитационной модели оптимизации количества сотрудников склада при отгрузке готовой продукции птицефабрики // Науковедение. — 2014. — № 3. — с. 46
13. Рожков, М. И. Разработка имитационных моделей управления запасами в цепях поставок: моногр. М.: Национальный Исследовательский Университет — Высшая Школа, 2011. с. 116.

Наличная пропускная и провозная способности сравниваются с потребными, и делается вывод о возможности освоения заданных объемов перевозок при рассматриваемом варианте развития инфраструктуры и организации движения с учетом ежегодного предоставления «окон». Потребность в «окнах» определяется программным блоком «Окна», учитывающим пропущенный тоннаж по ремонтируемому участку на длительную перспективу.

Рассчитываются суммарное время задержек поездов предоставлением «окон», а также количество поездов, которые должны быть отклонены на параллельные железнодорожные линии. Определяются участковые, технические и маршрутные скорости поездов разных категорий, массы перевезенных грузов, провозная способность и другие показатели процессов перевозок.

#### Заключение

Содержанием статьи является описание карты состояний программного комплекса имитационного моделирования процессов перевозок.

14. Кузнецов, А.Л. Генезис агентного имитационного моделирования в ходе развития методов технологического проектирования портов и терминалов // Эксплуатация морского транспорта. — 2009. — № 4. — с. 3–7.
15. Китиков, А. Н., Кузнецов А.Л., Русинов И. А. Ограничения при расчёте морского фронта методами теории массового обслуживания // Эксплуатация морского транспорта. — 2013. — № 1. — с. 3–6
16. Устинов, В. В., Попов В. В. Имитационная модель техносферы порта // Транспортное дело России. — 2012. — № 3. — с. 75–82
17. Кайгородцев, А. А., Рахмангулов А. Н. Система методов выбора места размещения логистического распределительного центра // Современные проблемы транспортного комплекса России: Межвуз. сб. науч. тр. — Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г. И. Носова, 2012. — № 2. — с. 23–37.
18. Фу, Ф. Г., Казаков А. Л. Имитационное моделирование работы грузовых транспортных терминалов // Вестник ИрГТУ. — 2013. — № 9. — с. 37–43.
19. Эглит, Я. Я., Николаев А. В. Моделирование работы специализированного терминала // Эксплуатация морского транспорта. — 2007. — № 4. — с. 16–22
20. Югова, Д. И., Сизый С. В., Сай В. М. Имитационная модель контейнерного терминала — элемента региональной транспортно-логистической сети // Транспорт Урала. — 2011. — № 2. — с. 31–37.
21. Тимченко, В. С. Оценка перерабатывающей способности грузового фронта методом имитационного моделирования // Молодой ученый. — 2015. — № 5. — с. 189–192.
22. Тимченко, В. С. Перспективы применения имитационного моделирования, при оценке мероприятий по развитию транспортного комплекса Арктической зоны РФ // Мир науки. — 2015. — № 1. — с. 2.
23. Тимченко, В. С. Перспективы применения отечественного опыта расчёта железнодорожных станций, участков и транспортных узлов методом имитационного моделирования при развитии железнодорожной инфраструктуры Крымского полуострова // Мир науки. — 2014. — № 4. с. 17.
24. Галкина, Ю. Е., Ковалев К. Е., Тимченко В. С. Учет загруженности оперативного персонала при оценке пропускной способности железнодорожных направлений // Наука и современность. — 2014. — № 30. — с. 131–136.
25. Ковалев, К. Е., Тимченко В. С. Оценка мероприятий по развитию инфраструктуры в масштабе железнодорожных направлений с учетом загруженности оперативного персонала технических станций // Молодой ученый. — 2014. — № 3. — с. 298–302.

## Анализ режимов электроферромагнитных цепей приведением уравнений состояния к относительным единицам

Файзиев Махманазар Мансурович, кандидат технических наук, доцент;  
 Тошев Тожиддин Унгбоевич, соискатель, преподаватель  
 Каршинский инженерно-экономический институт (Узбекистан)

Электромагнитные цепи относятся к цепям с существенными нелинейными элементами, и исследования установившихся режимов и переходных процессов связаны со значительными математическими выкладками. Анализ установившегося режима электромагнитной цепи удобно вести методом, изложенным в монографии М. Г. Александровой и др. [1], согласно которому цепь представляется как линейный многополюсник с одним входом и выходами, состоящими из нелинейных ферромагнитных элементов.

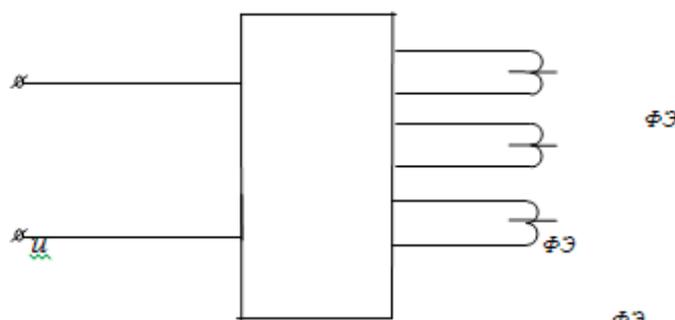


Рис. 1

Дифференциальные уравнения состояния для цепи с одним ферромагнитным элементом при аппроксимации кривой намагничивания с соотношением  $i\omega = k\Phi^n$  имеет следующий вид

$$k_q d^q \Phi / dt^q + k_{q-1} d^{q-1} \Phi / dt^{q-1} + \dots + k_1 d\Phi / dt + k_0 \Phi_0 + N_L d^L \Phi^n / dt^L + N_{L-1} d^{L-1} \Phi^{n-1} / dt^{L-1} + \dots + N_1 d\Phi^n / dt + N_0 \Phi^n = u \tag{1}$$

Коэффициенты уравнения (1) определяются при помощи параметров многополюсника для конкретной цепи. Для электроферромагнитного контура, показанного на рис. 2, справедливо следующее уравнение.

$$LC\omega d^3 \Phi / dt^3 + Lg\omega d^2 \Phi / dt^2 + \omega d\Phi / dt + kL / \omega d\Phi^n / dt = u \tag{2}$$

- Здесь  $u$  - приложенное напряжение;
- $\omega$  - число витков обмотки ферромагнитного элемента;
- $\Phi$  — магнитные потоки в сердечниках ферромагнитных элементов;
- $n, k$  — степень и коэффициент аппроксимирующей функции;

После ведения базисных величин получим:

$$d^3 x / d\tau^3 + \delta d^2 x / d\tau^2 + dx^n / d\tau + \beta dx / d\tau = y, \tag{3}$$

где

$$y = u / u_\phi; x = \Phi / \Phi_\phi; \Phi_\phi = \sqrt[n-1]{\omega^2 w^2 C / k}; u_\phi = \omega^2 w LC \Phi_\phi; \delta = g / \omega C; \beta = 1 / \omega^2 LC; \tau = \omega t$$

Таким образом, вместо уравнения (2), мы имеем нелинейное безразмерное дифференциальное уравнение (3) с минимальным количеством коэффициентов  $\delta$  и  $\beta$ . Это достигнуто удачным выбором значений базисных величин  $\Phi_\phi$  и  $u_\phi$ . Далее уравнение (3) легко решается методом учета основной гармоники магнитного потока или методом медленно меняющихся амплитуд, на основе которых легко получить необходимые характеристики [4].

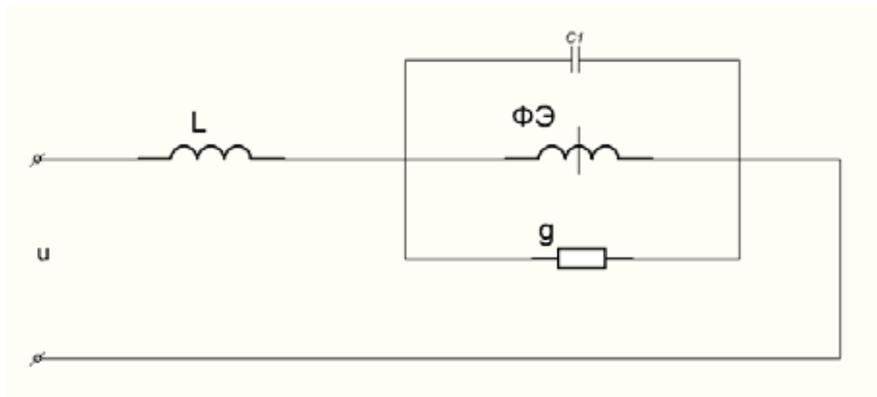


Рис. 2

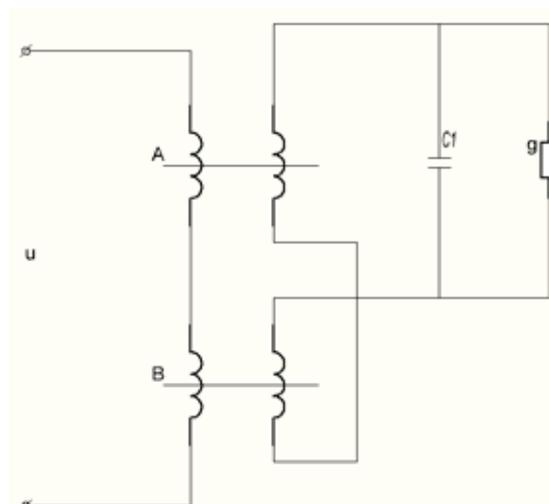


Рис. 3

Другим примером может служить составление нормированного уравнения состояния для двухсердечниковой параметрической цепи (рис. 3), для которой справедливо следующее уравнение:

$$wd^2(\Phi_A - \Phi_B) / dt^2 + w / RCd(\Phi_A - \Phi_B) / dt - k / 2wC(\Phi_A^n - \Phi_B^n) = 0$$

После введения базисных величин и аппроксимации кривой намагничивания ферромагнитного элемента кубической функцией, это уравнение примет следующий вид:

$$d^2h / d\tau^2 + \delta dh / d\tau + h^2 + 3hy_m^2 \cos^2 \tau = 0 \tag{4}$$

Здесь принято  $\Phi_A + \Phi_B = \Phi_m \cos \omega t$   $\Phi_A - \Phi_B = \Phi_n$

$$h = \Phi_n / \Phi_\delta; y_m = \Phi_m / \Phi_\delta; \Phi_\delta = \sqrt{\omega^2 w^2 C / k}; \tau = \omega t; \delta = 1 / R\omega C$$

Полученное уравнение (4) с единственным коэффициентом  $\delta$  можно решить, применяя асимптотический метод Крылова-Боголюбова-Митропольского. В первом приближении, допуская  $h = a \cos \psi$ , мы получим:

$$a^2 = 1/3(4 - 6y_m^2 \pm \sqrt{9y_m^4 - 16\delta^2}) \tag{5}$$

Задавая значение  $u$  для определенного  $\delta$ , мы можем исследовать основные характеристики электромагнитной цепи. При этом необязательно определение численного значения коэффициента аппроксимирующей функции.

Известно, что электроферромагнитные цепи широко используются в качестве стабилизаторов тока, напряжения или преобразователей частоты [2, 3]. Например, электроферромагнитная цепь, показанная на рис. 1, применяется в цепи управления ферромагнитного удвоителя частоты со стабилизацией выходного напряжения. В этом случае, в качестве нагрузки служит активное сопротивление цепи управления ферромагнитного удвоителя частоты по схеме Жоли-Эпштейна. Уравнение состояния имеет следующий вид:

$$d^3x / d\tau^3 + \delta_n d^2x / d\tau^2 + dx^n / d\tau + dx / d\tau + \delta_n x^n = y, \tag{6}$$

Здесь  $\delta_n = R_n \omega C$  — коэффициент, пропорциональный величине активной нагрузки, которая включается последовательно с линейной индуктивностью. При составлении уравнения (6) не учитываются потери в параллельном ферромагнитном контуре.

Принимая  $x = X_m \sin \tau$  из (6) для случая  $n=9$ , имеем:

$$y_m^2 = (X_m - X_m^9)^2 \delta_n^2 + X_m^{18}$$

$$\bar{I}_{mL} = X_m^9 - X_m$$

Здесь  $\bar{I}_{mL}$  — относительное максимальное значение тока нагрузки.

В режиме стабилизации выходного напряжения удвоенной частоты значение  $X_m$  изменится в пределах от 0,8 до 1. Исследование соотношений установленных мощностей показали, что

$$\bar{Q}_{\Phi\Delta} / \bar{P}_H = \bar{Q}_C / \bar{P}_H = 1,7; \bar{Q}_L / \bar{P}_H = 0,6$$

$$\sum \left| \bar{Q} \right| / \bar{P}_H = 4$$

Здесь  $\bar{Q}_{\Phi\Delta}, \bar{Q}_C, \bar{Q}_L, \bar{P}_H$  — соответственно относительные максимальные мощности ферромагнитного элемента, ёмкости, линейной индуктивности и активной нагрузки. Таким образом, общая мощность реактивных элементов цепи превышает мощность нагрузки в четыре раза.

$$\sum \left| \bar{Q} \right| / \bar{P}_H = 4$$

Эти соотношения являются базовыми величинами при расчете элементов электроферромагнитной цепи.

### Выводы

1. Приведение уравнений состояния электроферромагнитной цепи к базисным условиям позволяет получить нормированное дифференциальное уравнение с минимальным количеством коэффициентов. При этом появляется возможность анализировать режимы электроферромагнитной цепи без определения значения коэффициента аппроксимации кривой намагничивания.

2. На основе нормированных соотношений определяются удельные значения мощностей элементов цепи электроферромагнитных устройств.

Литература:

1. Александрова, М. Г., Белянин А. Н. и др. Расчёт электрических цепей и электромагнитных полей. М, Радио и связь, 1983, 344 стр.
2. Кадыров, Т. М., Алимов Х. А., Файзиев М. М. — Магнитные усилители с электроферромагнитной цепью управления. АН РУз, Проблемы информатики и энергетика 1995. № 2. с. 47—48.
3. Кадыров, Т. М., Алимов Х. А., Файзиев М. М. — Исследование установившегося режима ферромагнитного удвоителя частоты, АН РУз, Проблемы информатики и энергетика 1997. № 3. с. 29—33.
4. Кадыров, Т. М. — Ферромагнитные цепи, обладающие широким падающим участком на амплитудной и фазовой характеристике. Известия ВУЗов, «Электромеханика», 1988, № 7, с 26—29.

## Преимущества применения комплексно-блочного метода при возведении сельскохозяйственных объектов

Фетисова Мария Александровна, кандидат технических наук;  
Евстратов Сергей Сергеевич, магистрант  
Орловский государственный аграрный университет

*В статье идет речь о преимуществах комплексно-блочного метода (КБМ) при возведении сельскохозяйственных объектов. КБМ позволяет значительно сократить продолжительность возведения объектов вследствие переноса существенной части трудозатрат со строительных площадок в заводские условия. Проектирование и строительство сельскохозяйственных объектов комплексно-блочным методом создает возможность получить экономический эффект в размере 8—10% сметной стоимости объекта строительства.*

*In article there is a speech about advantages of the complex and block method (CBM) at construction of agricultural objects. KBM allows to reduce considerably duration of construction of objects owing to transfer of essential part of labor costs from building sites in industrial conditions. Design and building of agricultural objects by a complete and block method creates opportunity to gain economic effect of 8—10% of estimated cost of a construction object.*

В современных рыночных условиях особенно актуально является применение комплексно-блочного метода (КБМ) при возведении сельскохозяйственных объектов. Это связано с необходимостью обеспечения продовольственной безопасности страны и изобилия сырья для отечественной промышленности. Агропромышленное строительство, в отличие от городского жилищно-гражданского и застройки крупных промышленных предприятий, имеет свои технические и организационно-технологические особенности, которые затрудняют решение организационных вопросов, приводят к неритмичности и неуравновешенности строительных потоков и, как следствие, к увеличению продолжительности возведения объектов и недостаточно эффективному использованию ресурсов.

Существуют следующие типы блоков:

агрегированного оборудования — блоки оборудования, выполняющего законченный технологический передел в составе производственного процесса;

строительные — пространственно-жесткие здания или самостоятельные их части, предназначенные для размещения в них хозяйств, обслуживающих производственные процессы, административных и бытовых помещений;

строительно-технологические — пространственно-жесткие здания или их самостоятельные части, в которых располагается агрегированное оборудование, выполняющее законченный технологический передел в составе производственного процесса, а так же выполняющее вспомогательные функции в составе производственного процесса, выполняющих функции контроля, управления и др. обслуживания производственного процесса;

коммуникаций — пространственно-жесткие части эстакад, галерей, проходных и полупроходных коллекторов, в которых располагаются коммуникации различного назначения, непосредственно обслуживающие производственный процесс.

По назначению блоки разделяются основного производственного, подсобно-вспомогательного и обслуживающего назначения, а также административно-бытовые.

Конструкция сборочных единиц и поставочных частей должна удовлетворять следующим требованиям: предусматривать базовую составную часть, являющуюся основой для расположения примыкающих составных частей; обеспечивать высокую точность установки крупнобаритных поставочных частей со встроенными элементами необходимых размеров для размещения приборов,

замеряющих положение базовых поверхностей; компоновка должна обеспечивать общую сборку оборудования без промежуточной разборки и повторной сборки составных частей; места соединения составных частей между собой должны быть доступны для механизации сборочных работ, контроля качества соединений и не требовать дополнительной обработки сопрягаемых поверхностей, кроме технологически обоснованных случаев, указанных в технической документации.

Главный принцип комплектно-блочного строительства объектов состоит в перенесении строительных и монтажно-наладочных работ в сферу промышленного производства. Для решения этой задачи требуется выполнение взаимовязанных технических и организационных мероприятий.

Факторами определяющими экономическую эффективность комплектно-блочного метода, являются:

- улучшение условий труда и быта строителей, сокращение ручного труда. Замена трудоемких операций монтажными. Резкое сокращение затрат труда на строительной площадке и перенос объемов работ в заводские условия с более высоким уровнем механизации;

- совершенствование проектных решений с сокращением производственных площадей, протяженности трубопроводов и других коммуникаций, снижение общего веса оборудования и конструкций;

- повышение производительности труда путем переноса значительной доли объемов работ из неблагоприятных условий строительной площадки в заводские. При этом обеспечивается снижение общих трудовых затрат не только за счет повышения уровня механизации, энергооборуженности, сокращения простоев из-за неблагоприятных климатических условий, но и за счет снижения потребной мощности строительного-монтажных организаций на местах;

- повышение заводской готовности блоков, существенно сокращающей долю монтажных работ в цикле изготовления-монтаж и обеспечивающей рост производительности труда в этом цикле в 1,5–2 раза, а на строительстве в 3–4 раза, что приводит к сокращению продолжительности строительства;

- сокращение продолжительности строительства и связанных с ним условно-постоянных расходов, а также средств, отвлекаемых на незавершенное производство, улучшение распределения капитальных вложений в период строительства.

Проектирование и строительство сельскохозяйственных объектов комплектно-блочным методом создает возможность получить экономический эффект в размере 8–10% сметной стоимости объекта строительства. Значительная часть эффекта, достигается за счет реализации блочного принципа проектирования, при котором около 50% экономического эффекта достигается в результате сокращения нормативных затрат на коммуникации, строительные конструкции, затрат труда на изготовление блоков, сокращение физических объемов работ по монтажу оборудования, трубопроводов, арматуры, металлоконструкций. Реализация блочного принципа формирования сельскохозяйственных объектов позволит существенно улучшить проектные решения — протяженность трасс сокращается на 25–30%, площадь застройки на 20%, при сокращении расхода железобетона металлоемкость объекта не увеличивается.

Организационно-технологическую документацию комплектно-блочного метода при возведении сельскохозяйственных объектов следует разрабатывать по следующим организационным уровням: проектирование объекта в комплектно-блочном исполнении, изготовление блоков, комплектация блоков и их частей, сборка блоков на сборочно-комплектно-блочных предприятиях, доставка блоков на строительную площадку, подготовка строительной площадки к установке блоков в проектное положение, установка блоков в проектное положение. В зависимости от этих уровней изменяется состав и содержание задач, решаемых при разработке проектов организации строительства и проектов производства работ при возведении сельскохозяйственных объектов.

Однако вопросы организации строительства с применением КБМ сельскохозяйственных объектов и их комплексов, в частности, календарного планирования их возведения, не получили должного методического обеспечения. Такое положение крайне нежелательно в условиях значительного количества самостоятельно хозяйствующих субъектов в агропромышленном строительстве, многочисленности проектных, строительных и монтажных организаций, индивидуально разрабатывающих сложную ОТД разного уровня (ПОС, ППР и др.), причем, как правило, на одновариантной основе, при использовании организационно-технологических моделей, недостаточно адекватных реальным условиям.

#### Литература:

1. Афанасьев, А. А. и др. Технология возведения полносборных зданий. Учебник / А. А. Афанасьев, С. Г. Арутюнов, И. А. Афонин и др.; Под общ. ред. член-корр. РААСН А. А. Афанасьева. М.: Изд-во АСВ, 2000. — 361 с.
2. Аблязов, Л. П. Исследование организации возведения разнотипных зданий и сооружений: Дис. канд. техн. наук. — М.: ЦНИИОМТП, 1971. 170 с.
3. Методические рекомендации по комплектно-блочному строительству объектов. Методические рекомендации / М.: ЦНИИОМТП, 1987.
4. Фетисова, М. А., Евстратов С. С. Возведение сельскохозяйственных зданий с применением блочно-комплексных устройств // Вестник Строительства и архитектуры. Сборник научных трудов. — Орел: Издательство Картуш, 2014. с. 75–77.

## Контроль включения сетевого резерва делительной автоматикой

Филиппов Вадим Владимирович, кандидат технических наук, доцент  
Орловский государственный аграрный университет

Описан способ контроля включения сетевого резерва делительной автоматикой, разработана структурная схема и описана ее работа с изображением выходных сигналов.

**Ключевые слова:** силовой трансформатор, автоматическое включение резерва, датчик убывания рабочего тока, датчик возрастания рабочего тока, реле минимального напряжения, регистрирующее устройство.

## Control on reserve network separatory automation

V. V. Filippov

Describes a method for controlling switching network provision indexing automation, developed a block diagram and described her work with the image of the output signals.

**Keywords:** power transformer, automatic source, decreasing the operating current sensor, the sensor increase in operating current, undervoltage, the recording device.

Сельские распределительные сети обладают большой протяженностью и разветвленностью. Это, в отдельных случаях позволяет получить условно-замкнутую кольцевую сеть (рис. 1). Секционирование линий, образующих такую сеть, обеспечивает возможность резервирования отдельных участков линий. Подключение резервируемых участков осуществляется с помощью сетевых пунктов автоматического включения резерва

(АВР). Признаком для включения выключателя сетевого резерва, является исчезновение напряжения с одной из сторон [1].

Схема (см.рис. 1) содержит: Т 1, Т 2 — трансформаторы силовые; Q1, Q7 — выключатели вводные; Q2, Q6 — выключатели головные; Q3, Q5 — выключатели секционирующие; Q4, Q8 — выключатели сетевого и шинного пунктов АВР соответственно.

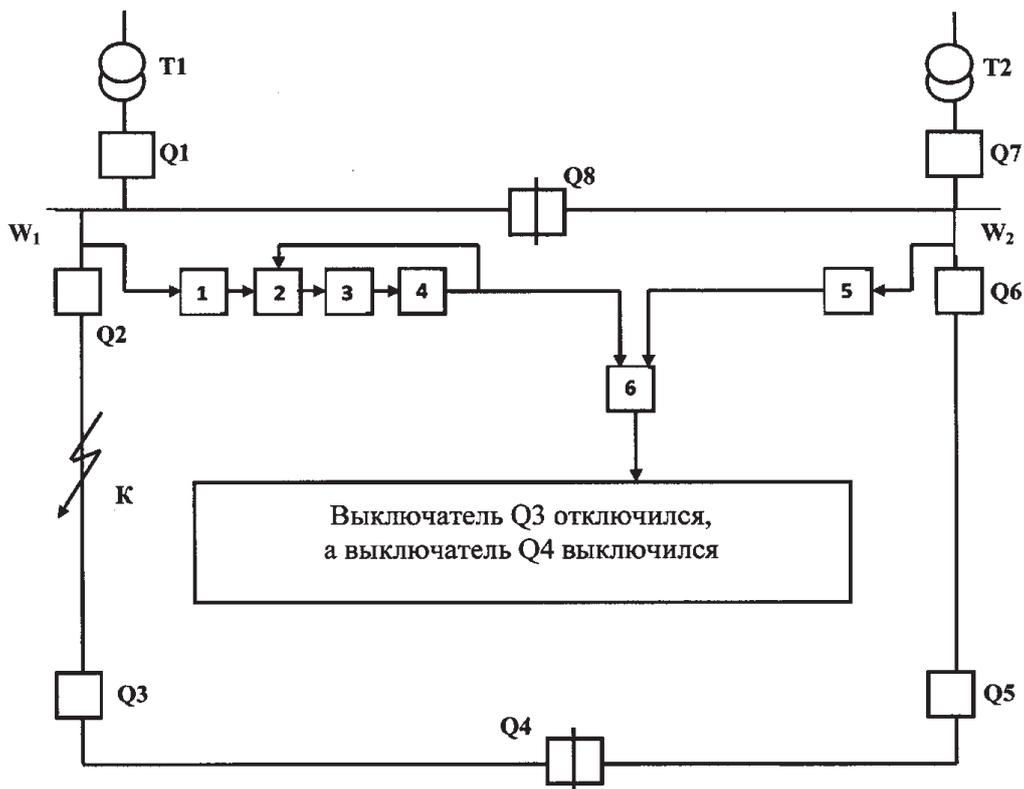


Рис. 1. Упрощенная однолинейная схема двухтрансформаторной подстанции и структурная схем контроля

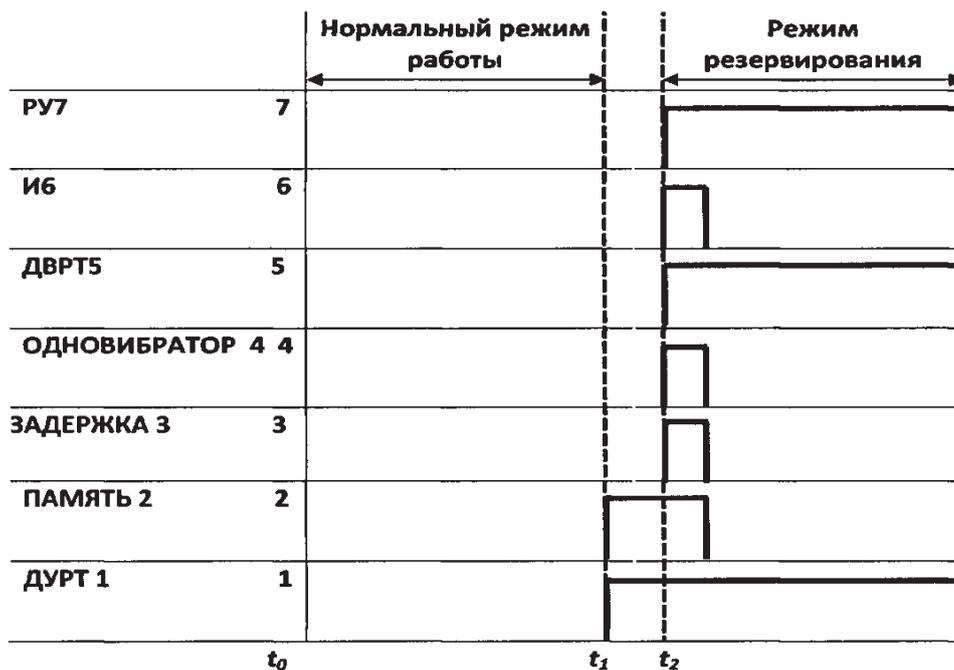


Рис. 2. Диаграммы выходных сигналов структурной схемы

Исчезновение напряжения в секционированной линии  $W_1$  (или  $W_2$ ) может произойти по причине возникновения устойчивого короткого замыкания (КЗ) на головном участке линии, например в точке К, или по причине срабатывания делительной автоматики, установленной на выключателе Q3 (рис. 1). Для получения информации о включении сетевого резерва делительной автоматикой разработан способ [2].

На рис. 2 моменты времени:  $t_0$  — начальный момент времени;  $t_1$  — момент времени срабатывания делительной автоматики;  $t_2$  — момент времени включения сетевого резерва.

Согласно этому способу контролируют уменьшение рабочего тока в линии основного источника питания на значение, определяемое нагрузкой участка линии, смежного с сетевым пунктом АВР. При этом через время выдержки срабатывания защиты сетевого пункта АВР ожидают увеличение рабочего тока в линии резервного источника питания на такое же значение, что и его уменьшение в линии основного источника питания. И, если это произойдет, то делают вывод о включении сетевого резерва после срабатывания делительной автоматики секционирующего пункта линии кольцевой сети [3].

Для реализации такого контроля разработана структурная схема (рис. 1), которая состоит из элементов: ПАМЯТЬ-2; ЗАДЕРЖКА-3; ОДНОВИБРАТОР — 4; И-6; датчик убывания рабочего тока (ДУРТ) — 1; датчик возрастания рабочего тока (ДВРТ) — 5.

Схема работает следующим образом. В нормальном режиме работы сети выключатели Q1, Q2, Q3, Q5, Q6 и Q7 включены, а выключатели Q4 и Q8 отключены, на

выходе ДУРТ-1 сигнала нет, поэтому схема находится в режиме контроля.

При уменьшении напряжения на устройстве делительной автоматики секционирующего пункта с выключателем Q3 до значения срабатывания реле минимального напряжения, оно срабатывает и секционирующий выключатель Q3 отключится. Это приведет к уменьшению рабочего тока в линии основного источника питания, при этом ДУРТ-1 сработает, появится его выходной сигнал (рис. 2, диагр. 1, момент времени  $t_1$ ). Отключение выключателя Q3 приведет к исчезновению напряжения на сетевом пункте АВР и его выключатель Q4, через время выдержки АВР включится. При этом отключенный участок линии основного источника питания, расположенный смежно с пунктом АВР, подключится к линии резервного источника питания. Это приведет к увеличению рабочего тока в линии резервного источника питания, поэтому сработает ДВРТ-5, на его выходе появится сигнал (рис. 2, диагр. 5, момент времени  $t_2$ ), который поступит на второй вход элемента И — 6. Сигнал ДУРТ — 1 в момент времени  $t_1$  поступит на вход элемента ПАМЯТЬ-2, запомнится им (рис. 2, диагр. 2), и поступит на вход элемента ЗАДЕРЖКА-3, и через время выдержки АВР выключателя Q4 (рис. 2, диагр. 3) поступит на вход элемента ОДНОВИБРАТОР-4. Он произведет одно колебание (рис. 2, диагр. 4), этот сигнал «сбросит» память с элемента 2 (рис. 2, диагр. 2) и поступит на первый вход элемента И-6, на втором входе которого уже существует сигнал с ДВРТ-5, поэтому он сработает (рис. 2, диагр. 6). Его выходной сигнал поступит в РУ-7 и в нем появится информация о том, что секционирующий выключатель

Q3 отключился, а выключатель Q4 сетевого пункта АВР включился (рис. 2, диагр.7).

Реализация разработанной структурной схемы разрешает получить информацию о включении сетевого резерва после срабатывания делительной автоматики секционир

ующего пункта линии кольцевой сети. Это позволит обслуживающему персоналу правильно оценить ситуацию и принять необходимые меры для восстановления нормальной схемы электроснабжения, что уменьшает экономические потери от недоотпуска электроэнергии.

Литература:

1. Шавров, А. В., Колониец А. П. «Автоматика». — М.: Колос, 1999. — 264 с.
2. Белов, Н. В., Ю. С. Волков «Электротехника и основы элетроники». Санкт-Петербург, 2012. — 421 с.
3. Конюхова, Е. А. «Электроснабжение объектов»: учебное пособие — М.: Издательство «Мастерство», 2002. — 320 с.

## Краткая история электрокалорических охладителей и их перспективы

Фоминых Анатолий Кириллович, магистрант

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

Статья подготовлена по материалам периодической литературы и собственным исследованиям, обобщенных при работе над докладом и рефератом по курсу «История и методология электроники». Эта дисциплина входит в программу обучения 1 года магистратуры и реферат является одним из этапов написания пояснительной записки к магистерской диссертации по теме, связанной с получением и исследованием электрокалорического эффекта. При работе над рефератом обязательным требованием является междисциплинарный характер. При написании были использованы пособия, изданные в том числе в СПбГЭТУ «ЛЭТИ» [1–4].

На протяжении практически всей своей истории человечество применяло те или иные методы охлаждения, например, используя лёд для увеличения срока годности пищи, однако, значительная часть существующих систем охлаждения имеет иную цель — создание оптимальных температурных условий для работы различных электронных приборов и устройств. Длительное время воплощением передовых технологий являлся персональный компьютер, и если в первых моделях хватало пассивного воздушного охлаждения, то сейчас большинство имеет гораздо более сложные системы охлаждения, включающие в себя радиаторы, вентиляторы и тепловые трубки. При этом всё большее распространение получают элементы Пельтье и жидкостные системы охлаждения, имеющие преимущество в бесшумности и большей эффективности. Однако теперь все большее значение приобретают смартфоны, и именно в них производители пытаются заложить самые передовые свои разработки. Современные смартфоны и планшеты по производительности превосходят практически все компьютеры, выпускаемые десять лет назад, обладая значительно меньшим размером. Конечно, частично удалось снизить нагрев устройств за счет уменьшения энергопотребления (чем меньше потребление электроэнергии, тем

меньше выделение джоулевого тепла), но этого явно недостаточно — если достаточно сильно загрузить смартфон, то он может нагреться настолько, что даже держать его в руках станет не комфортно. Однако создание системы охлаждения для устройств подобного размера затруднено тем, что часть методов охлаждения имеет высокое энергопотребление, как элемент Пельтье, либо значительные геометрические размеры — как воздушное или жидкостное охлаждение. Многие производители рассматривают жидкостное охлаждение как возможный выход, однако маловероятно его применение как окончательной панацеи. Одним из возможных принципов охлаждения, дающих принципиально новые возможности, является электрокалорический эффект.

Суть электрокалорического эффекта заключается в увеличении температуры вещества при создании в нем электрического поля и соответствующего уменьшения температуры при выключении этого поля. Выяснено, что получаемый перепад температур зависит от величины поляризации диэлектрика и от напряженности электрического поля. Так же известно, что наиболее выражен электрокалорический эффект в материалах со структурой, родственной структуре перовскита. В отличие от эффекта Пельтье, электрокалорический эффект основан не на протекании тока через активный слой охлаждающего элемента, а на изменении приложенного напряжения, что упрощает как схему управления подобным элементом, так и его энергопотребление, что очень важно в миниатюрных приборах, или приборах с ограниченным источником питания. [6–7]

Электрокалорический эффект был предсказан еще в девятнадцатом веке — в 1887 известный физик, Уильям Томсон, лорд Кельвин, предсказал электрокалорический эффект исходя из соображений об обратимости пирозлектричества (пирозлектричество — явление возникновения электрического поля в кристаллах при изменении их температуры).

Впервые экспериментально наблюдали электрокалорический эффект известные советские физики И. В. Курчатова и П. П. Кобеко. Ими был предсказан и экспериментально зафиксирован электрокалорический эффект в кристаллах сегнетовой соли ( $KNaC_4H_4O_6 \cdot 4H_2O$ ) на стыке 1920–1930х годов. В ходе работ над исследованием свойств сегнетовой соли, было выяснено, что часть свойств, ранее считавшихся аномальными, наблюдается у целого ряда диэлектрических материалов, названных Курчатовым сегнетоэлектриками. Одними из первых сегнетоэлектриков были исследованы сегнетова соль и её изоморфные кристаллы, а так же ряд других соединений, у которых температура фазового перехода меняется в широком диапазоне, в зависимости от её состава.

Всплеск активности научного сообщества в исследовании электрокалорического эффекта и попыток найти ему достойное применение пришелся на шестидесятые годы двадцатого века, однако в силу целого ряда техниче-

ских и технологических возможностей не удалось создать опытных образцов с изменением температуры, превышающим доли градуса. Этого было явно недостаточно для практического применения, и исследования электрокалорического эффекта были практически полностью свернуты [8].

Интерес к исследованию этого эффекта переживает в настоящий момент второй пик. Это вызвано тем, что в 2006 году в журнале Science была опубликована статья об открытии сильнейшего на тот момент электрокалорического эффекта с температурным откликом в 12 градусов Кельвина. Хотя подобные значения электрокалорического эффекта, названные гигантским электрокалорическим эффектом, были достигнуты при температуре 220 °С, но сам факт возможности создания материалов со значительно выраженным электрокалорическим эффектом, способным найти широкое применение, вызвал всплеск публикаций на данную тематику [9].

Таблица 1. Основные вехи в исследовании ЭКЭ

Год	Событие
1878	Теоретическое предсказание электрокалорического эффекта Уильямом Томсоном.
1930	Наблюдение электрокалорического эффекта в сегнетовой соли И. В. Курчатовым и П. П. Кобеко.
1960-е	Первая волна работ по исследованию электрокалорического эффекта.
2006	Измерение и исследование электрокалорического эффекта в тонких пленках $PbZr_{0.95}Ti_{0.05}O_3$ – гигантский электрокалорический эффект.
2008	Измерение и исследование электрокалорического эффекта в тонких пленках P (VDF-TrFE) — полимерном сегнетоэлектрическом материале.

Среди прочих методов охлаждения, электрокалорический эффект обладает большим количеством преимуществ. Во-первых, на основе электрокалорического эффекта можно создавать твердотельные активные слои охлаждающие устройств, а значит они будут бесшумными, при повреждении, в отличии от жидкостных систем охлаждения, не выведут из строя охлаждаемые схемы, будут проще в производстве, монтаже и уходе. Во-вторых, как было сказано выше, электрокалорический эффект основан на изменении приложенного электрического поля, а не на протекании тока, значит возможно создание охлаждающих устройств с очень низким энергопотреблением, что принципиально важно при создании систем для исследования космоса и прочих систем с высокой степенью автономности. Так же преимуществом является количество электрокалорических материалов — это могут быть как объемные сегнетоэлектрики, так и тонкие пленки. В связи с развитием технологий гибкой электроники, довольно популярным становится создание и исследование электрокалорических материалов в виде полимерных пленок. [10]

Так как электрокалорические материалы относятся к классу сегнетоэлектриков, их можно получать традиционными методами. Например, для создания тонких и толстых пленок, которые более перспективны в современной микро и нанoeлектронике, в связи с меньшими нежели у традици-

онных объемных элементов геометрическими размерами и возможностью интеграции в процесс производства микросхемы, используются такие методы как магнетронное напыление, химическое осаждение из газовой фазы металлоорганических соединений, золь-гель процесс, лазерная абляция и многие другие. Такое многообразие методов так же является важным преимуществом электрокалорических материалов, так как дает возможность под каждый конкретный случай разрабатывать собственные требования и к материалу, и к технологии его получения. Разнообразием так же отличаются и методики исследования получаемых электрокалорических материалов, например атомно-силовая микроскопия становится все более перспективной для изучения поверхности подобных образцов в связи с высокой точностью измерений и широким спектром возможностей, обусловленным совершенствованием старых методов исследования и созданием новых [11–13].

Исследования по созданию и исследованию эффективных электрокалорических материалов проводятся не только за рубежом, но и в России, в частности в СПб-ГЭТУ. Часть образцов сложного состава была получена золь-гель процессом, в силу ряда его преимуществ, например таких как широкий набор исходных компонентов и возможность выбора материала подложек. Что немаловажно, полученные образцы прозрачны в видимом диапа-

зоне света. Этот факт обуславливает возможность применения электрокалорических охлаждающих устройств в такой зарождающейся области техники, как прозрачная электроника [14–16].

#### Литература:

4. Максимов, А.И., Мошников В.А., Таиров Ю.М., Шилова О.А. Основы золь-гель-технологии нанокompозитов 2 изд. СПб.: СПб.: ООО Техномедиа Изд-во Элмор, 2008. 255 с.
5. Золь-гель технология: учеб. пособие / В. А. Жабрeв, В.А. Мошников, Ю.М. Таиров, О.А. Шилова. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2004 г.
6. Александрова, О.А., Мошников В.А. Физика и химия материалов оптоэлектроники и наноэлектроники: Практикум. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2007. 68 с.
7. Мошников, В.А., Таиров Ю.М., Хамова Т.В., Шилова О.А. Золь-гель технология микро- и нанокompозитов: Учеб. пособие. / Под ред. О.А. Шиловой. СПб.: Лань, 2013. — 334 с.
8. Мошников, В.А., Спивак Ю.М. Атомно-силовая микроскопия для нанотехнологии и диагностики: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2009. — 80 с.
9. Еськов, А.В. Твердотельные охлаждающие устройства на основе электрокалорического эффекта в сегнетоэлектрических материалах. — Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. СПб, 2014.
10. Tatiana Correia, Qi Zhang Electrocaloric Materials: New Generation of Coolers // Springer Science & Business Media, 2013
11. Булат, Л.П., Ведерников М.В., Вялов А.П. и др. Термоэлектрическое охлаждение. Текст лекций // Под ред. Л.П. Булата. — С. — П., СПбГУНИИПТ, 2002, 147 с.
12. Mischenko, A. S., et al Giant Electrocaloric Effect in Thin-Film  $PbZr_{0.95}Ti_{0.05}O_3$ . // Science 3 March 2006: Vol. 311 no. 5765 pp. 1270–1271.
13. Флёрв, И.Н. Калорические эффекты в твердых телах и перспективы их практического использования. // Известия Санкт-Петербургского государственного университета низко температурных и пищевых технологий, 2007
14. Лашкова, Н.А., Пермяков Н.В. Исследование полупроводниковых материалов методом микроскопии сопротивления растекания // Молодой ученый, 2014, № 10, с. 32–35.
15. N. A. Lashkova et al., Local analysis of semiconductor nanoobjects by scanning tunneling atomic force microscopy // St. Petersburg Polytechnical University Journal: Physics and Mathematics (2015)
16. Абрашова, Е.В. Особенности формирования прозрачных тонкопленочных покрытий на основе соединений оксидов металлов олова и цинка золь-гель методом // Молодой ученый, 2013, № 2, с. 1–4.
17. Abrashova, E. V., Gracheva I. E., Moshnikov V. A. / Functional nanomaterials based on metal oxides with hierarchical structure. / Journal of Physics: Conference Series 461 (2013) 012019 doi:10.1088/1742–6596/461/1/012019
18. Abrashova E V and Fominykh A K Investigation of lead-free thin films based on barium titanate for electrocaloric devices // J. Phys.: Conf. Ser. — 2014–541 012091
19. Абрашова, Е.В., Фоминых А.К., Синтез и исследование многокомпонентных металлооксидов, полученных методом золь-гель // Молодой ученый. — 2014. — № 11. — с. 29–33.

## **Влияние влажности стебли хлопчатника (гуза-паи) и интенсивности теплового потока на скорость пиролиза**

Халикова Хуршида Абдуллаевна, соискатель;  
Нурова Малика Абдузаировна, соискатель  
Каршинский инженерно-экономический институт (Узбекистан)

*В данной статье показаны результаты исследований влажности гуза-паи на важные показатели, в частности, на производительность греющей стенки реактора, а также влияние интенсивности теплового потока на показатели пиролиза. Также нами были изучены причины, обуславливающие неоднородность поля температур при слоевом пиролизе гуза-паи.*

**Т**ермовлагодупроводность гуза-паи, зависящая от его влажности, влияет на продолжительность пиролиза гуза-паи, удельный расход энергии (тепла) и иные важнейшие характеристики процесса. В случае, если внутри гуза-паи су-

ществуют градиенты влажности и температуры, то влага при сушке перемещается: а) в результате наличия градиента влажности (влагопроводность), б) в результате наличия градиента температуры (термовлагопроводность).

В гуза-паи, как в коллоидно-капиллярно-пористом теле, термовлагопроводность складывается из термодиффузии жидкости пара, т.е. из капиллярной термовлагопроводности и относительной термодиффузии пара в воздухе.

При наличии температурного градиента, вследствие термодиффузии, обусловленной молекулярным движением, газ перемещается по направлению потока тепла, в результате чего возникает градиент плотности газа. Градиент плотности стремится вызвать обычную диффузию в противоположном направлении. Противоположное движение будет продолжаться до тех пор, пока обычная диффузия не уравнивает термодиффузию, после чего наступает стационарное состояние. В случае неоднородности газа в смеси возникает относительная термодиффузия. Более тяжелый газ движется по направлению потока тепла, а более легкий — в обратном направлении.

А. В. Линовым впервые экспериментально подтверждено, что влага при небольших температурных градиентах перемещается в виде жидкости, и ее перемещение обусловлено молекулярным движением. Такое перемещение было названо термодиффузией влаги. Капиллярная влага, находясь в гуза-паи, перемещается по направлению потока тепла (от горячих мест к холодным), не только в силу термодиффузии, но и вследствие уменьшения капиллярного потенциала на горячем конце.

С повышением температуры, поверхностное натяжение уменьшается, следовательно, создается разность в капиллярном давлении.

$$\text{Между горячим и холодным концами капилляра } p_2 \geq p_1, \text{ так как капиллярное давление } p = \frac{\sigma}{\tau} g h .$$

Это разница создаёт эффект стремления жидкости по направлению потока тепла, что и называется термовлагопроводностью капиллярно-пористого тела.

В полостях клеток гуза-паи, как известно, находится не только пар, но и воздух, следовательно, в частично заполненных сосудах имеется влажный воздух, т.е. смесь двух газов.

Последнее обстоятельство ведет к относительной термодиффузии. Воздух, приведенный вес которого  $\mu = 29$ , будет диффузировать по направлению потока тепла, а пар молекулярный, вес которого  $\mu = 18$ , будет перемещаться против потока тепла, т.е. будет диффундировать из гуза-паи.

Таким образом, термовлагопроводность в гуза-пае складывается из термодиффузии жидкости и пара, капиллярной термовлагопроводности и относительной термодиффузии пара и воздуха.

Влияние это недостаточно изучено, в связи с чем, нами были проведены специальные исследования пиролиза гуза-паи с влажностью 110, 15 и 25 %. При объеме  $10^3$  м, крупность гуза-паи составила: (0–2; 2–5; 5–10; 10–25; 25–40; 40–80) и целики. Результаты опытов приведены в табл. 1. В таблице можно увидеть, что влажность существенно влияет на длительность пиролиза и удельный расход энергии (тепла). Характерно также и то, что независимо от влажности, наибольшую скорость пиролиза имеет гуза-пая с оптимальной крупностью  $(32–63) \cdot 10^{-3}$ . Это легко получить при обработке кривых зависимости продолжительности пиролиза от крупности. Из вышеприведенного материала также следует, что наблюдается конвективный теплоперенос [1,2].

Таблица 1. Влияние влажности гуза-паи на показателя пиролиза

Наименование показателей пиролиза	Влажность гуза-паи%	Размер частиц гуза-паи, $10^{-3}$ м						
		0–2	2–5	5–10	10–25	25–40	40–80	целик
Расход энергии, кВт·ч Загрузка, кг Удельный расход энергии, Продолжительность пиролиза, сек	25	11,0	10,1	9,2	7,9	6,85	8,15	13,8
		1,90	1,89	1,83	1,80	1,79	1,96	3,05
		5,78	5,34	5,03	4,39	3,83	4,15	4,53
		13320	12060	11220	9720	8400	9840	10800
Расход энергии, кВт·ч Загрузка, кг Удельный расход энергии, Продолжительность пиролиза, сек	15	9,86	8,67	8,24	7,4	5,85	7,05	11,9
		1,72	1,70	1,70 4,85	1,60	1,57	1,72	2,70
		5,55	5,10		4,35	3,73	4,10	4,42
		11640	10560	10020	900	7140	8580	14400
Расход энергии, кВт·ч. Загрузка, кг Удельный расход энергии, Продолжительность пиролиза, сек	10	8,83	8,40	7,42	6,70	5,50	6,63	10,80
		1,66	1,66	1,59	1,50	1,50	1,63	2,52
		5,31	5,05	4,66	4,30	3,68	4,07	4,20
		10740	10260	9060	8160	6720	8100	13200

При исследовании влияния влажности гуза-паи на скорость ее пиролиза, интересным представляется установление производительности греющей стенки реактора ( $q$  кг/м<sup>2</sup>·ч), связь которой с характеристиками и продолжительностью процесса определяется следующей зависимостью:

$$q = \frac{60G}{F\tau} \tag{1}$$

где  $G$  — масса загрузки гуза-паи, кг;  $F$  — греющая поверхность реактора м<sup>2</sup>;  $\tau$  — продолжительность пиролиза, сек.

Опытным путем было установлено, что для мелких фракций значение  $q$  заметно возрастает при снижении исходной влажности гуза-паи, тогда как для крупных фракций это различие весьма мало (табл. 2.). Дело здесь видимо в том, что в случае мелких фракций испаряющаяся влага не имеет возможности быстро эвакуироваться из слоя, что способствует появлению изотермического периода сушки. При этом не наблюдается и сближения температур в точках замера для пиролиза сырья неодинаковой влажности. Использование крупного сырья, слой которого содержит большие пустоты, снижает указанные затруднения.

Таблица 2. Влияние влажности гуза-паи на удельную производительность греющей поверхности реактора

Наименования показателей пиролиза	Влажность гуза-паи%	Размер частиц гуза-паи, 10 <sup>-3</sup> м						
		0-2	2-5	5-10	10-25	25-40	40-80	целик
Загрузка, кг	25	1,90	1,89	1,83	1,80	1,79	1,96	3,05
Продолжительность пиролиза, сек		13320	12060	11220	6170	8400	9840	16800
Удельная производительность греющей стенки кг/м <sup>2</sup> ·ч		0,258	0,283	0,300	0,340	0,392	0,362	0,334
Загрузка, кг	15	1,72	1,70	1,70	1,68	1,57	1,72	2,70
Продолжительность пиролиза, сек		11640	10560	10020	9000	7140	8580	14400
Удельная производительность греющей стенки кг/м <sup>2</sup> ·ч		0,270	0,296	0,310	0,342	0,403	0,368	0,344
Загрузка, кг	10	1,06	1,66	1,59	1,56	1,50	1,63	2,52
Продолжительность пиролиза, сек		10740	10260	9060	8160	6720	8100	13200
Удельная производительность греющей стенки кг/м <sup>2</sup> ·ч		0,284	0,297	0,320	0,351	0,410	0,369	0,350

Зависимость удельной производительности греющей поверхности реактора от одновременного изменения крупности и влажности исходного материала может быть выражена в общем виде многочленом.

$$q = b_0 + b_1L + b_2w + b_3Lw \tag{2}$$

где  $L$  — крупность гуза-паи, 10<sup>-3</sup> м;  $w$  — начальная влажность %. Из табл. 2 видно, что зависимость от каждого из этих параметров не линейна. В этом случае значения коэффициентов  $b_i$  могут быть найдены из системы уравнений, составленной по методу Гаусса:

$$b_0 + b_1 \sum_{i=1}^{18} Li + b_2 \sum_{i=1}^{18} w_i + b_3 \sum_{i=1}^{18} L_i w_i = \sum_{i=1}^{18} q_i \tag{3}$$

$$b_0 \sum_{i=1}^{18} Li + b_1 \sum_{i=1}^{18} L_i^2 + b_2 \sum_{i=1}^{18} w_i L_i + b_3 \sum_{i=1}^{18} L_i^2 w_i = \sum_{i=1}^{18} q_i L_i$$

$$b_0 \sum_{i=1}^{18} w_i + b_1 \sum_{i=1}^{18} w_i L_i + b_2 \sum_{i=1}^{18} w_i^2 + b_3 \sum_{i=1}^{18} L_i w_i^2 = \sum_{i=1}^{18} q_i w_i$$

$$b_0 \sum_{i=1}^{18} L_i w_i + b_1 \sum_{i=1}^{18} L_i^2 w_i + b_2 \sum_{i=1}^{18} L_i w_i^2 + b_3 \sum_{i=1}^{18} L_i^2 w_i^2 = \sum_{i=1}^{18} q_i L_i w_i$$

Вычисление значений сумм в этой системе и последующие ее решения с помощью ЭВМ позволило установить окончательный вид уравнения (2)

$$q = -2,3 \cdot 10^2 + 9,73 \cdot 10^{-2} L + 1,66 \cdot 10^{-2} w - 4,204 \cdot 10^{-2} Lw \quad (4)$$

Статистический анализ уравнения (4) показал, что оно адекватно отражает результаты опытов.

Влияние интенсивности теплового потока на производительность греющей стенки при одновременном изменении и влажности гуза-паи можно установить одномерным сечением уравнения (4). Интенсивность теплового потока также влияет на протекание пиролиза при постоянной влажности (табл. 3). Эти зависимости в конечном итоге одинаковы.

Таблица 3. Влияние интенсивности теплового потока на показателей пиролиза гуза-паи.

Наименование показателей пиролиза	Тепловой поток Вт	Размер частиц гуза-паи, 10 <sup>-3</sup> м							
		0–2	2–5	5–10	10–25	25–40	40–80	целик	
Расход энергии, кВт·ч	2,02×10 <sup>3</sup>	10,10	9,80	8,38	8,08	6,46	7,9	13,80	
Загрузка, кг		1,85	1,80	1,84	1,85	1,70	1,92	3,08	
Удельный расход энергии, кВт·ч/кг		5,47	5,25	4,55	4,37	3,80	4,12	4,32	
Продолжительность пиролиза, сек		18000	16680	14880	14280	11700	13920	23640	
Расход энергии, кВт·ч	2,96×10 <sup>3</sup>	11,00	0,10	9,20	7,90	6,85	8,15	13,80	
Загрузка, кг		1,90	1,89	1,83 5,03	1,80	1,79	1,96	3,05	
Удельный расход энергии, кВт·ч/кг		13320	5,78	5,34	9720	4,39	3,83	4,15	4,35
Продолжительность пиролиза, сек			12240	11220		8400	9840	16800	16800
Расход энергии, кВт·ч.	3,40×10 <sup>3</sup>	11,00	9,90	9,75	8,38	6,70	7,91	14,20	
Загрузка, кг		1,87	1,82	1,90	1,90	1,74	1,90	3,10	
Удельный расход энергии, кВт·ч/кг		5,92	5,43	5,13	4,42	3,85	4,17	4,58	
Продолжительность пиролиза, сек		11220	10380	9660	9000	6960	9000	14700	

Продолжительность работы греющей стенки реактора растет с увеличением интенсивности теплового потока. Эти явления тем заметнее, чем мельче фракции гуза-паи. Причины их лежат в затруднениях конвективного теплопереноса. Выводы.

1. Термовлагодупроводность гуза-паи, в зависимости от ее влажности влияет на продолжительность пиролиза, удельный расход энергии (тепла) и иные важнейшие характеристики процесса. Влияние это недостаточно изучено, поэтому нами были проведены специальные исследования пиролиза гуза-паи с влажностью 10, 15 и 25%.

2. Опытным путем было установлено, что для мелких фракций значение производительности греющей стенки реактора (кг/м<sup>2</sup>×τ), заметно возрастает при снижении исходной влажности, тогда как для крупных фракций это различие весьма мало.

3. Продолжительность пиролиза гуза-паи сокращается и производительность греющей стенки реактора с увеличением интенсивности теплового потока.

Литература:

1. Петров, В. С., Левин Э.Д. Графо-аналитической метод расчета продолжительности пиролиза древесных материалов. Межвузовский сборник трудов «Химия и химическая технология древесины». Красноярск. 1973, вып.1. с. 79–80.
2. Chirkov, V. G. Heat and Power on the Basis of Fluid Fuels Produced by Thermolysis of Plant Biomass. // Proc. of the 9<sup>th</sup> Int. Conf. Ecological Energy Resources in Agriculture. Sept. 17–18, 2004. Rowland diaries (Lithuania). P. 101–105.

## Полимеризация газообразных углеводородов в жидкое топливо

Хужжиев Маъмуржон Янгибоевич, преподаватель;  
Нуруллаева Зарина Валиевна, магистрант

Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

Полимеризация газообразных углеводородов имеет большое значение не только вследствие экономии сырья, перерабатываемого на моторное топливо, но и потому, что она позволяет получать компоненты, используемые для улучшения октановых чисел низкосортных бензинов, наконец, полимеризация еще до сих пор оказывается важнейшим этапом в процессе производства изооктана. Промышленный процесс получения полимербензина был разработан ещё в 1935 г. На современных заводах сырьём для этого процесса служит пропан-пропиленовая фракция, если её не используют для нефтехимического синтеза. **Полимербензин**, полимердистиллят, высокооктановый компонент топлив для поршневых двигателей с искровым зажиганием; получается каталитической полимеризацией пропан-пропиленовой и бутиленовой фракций газов крекинга и риформинга нефти. Начало кипения полимербензина не ниже 70°C, конец кипения не выше 225°C, содержание непредельных углеводородов 20–90% при относительно малом содержании парафиновых, нафтеновых и в особенности ароматических углеводородов. Октановое число гидрированного полимербензина с 3,3 г тетраэтилсвинца на 1 кг полимербензина не менее 104.

В состав сырья могут входить и бутилены, если в бутан-бутиленовой фракции, направляемой на установку алкилирования, имеется их избыток. Содержание пропилена в сырье полимеризации составляет около 30 мас. % и бутиленов — около 19. Основными факторами процесса полимеризации, помимо активности катализатора, являются объёмная скорость подачи сырья, температура, давление, концентрация олефинов в сырье, наличие или отсутствие рециркуляции промежуточных фракций.

При полимеризации пропилена с целью получения полимербензина рекомендуется объёмные скорости 1,7–2,9 ч<sup>-1</sup>. Совместная (неселективная) полимеризация пропилена и бутиленов позволяет работать при более высоких объёмных скоростях. Полимеризация пропилена проводится под более высоким давлением (до 65–70 ат), чем смешанного сырья и тем более бутиленов.

Полимербензин представляет собой продукт полимеризации газообразных углеводородов в жидкое топливо. Этот процесс полимеризации принадлежит к числу наиболее важных каталитических процессов, потому что при этом используются газы крекинга, которые превращаются с высоким выходом в моторное топливо, имеющее высокие антидетонационные свойства.

Высокооктановые моторные топлива имеют большое значение для авиации, так как мощность самолетов за-

висит от октанового числа топлива. В широко распространенных за рубежом процессах получения полимербензина обычно используется дешёвые пропан-пропиленовые или бутан-бутиленовые фракции каталитического крекинга. В зависимости от состава сырья и условий процесса октановое число полимербензина составляет 82–97 пунктов по моторному методу. При олигомеризации пропан-пропиленовые фракции октановые числа продуктов составляют 94–97 (ИМ) или 81–84 (ММ). При олигомеризации бутиленов может быть получен полимербензин, обогащенный октенами, имеющими октановые числа около 100 (ИМ) или 85 (ММ).

Высокооктановый полимербензин не только сам характеризуется низкой приемистостью к ТЭС, но и при смешении ухудшает приемистость к ТЭС других малосернистых компонентов бензина. Состав любого бензина полимеризации определяется, главным образом, составом исходного сырья и протекающей реакцией полимеризации.

Чаще всего катализатором процесса является фосфорная кислота на различных носителях. Независимо от способа приготовления сама фосфорная кислота существует в виде смеси нескольких кислот (орто-, пиро-, и метафосфорной). Таким образом, характеристика кислоты, принятая на основании её среднего состава, является условной. Распространено применение ортофосфорной-Н<sub>3</sub>РO<sub>4</sub> и пирофосфорной-Н<sub>4</sub>Р<sub>2</sub>O<sub>7</sub> кислот на различных носителях. Процессы получения полимербензинов из пропан-пропиленовой фракции на фосфорнокислотных катализаторах осуществляют при температурах 150–200°C и давлении 4,2–10,5 МПа.

В процессе полимеризации в качестве катализатора наиболее часто применяется так называемая твёрдая фосфорная кислота. Катализатор получают пропиткой и перемешиванием носителя-кизельгура с кислотой и последующей формовкой и сушкой полученной массы в виде небольших таблеток. Твёрдая фосфорная кислота не оказывает коррозирующего действия на аппаратуру, что позволяет изготавливать реактор из углеродистой стали. Применение этого катализатора с некоторыми эксплуатационными трудностями. Структура носителя и его механическая прочность могут быть легко нарушены при избыточном количестве воды, подаваемой в реактор для предотвращения дегидратации катализаторов. В результате масса катализатора уплотняется, он становится непригодным. К аналогичным результатам приводит чрезмерно глубокая полимеризация, вызывающая осмоление и закоксовывание катализатора; катализатор теряет активность и превращается в вязкую тёмную массу, которую трудно выгрузить из реактора. Данный катализатор

Таблица 1. Состав сырья и материальный баланс полимеризационной установки пропускной способностью около 1500т/сутки

Наименование	Объём, % на сырьё	Мас. % на сырьё	Наименование	Объём, % на сырьё	Мас. % на сырьё
<b>Сырьё</b>	0,1	0,1	<b>Продукты</b>	30,4	29,7
Этилен	1,2	1,1	Пропан	24,6	24,7
Этил	29,6	30,2	Бутаны	32,4	39,6
Пропилен	27,5	26,8	Полимербензин		
Пропан	18,9	19,0	<b>Итого</b>	84,7	94,0
Бутилены	18,5	18,6	Не превращённые олефины, полимеры и потери.	—	6,0
Изобутан	4,2	4,2			
Н-Бутан					
Итого	100,0	100,0	Всего		100,0

Таблица 2. Типичные энергозатраты при мощности установки около 16 м<sup>3</sup> продукта в час

Электроэнергия, кВт×ч	168
Пар, т/ч	8,7
Вода (охлаждающая), м <sup>3</sup>	234

не был внедрен в промышленность, отчасти из-за выделения в процессе приготовления катализатора примесей фтора, сохраняющихся, в носителе и создающих сильную загазованность в производственных помещениях катализаторной фабрики, а отчасти из-за высокой стоимости синтетического носителя.

Таким образом, применение твёрдой фосфорной кислоты требует очень чёткого контроля как за подачей воды в реактор, так и за глубиной превращения. Срок службы катализатора 4–6 месяцев.

Кинетика полимеризации очень сложна и наряду с олигомеризацией пропилена протекают и побочные реакции изомеризации и диспропорционирования, что приводит к образованию небольшого количества олефинов C<sub>7</sub>, C<sub>8</sub>, C<sub>10</sub>, C<sub>11</sub>, C<sub>13</sub>, C<sub>14</sub> и выше. Содержание этих олефинов может достигать 9,5% по массе в расчете на реакциюную массу. При олигомеризации бутиленов может быть получен по-

лимербензин, обогащенный октенами, имеющими октановые числа около 100 (ИМ) или 85 (ММ). Тем не менее предпочтительным сырьем процесса является ППФ, т.к. ББФ, как правило, направляется на установки алкилирования. Сополимеры пропилена и бутиленов имеют пониженные октановые характеристики.

Общими недостатками полимербензинов являются сравнительно низкое октановое число по моторному методу, низкая химическая стабильность. Высокое содержание олефинов в полимер-бензинах в настоящее время также ограничивает возможности для их компаундирования, учитывая требования европейского законодательства, о снижении содержания олефинов в бензинах (менее 20 об. %). Вместе с тем высокие октановые числа смешения полимер-бензина и отсутствие потребности в изобутане делает этот способ переработки олефинсодержащих фракций приемлемым для многих заводов.

Литература:

1. Рудин, М. Г., Драбкин А. Е. «Краткий справочник нефтепереработчика» — Л.: Химия, 1980.
2. Е. В. Смидович «Технология переработки нефти и газа» 2-часть, изд-во «Химия», Москва 1968, стр. 322.
3. Высшие олефины. Производство и применение. Под ред. М. А. Далина. Химия, Л. 1984.
4. Р. З. Маргил «Теоретические основы химических процессов переработки нефти». Ленинград «Химия» 1985, стр. 167.

## Управление линейной динамической системой в условиях непараметрической неопределенности

Чабан Анна Владимировна, студент

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева (г. Красноярск)

Представленная статья посвящена теме управления объектами в условиях, когда имеющейся информации недостаточно для построения математической модели объекта в параметрическом виде. Предполагается, что исследователю известны лишь некоторые наиболее существенные характеристики, такие, к примеру, как линейность и стационарность. Имеется возможность наблюдать значения входных и выходных переменных. Такие условия, называемые условиями непараметрической неопределенности, являются довольно распространенными на практике, однако существующая теория посвящена в основном параметрическим методам идентификации и управления. Таким образом, существует потребность в совершенствовании и подробном изучении методов применимых в данном случае.

Будут рассмотрены некоторые из методов управления, для которых нет необходимости в отыскании параметрической модели. К ним относится широко распространенный и зарекомендовавший себя на практике ПИД-регулятор, и относительно новый для теории управления непараметрический регулятор. Кроме того, в данных регуляторах используется модель системы в непараметрическом виде, алгоритм построения которой так же будет описан далее. В частности в ПИД-регуляторе данная модель будет использована для настройки его коэффициентов.

Идентификация непараметрической модели.

Описание процессов, происходящих в линейных динамических системах, может быть осуществлено, если известен вид одной из следующих характеристик: дифференциального уравнения, передаточной функции, весовой или переходной характеристики. Ввиду того, что вид первых двух характеристик определить в предполагаемых условиях не представляется возможным, непараметрическая модель объекта строится в виде интеграла Дюамеля. Если на вход объекта можно подать функцию Хевисайда  $u(t) = 1(t)$  или функцию Дирака  $\delta(t)$ , то наблюдая реакцию объекта можно оценить переходную характеристику объекта  $h(t)$  и весовую  $w(t)$ . Подобный случай ранее был рассмотрен [1, с. 48]. Если подача на вход функции Дирака или функции Хевисайда затруднена, то представляет существенный теоретический и практический интерес способ нахождения весовой функции объекта при подаче на его вход некоторых гладких функций. Рассмотрим далее данный способ более подробно.

При проведении вычислительного эксперимента контроль входных и выходных переменных осуществлялся через некоторые промежутки времени  $\Delta t$ . Представим некоторое гладкое входное воздействие в дискретном виде:  $\{x_i\}, i = 1, \dots, s$ , где  $s$  — объем выборки. Реакция объекта на входное воздействие имеет вид совокупности точек  $\{y_i\}, i = 1, \dots, s$ .

Интеграл Дюамеля может быть представлен в дискретном виде:

$$y_i = \sum_{j=1}^i h_j \dot{x}_{i-j} a = h_i \dot{x}_0 a + \sum_{j=1}^{i-1} h_j \dot{x}_{i-j} a$$

где  $a$  — величина шага в методе прямоугольников. Из данного уравнения можно выразить реализацию переходной характеристики  $h_i$ :

$$h_i = \frac{y_i - \sum_{j=1}^{i-1} h_j \dot{x}_{i-j} a}{\dot{x}_0 a}$$

Далее восстановим весовую функцию на основе непараметрической оценки регрессии переходной характеристики:

$$h_s(t) = \frac{\sum_{i=1}^s h_i \Phi\left(\frac{t-t_i}{c_s}\right)}{\sum_{i=1}^s \Phi\left(\frac{t-t_i}{c_s}\right)}$$

$$w_i = \frac{h_s(i \cdot t) - h_s((i-1) \cdot t)}{\Delta t}$$

$$w_s(t) = \frac{\sum_{i=1}^s w_i \Phi\left(\frac{t-t_i}{c_s}\right)}{\sum_{i=1}^s \Phi\left(\frac{t-t_i}{c_s}\right)}$$

где  $\Phi(v)$  — колоколообразная функция,  $c_s$  — параметр размытости,  $v = (t - t_i)/c_s$ , удовлетворяющие определенным условиям сходимости [2, с. 286].

Вычисляя оценку регрессии описанным способом, мы попутно решаем задачу сглаживания переходной функции. Это облегчает дальнейшее взятие производной от переходной характеристики, вычисленной на основании зашумленных измерений входных  $x(t)$  и выходных  $y(t)$  переменных.

На последнем шаге, подставляя полученную оценку  $w_s(t)$  в интеграл Дюамеля, мы получим непараметрическую модель объекта и сможем прогнозировать его реакцию на измерения произвольных входных воздействий:

$$y(t) = h_s(0)x(t) + \int_0^t w_s(t - \tau)x(\tau)d\tau$$

Приведем пример, иллюстрирующий результаты применения описанного алгоритма. Для этого рассмотрим линейный динамический объект второго порядка, который описывается уравнением следующего вида:

$$\frac{d^2 y(t)}{dt^2} - 0.8 \frac{dy(t)}{dt} + 4y(t) = 4x(t)$$

Пусть шаг дискретизации равен 0.02, помехи отсутствуют.

Подадим на вход объекта некоторое гладкое воздействие следующего вида:

$$x(t) = \begin{cases} \sin(t), & \text{если } t < 0.5\pi \\ 1, & \text{иначе} \end{cases}$$

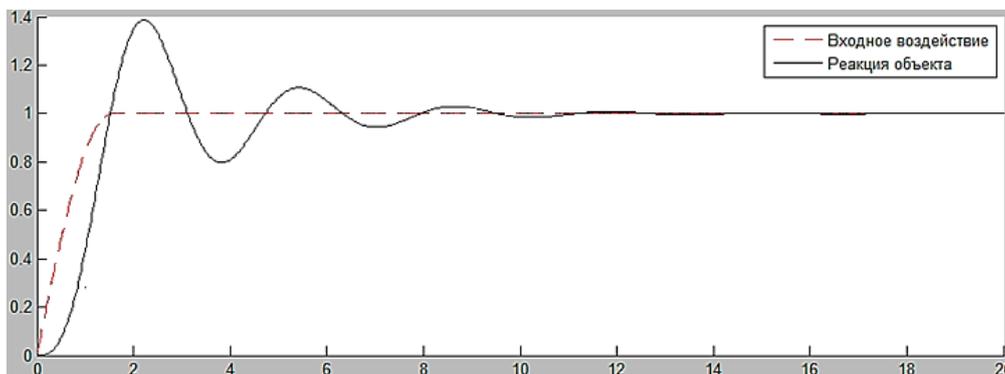


Рис. 1. Реакция объекта на гладкое входное воздействие

На рисунке ниже представлены результаты вычисления весовой характеристики. Для определения ее качества она сравнивается с истинной, аналитически вычисленной, весовой функцией. В результате можно увидеть, что данные функции практически совпадают (рисунок 2).

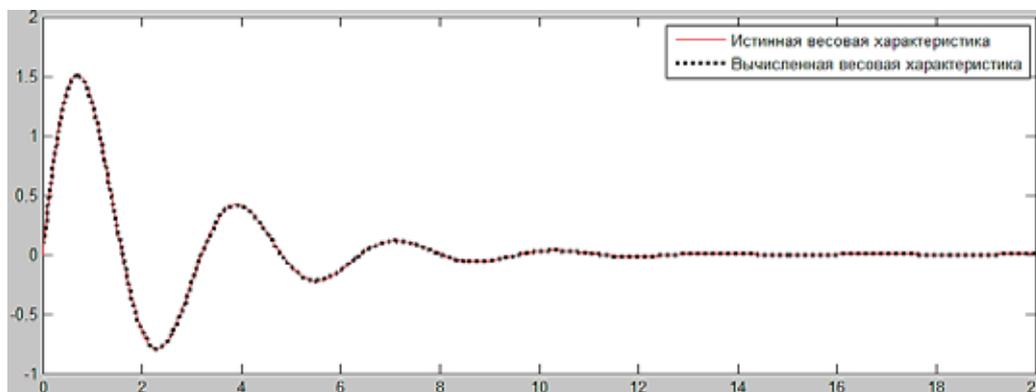


Рис. 2. Результаты вычисления весовой функции объекта

Построим непараметрическую модель объекта. Для оценки качества моделирования сравним выход объекта с выходом модели при одинаковых входных сигналах (рисунок 3).

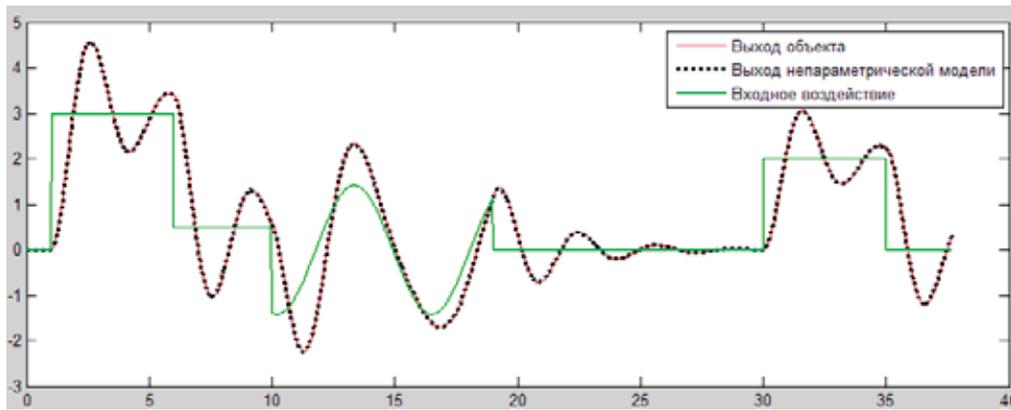


Рис. 3. Сравнение выхода модели и выхода объекта

Таким образом, используя описанный алгоритм идентификации, мы получаем качественную модель, довольно точно описывающую поведение объекта.

Построение непараметрического регулятора.

Весовую характеристику в составе интеграла Дюамеля можно рассматривать как линейный оператор  $A$ , взаимнооднозначно отображающий пространство входных сигналов  $U$  в пространство выходных  $Y$ . Следовательно, можно найти такой обратный оператор  $A^{-1}$ , отображающий  $Y$  в  $U$ , где под  $Y$  мы будем понимать ту траекторию, которую мы хотим получить на выходе объекта, а под  $U$  — необходимое для этого управляющее воздействие. Сделать это можно подав на вход модели функцию Хевисайда, и сняв с входа значения обратной переходной характеристики, которая в составе интеграла Дюамеля представляет собой  $A^{-1}$  [3, с. 6].

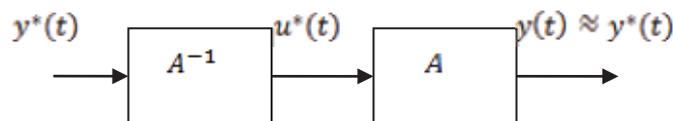


Рис. 4. Схема «включения» обратного оператора в систему

$$y^*(t) = Au^*(t) = A \cdot A^{-1}y^*(t) = y^*(t),$$

где  $y^*(t)$  — желаемая траектория,  $u^*(t)$  — управляющее воздействие, обеспечивающее равенство выходной переменной объекта желаемому значению. Таким образом, мы получаем управление, приводящее систему в состояние, близкое к желаемому настолько, насколько точно удалось восстановить обратную весовую характеристику.

Опишем вычислительный алгоритм, используемый для построения непараметрического регулятора и отыскания необходимого управляющего воздействия  $u(t)$ . Для этого обратимся к следующему интегралу:

$$u(t) = \int_0^t v(\tau)y^*(t-\tau)d\tau$$

где  $v(t)$  — обратная весовая характеристика, а  $y^*(t)$  — желаемая траектория. Обозначим через  $g(t)$  обратную переходную функцию. Для ее нахождения в интеграле Дюамеля на место выходной переменной системы подставим функцию Хевисайда:

$$1 = \sum_{j=1}^i w_{i-j}g_j a = w_0 g_j a + \sum_{j=1}^{i-1} w_{i-j}g_j a$$

$$g_i = \frac{1 - \sum_{j=1}^{i-1} w_{i-j}g_j a}{w_0 a}$$

Для того чтобы получить обратную весовую характеристику, численно возьмем производную от обратной переходной характеристики, подставим  $v_i$  в численный аналог ранее упомянутого интеграла, и, произведя непараметрическое сглаживание, получим необходимое управляющее воздействие:

$$v_i = \frac{g_i - g_i}{\Delta t},$$

$$u_i = \sum_{j=1}^i v_{i-j} y_j^* a,$$

$$u_s(t) = \frac{\sum_{i=1}^s u_i \Phi\left(\frac{t-t_i}{c_s}\right)}{\sum_{i=1}^s \Phi\left(\frac{t-t_i}{c_s}\right)}$$

Таким образом, мы получили непараметрическую оценку управления  $u_s(t)$ , которое должно привести систему в состояние близкое к желаемому. Однако при построении регулятора необходимо обратить внимание на тот факт, что равенства желаемой траектории и выхода реального объекта достичь практически невозможно. Это объясняется наличием различных помех в системе, неточностью восстановления обратного оператора и т. д. Поэтому целесообразно ввести обратную связь, которая на основании сравнения действительной выходной величины и желаемого ее значения вносит коррективы в управляющее воздействие.

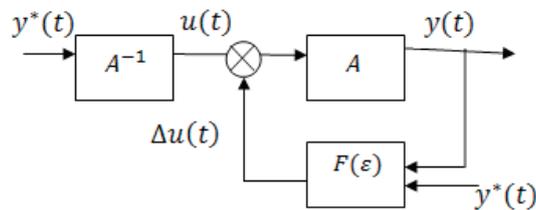


Рис. 5. Непараметрический регулятор с обратной связью

На данном рисунке  $\epsilon = y(t) - y^*(t)$  — сигнал невязки,  $\Delta u(t)$  — корректирующая добавка к управляющему воздействию.

Пусть желаемая траектория имеет следующий вид:

$$y^*(t) = \begin{cases} 3, & 1 < x < 6 \\ 0.5, & 6 \leq x < 10 \\ \sin(t) + \cos(t), & 10 \leq x < 19 \\ 2, & 30 \leq x < 35 \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

Найдем обратную весовую характеристику и необходимое управляющее воздействие (рис. 6, 7) для уже упомянутого ранее объекта.

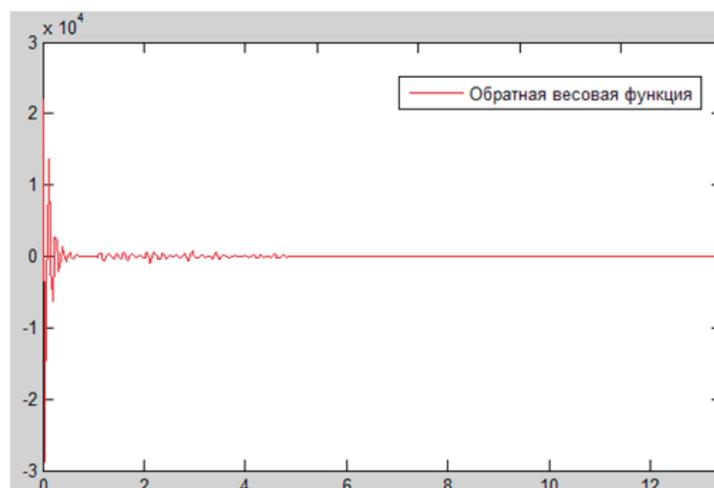


Рис. 6. Обратная весовая характеристика

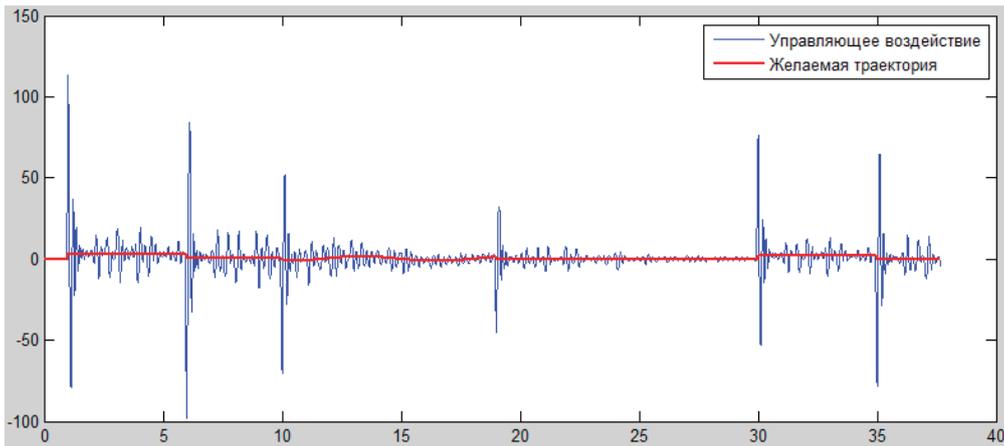


Рис. 7. Управляющее воздействие

На следующем рисунке приведены результаты управления первым объектом.

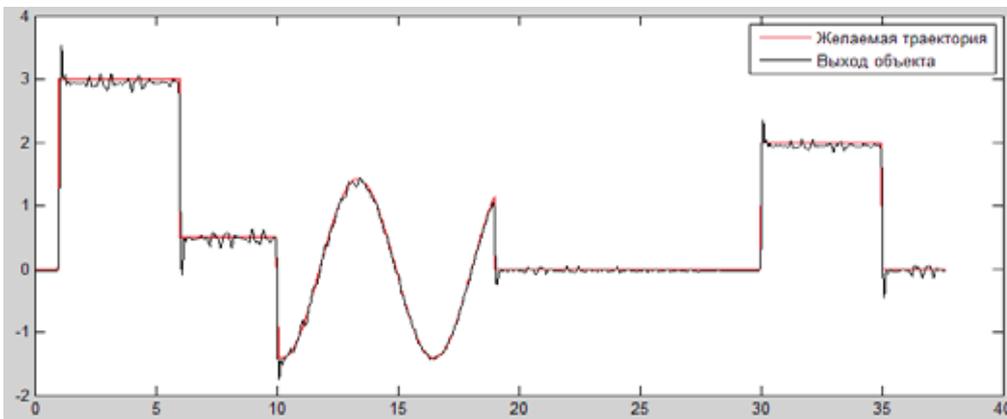


Рис. 8. Результаты управления объектом при помощи непараметрического регулятора

ПИД-регуляторы являются довольно распространённым и хорошо изученным типом регуляторов. Процесс настройки регулятора может производиться вручную или автоматически. Он, как правило, включает такие этапы, как: идентификация модели объекта, поиск области устойчивости коэффициентов, расчет параметров регулятора и их корректировка согласно какому-либо критерию качества. Однако в рассматриваемом случае, в условиях недостатка информации для построения параметрической модели, невозможно аналитически определить область устойчивости и начальное приближение. В данной работе настройка коэффициентов регулятора производится при помощи полученной непараметрической модели. Схема настройки представлена ниже.

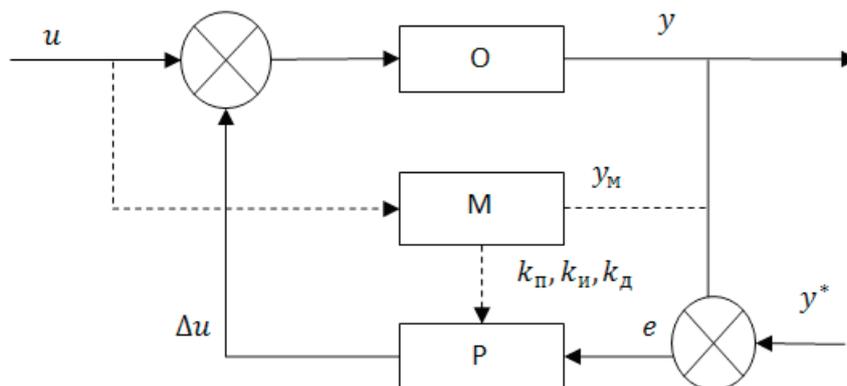


Рис. 9. Схема регулятора с настройкой коэффициентов при помощи модели

На данной схеме Р — это П-, ПИ- или ПИД-регулятор, М — модель объекта. Приведем описание одного из наиболее простых возможных алгоритмов расчета коэффициентов регулятора:

1. Задается начальное приближение коэффициентов  $k_0 = (k_{0,1}, k_{0,2}, k_{0,3})$  максимальное число итераций  $p$ .
2. Поочередно производится варьирование значений каждого из коэффициентов на некоторую величину  $\delta$ . Вычисляется ошибка управления моделью объекта при текущих пробных значениях критерия  $k_i^*$ , где  $i$  — текущая итерация. В случае если качество управления улучшилось, значение коэффициентов фиксируется  $k_{i+1} = k_i^*$ .
3. Алгоритм продолжает свою работу пока номер итерации меньше заданного максимального количества итераций  $p$ .

Пусть исследователь находится в тех же условиях что и при построении непараметрического регулятора ранее. Построим для этого же объекта систему управления при помощи ПИД-регулятора, коэффициенты которого настраиваются по полученной ранее непараметрической модели.

Зададим  $p=100$ ,  $\delta = 0.25\omega$ , где  $\omega$  — некоторая равномерно распределенная случайная величина в пределах  $[0,1]$ . В качестве начального приближения был выбран нулевой вектор  $k_0 = (0,0,0)$ , желаемая выходная траектория имеет такой же вид, как и при рассмотрении непараметрического регулятора. Итоговое значение вектора коэффициентов  $k_{100} = (5,18,6)$ . На рисунке ниже представлены линии выходных траекторий непараметрической модели объекта, полученные в процессе итерационного процесса настройки значений коэффициентов, а так же результаты управления самим объектом. На основании данных результатов можно заключить, что в данном случае регулятор успешно справляется с поставленной задачей управления.

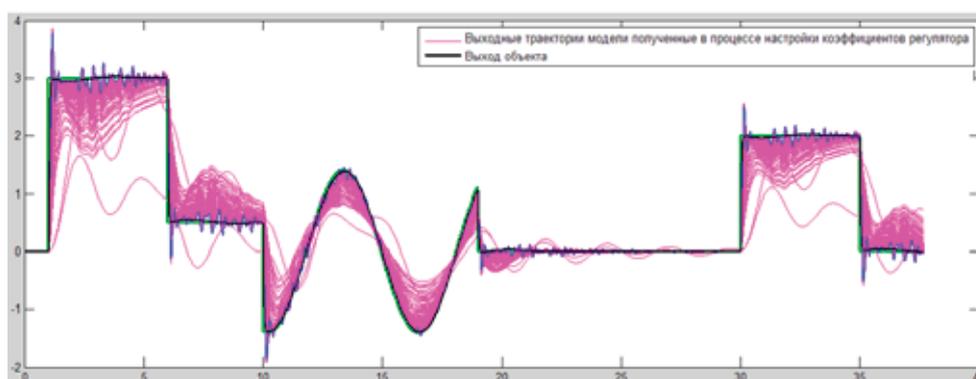


Рис. 10. Иллюстрация итерационного процесса настройки ПИД-регулятора и результатов его работы

### Заключение

В заключение хочется отметить, что рассмотрение алгоритмов, применимых в условиях непараметрической неопределенности является довольно сложной и актуальной на сегодняшний день задачей, заслуживающей особого внимания. Было рассмотрено два типа регулятора, которые могут быть использованы для построения систем управления в данном случае. В ходе вычислительных экспериментов, часть из которых представлена в данной статье, была подтверждена работоспособность рассматриваемых алгоритмов. В том числе были проведены успешные вычислительные эксперименты в случае, когда системы описываются дифференциальными уравнениями более высокого порядка, при различных значениях шага дискретизации и при наличии в каналах измерения переменных некоторой помехи.

### Литература:

1. Medvedev, A. V. Identification and control for linear dynamic systems of unknown order. // Optimization Techniques IFIP Technical Conference / Berlin — Heidelberg — New-York: Springer — Verlag, 1975. — СС. 48–55.
2. Надарая, Э. А. Непараметрические оценки плотности вероятности и кривой регрессии. Тбилиси.: Тбил. ун-та. 1983, — 286 с.
3. Медведев, А. В. О теории непараметрических систем управления/ А.В. Медведев. // Вестник Томского государственного университета, вып. 1 (22), Томск, 2013. — Стр. 6–19.

## Продольно-поперечный изгиб стержней переменного поперечного сечения

Чупеев Геннадий Васильевич (г. Самара)

Статья интересна будет проектировщикам, занимающимся расчетами на прочность, студентам, изучающим сопротивление материалов, а также преподавателям технических вузов. При расчете стержня переменного поперечного сечения, работающего на сжатие и изгиб, возникает необходимость определить прочность стержня. К таким расчетным схемам можно, например, привести буксировочные водила для летательных аппаратов. Решение подобных задач унифицировано можно решить с помощью предложенной методики. В ней имеется вывод формулы и предложены примеры использования выведенной формулы.

Расчёт ведется по следующей схеме:

- определяем критическую сжимающую нагрузку для **стержня переменного сечения**;
- определяем величину  $(E * J)_{пр}$  **приведённого** эквивалентного стержня постоянного сечения. Критерием эквивалентности принимаем равенство критической разрушающей нагрузки как для стержня переменного, так и постоянного сечений

$$F_{кр} = \frac{\pi^2 * (E * J)_{пр}}{l^2} \tag{1}$$

$$(E * J)_{пр} = \frac{F_{кр} * l^2}{\pi^2} \tag{2}$$

— нагружаем эквивалентный стержень постоянного сечения нагрузкой стержня переменного сечения и находим изгибающие моменты, которые считаем, верны и для стержня переменного сечения.

При выводе формул используются обозначения -

$E_i, J_i$  — модули упругости материалов и моменты инерции участков,

$l_i$  — длины участков.

$k_i^2 = \frac{F}{E_i * J_i}$  — коэффициент

Формулы выводили на основе теории малых деформаций, составляя дифференциальные уравнения упругой линии стержня на каждом из участков.

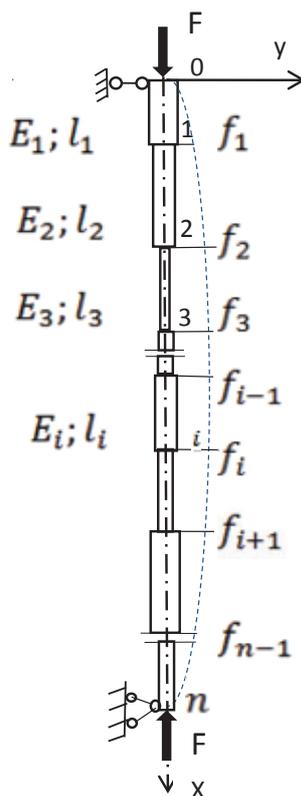


Рис. 1. Расчётная схема

Вывод формулы для определения  $F_{KP}$  балки переменного сечения.

Дифференциальные уравнения упругих линий участков.

$$E_1 * J_1 * \frac{d^2 y_1}{dx^2} = -F * y_1$$

$$E_2 * J_2 * \frac{d^2 y_2}{dx^2} = -F * (y_2 - f_1)$$

$$E_3 * J_3 * \frac{d^2 y_3}{dx^2} = -F * (y_3 - f_2)$$

$$E_i * J_i * \frac{d^2 y_i}{dx^2} = -F * (y_i - f_{i-1})$$

Решения дифференциальных уравнений.

$$y_1 = c_{1.1} * \cos(k_1 * x) + c_{1.2} * \sin(k_1 * x) + f_0$$

$$y_2 = c_{2.1} * \cos(k_2 * x) + c_{2.2} * \sin(k_2 * x) + f_1$$

$$y_3 = c_{3.1} * \cos(k_3 * x) + c_{3.2} * \sin(k_3 * x) + f_2$$

$$y_i = c_{i.1} * \cos(k_i * x) + c_{i.2} * \sin(k_i * x) + f_{i-1}$$

Постоянные интегрирования найдём из следующих условий

Берём два участка  $i$  и  $(i+1)$ .

Участок  $i$

При  $X = \sum_1^{(i-1)} \ell_i y_i = f_{(i-1)}$

При  $X = \sum_1^i \ell_i y_i = f_i$

$$\begin{cases} c_{i.1} * \cos(k_i * \sum_1^{i-1} \ell_i) + c_{i.2} * \sin(k_i * \sum_1^{i-1} \ell_i) + f_{i-1} = f_{i-1} \\ c_{i.1} * \cos(k_i * \sum_1^i \ell_i) + c_{i.2} * \sin(k_i * \sum_1^i \ell_i) + f_{i-1} = f_i \end{cases}$$

Решение системы из двух уравнений

$$c_{i.1} = -\frac{1}{\sin(k_i * \ell_i)} * (f_i - f_{i-1}) * \sin(k_i * \sum_1^{i-1} \ell_i)$$

$$c_{i.2} = \frac{1}{\sin(k_i * \ell_i)} * (f_i - f_{i-1}) * \cos(k_i * \sum_1^{i-1} \ell_i)$$

Участок  $(i+1)$

При  $X = \sum_1^i \ell_i y_{i+1} = f_i$

При  $X = \sum_1^{i+1} \ell_i y_{i+1} = f_{i+1}$

$$\begin{cases} c_{(i+1).1} * \cos(k_{i+1} * \sum_1^i \ell_i) + c_{(i+1).2} * \sin(k_{i+1} * \sum_1^i \ell_i) + f_i = f_i \\ c_{(i+1).1} * \cos(k_{i+1} * \sum_1^{i+1} \ell_i) + c_{(i+1).2} * \sin(k_{i+1} * \sum_1^{i+1} \ell_i) + f_i = f_{i+1} \end{cases}$$

Решение системы из двух уравнений

$$c_{(i+1).1} = -\frac{1}{\sin(k_{i+1} * \ell_{i+1})} * (f_{i+1} - f_i) * \sin(k_{i+1} * \sum_1^i \ell_i);$$

$$c_{(i+1).2} = \frac{1}{\sin(k_{i+1} * \ell_{i+1})} * (f_{i+1} - f_i) * \cos(k_{i+1} * \sum_1^i \ell_i)$$

Так как два участка изогнутой оси имеют одну и ту же касательную, при  $X = \sum_1^i \ell_i$  имеем уравнение:  $y'_i = y'_{i+1}$  или

$$-c_{i.1} * k_i * \sin(k_i * \sum_1^i \ell_i) + c_{i.2} * k_i * \cos(k_i * \sum_1^i \ell_i) =$$

$$-c_{(i+1).1} * k_{i+1} * \sin(k_{i+1} * \sum_1^i \ell_i) + c_{(i+1).2} * k_{i+1} * \cos(k_{i+1} * \sum_1^i \ell_i);$$

$$\frac{k_i}{\sin(k_i * \ell_i)} * (f_i - f_{i-1}) * \cos k_i * \ell_i = \frac{k_{i+1}}{\sin(k_{i+1} * \ell_{i+1})} * (f_{i+1} - f_i) * \cos(k_{i+1} * \ell_{i+1}) \tag{3}$$

$$\begin{aligned}
 & - f_{(i-1)} * k_i * \cot(k_i * \ell_i) + \\
 & + f_i * [k_i * \cot(k_i * \ell_i) + k_{i+1} * \cot(k_{i+1})] \\
 & - f_{i+1} * k_{i+1} * \cot(k_{i+1} * \ell_{i+1}) = 0
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Подставляя уравнение (4) для каждого стыка стержня получим систему уравнений для определения  $F_{кр}$  всего стержня. Определение  $F_{кр}$  для следующих расчётных схем с использованием формулы (4).

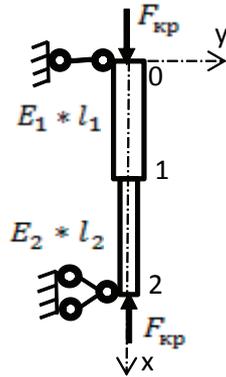


Рис. 2. Расчетная схема

Для стыка 1  $f_{i-1} = 0$ ;  $f_{i+1} = 0$ , и по формуле (4) получили уравнение для определения  $F_{кр}$ .  
 $k_1 * \cot(k_1 * \ell_1) + k_2 * \cot(k_2 * \ell_2) = 0$ . (5)

Для расчетной схемы Рис. 3, используя формулу 4 для стыков 1 и 2, получим систему из двух уравнений.

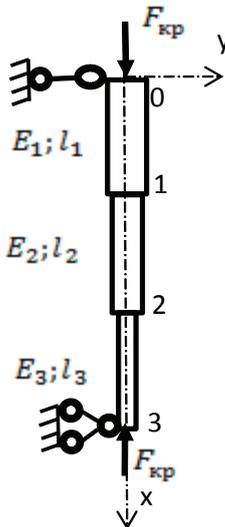


Рис. 3. Расчетная схема

$$\begin{aligned}
 & [k_1 * \cot(k_1 * \ell_1) + k_2 * \cot(k_2 * \ell_2)] * f_1 - k_2 * \cot(k_2 * \ell_2) * f_2 = 0 \\
 & - k_2 * \cot(k_2 * \ell_2) * f_1 + [k_2 * \cot(k_2 * \ell_2) + k_3 * \cot(k_3 * \ell_3)] * f_2 = 0
 \end{aligned}$$

Приравняв определитель системы уравнений к 0, имеем уравнение для определения  $F_{кр}$ .

$$\begin{aligned}
 & k_1 * k_2 * \cot(k_1 * \ell_1) * \cot(k_2 * \ell_2) + \\
 & + k_3 * \cot(k_3 * \ell_3) * [k_1 * \cot(k_1 * \ell_1) + k_2 * \cot(k_2 * \ell_2)] = 0
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

Решая трансцендентные уравнения определяем Фкр.  
 Общее решение для определения Фкр  
 Якобиевая матрица, коэффициенты которой определяются  
 подстановкой уравнения (4) для каждого стыка балки.

$$\begin{vmatrix}
 a_1 & b_1 & & & & \\
 c_2 & a_2 & b_2 & & & \\
 & & & \dots & & \\
 & & & & c_{n-1} & a_{n-1} & b_{n-1} \\
 & & & & c_n & a_n & & 
 \end{vmatrix} = 0 \quad \text{где } c_i = b_{i-1}$$

Алгоритм решения трансцендентного уравнения методами: табуляции, деления отрезка пополам приведен в Приложении № 1 на языке Visual Basic 6.

**Приложение № 1**

```

Private Sub Command1_Click ()
e = 0.005
maxi = 10
a = Val (InputBox («введите границы отрезка a: »))
b = Val (InputBox («введите границы отрезка b: »))
Call Tabulation (a, b, 2.5)
For I = 1 To maxi
fa = f (a)
fb = f (b)
If fa * fb < 0 Then
x = (a + b) / 2
fx = f (x)
Debug.Print « iteraciya= » + CStr (I)
Debug.Print « x= » + Format (x, «00.00»)
Debug.Print « (f (x)) = » + Format (fx, «00.0000»)
If Abs (fx) < e Then
Debug.Print « reschenie naideno, x= » + CStr (x)
Debug.Print « za » + CStr (I) + « iteraciya!!!»
solution = True
Exit Sub
Else
If fa * fx < 0 Then
b = x
End If
If fx * fb < 0 Then
a = x
End If
End If
Else
Debug.Print « iteraciya = » + CStr (I)
Debug.Print «: f (a) = » + Format (fa, «00.0000»)
Debug.Print «: f (b) = » + Format (fb, «00.0000»)
Debug.Print « otrezok [a, b] vibran neydachno!!!»
Exit Sub
End If
Next I
    
```

```
If Not solution Then Debug.Print «reschenie ne naideno za», maxi, «iteraciya»
End Sub
Function f(x)
f = 1.57 / Tan(0.008 * x) + 1 / Tan(0.009 * x)
End Function
Sub Tabulation(a, b, abstep)
Debug.Print « — -tabylyaciya funkicii — - »
For x = a To b Step abstep
Debug.Print «x= « + Format(x, «00.00») + «: « + «f(x) = « + Format(f(x), «00.0000»)
Next x
Debug.Print « — — — — — — — — — — — — — — — — - »
End Sub
```

Литература:

1. Тимошенко, С. П. Соппротивление материалов. Т. 2.

## Математическая модель правки стальной полосы на пятироликовой листопрямительной машине фирмы Fagor Arrasate

Шинкин Владимир Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор  
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (г. Москва)

*Предложен математический метод определения оптимальных параметров холодной правки стального листа из горячекатаного рулона на листопрямительной машине испанской фирмы Fagor Arrasate. Расчеты позволяют определить вид и кривизну нейтральной линии стального листа при правке, а также остаточную кривизну листа после правки в зависимости от радиуса рабочих роликов, шага между роликами правильной машины, величины обжатия листа верхними роликами, толщины листа, а также модуля Юнга, предела текучести и модуля упрочнения металла листа. Результаты исследований могут быть использованы на металлургических заводах при производстве стального листа из горячекатанного рулона.*

**Ключевые слова:** горячекатаный стальной рулон, остаточные напряжения, кривизна поверхности листа, многороликовые листопрямительные машины, модель упругопластической среды.

**Производство труб большого диаметра из широкого толстого стального листа.** Магистральный трубопроводный транспорт нефти и газа является важнейшей частью экономики России. Магистральные трубопроводы состоят из последовательно сваренных труб большого диаметра, которые производят из широкого толстого стального листа. Листовой прокат обязательно правят в листопрямительных многороликовых машинах для устранения дефектов поверхности листа [1–6]. Для обеспечения высоких требований к эксплуатации магистральных трубопроводов в практике трубного производства утвердился процесс формовки трубной заготовки из стального листа по схеме JCOE, разработанный немецкой фирмой SMS Meer [1–3, 7–20].

Дефект образования гофра продольной кромки стального листа на кромкогибочном прессе SMS Meer изучался в работах [1, 2, 7–16], вредное влияние остаточных напряжений в стенке стального листа после трубоформовочного пресса SMS Meer на процесс экспандирования трубы — в [1, 2, 18], дефект «точка перегиба» при изгибе стального листа на трубоформовочном прессе SMS Meer — в [1, 2, 19], дефект несплавления сварного продольного шва при сборке трубы — в [1, 2, 21], дефект стального листа раскатной пригар с риской — в [1, 2, 22]. Процессы прокатки стального листа для производства труб изучались в работах [23–27], энергосиловые параметры при формовке листовых заготовок — в [1–3, 12, 28–33].

**Правка листа на пятироликовой листопрямительной машине фирмы Fagor Arrasate.** Основная задача технологии правки листа — рассчитать оптимальные режимы обжатия листовой заготовки рабочими роликами листопрямительных машин таким образом, чтобы на выходе из машины лист имел минимальные остаточные напряжения и кривизну.

На рис. 1 показана кинематическая схема линии предварительной правки стального листа из горячекатаного рулона, где 1 — гидроцилиндры, 2 — передвижной разматыватель рулона с четырехсекционным барабаном для фиксации ру-

лона, 3 — горячекатаный стальной рулон, 4 — прижимная балка с приводным роликом и наружной подшипниковой опорой, 5 — механизм для исправления кривизны рулона, 6 — устройство с выдвижным столом для раскрытия рулона и проводки листа, 7 — тянущие подающие ролики, 8 — направляющие листа, 9 — пятироликковая листопрямительная машина (верхние два ролика имеют независимое вертикальное перемещение, нижние три ролика неподвижны), 10 — машина сухой щеточной очистки листа.

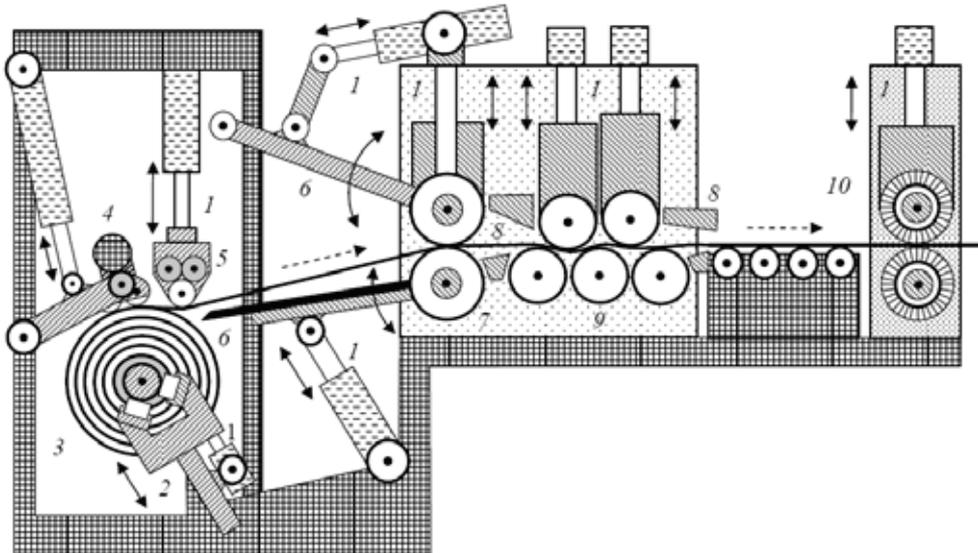


Рис. 1. Кинематическая схема линии предварительной правки стального листа из горячекатаного рулона фирмы Fagor Arrasate

Пусть  $t$  — шаг между нижними роликами,  $H_2$  и  $H_4$  — величины обжатия срединной поверхности стального листа на втором и четвертом роликах,  $h$  — толщина стального листа,  $R$  — радиус рабочих роликов,  $R_0 = R + h/2$ ;  $\sigma_T$ ,  $E$ ,  $\text{Пр}$  и  $\text{Пс}$  — предел текучести, модуль Юнга и модули упрочнения стали при растяжении и сжатии;  $\rho_i$  и  $\epsilon_i = 1/\rho_i$  — радиусы кривизны и кривизна срединной линии листа в точках касания листа с роликами,  $\varphi_i$  — углы точек касания листа и роликов ( $i = 1 \dots 5$ ) (рис. 2).

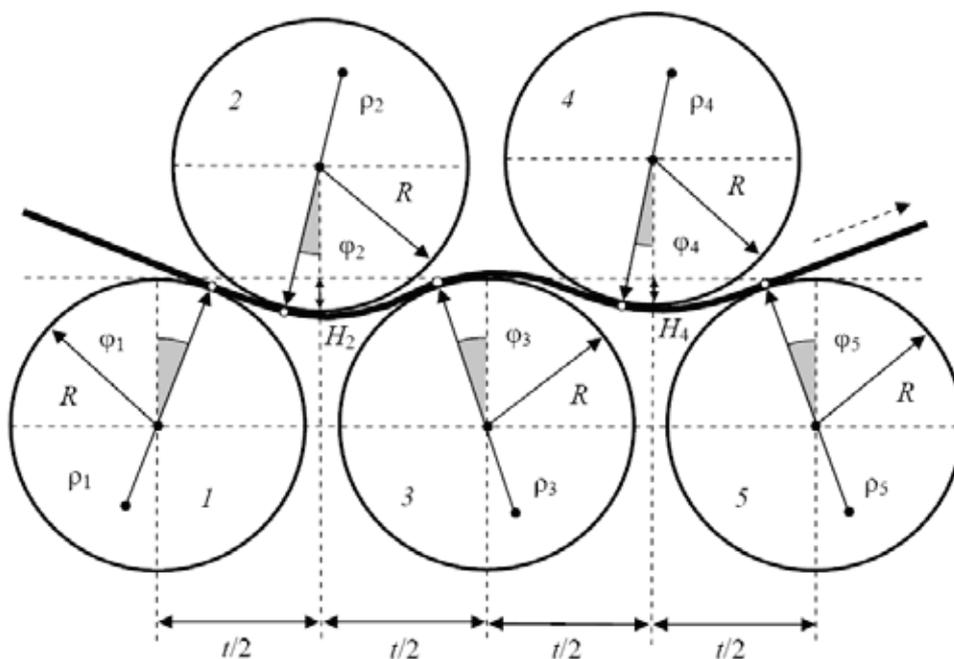


Рис. 2. Правка стального листа между пятью роликами листопрямительной машины

Коэффициент пружинения нейтральной линии листа при радиусе кривизны  $\rho$  равен

$$\beta(\rho) = \frac{1}{1 - \left[ 3 \left( \frac{\rho \sigma_T}{h E} \right) - 4 \left( \frac{\rho \sigma_T}{h E} \right)^3 + \frac{(\Pi_p + \Pi_c)}{2E} \left( 1 - 3 \left( \frac{\rho \sigma_T}{h E} \right) + 4 \left( \frac{\rho \sigma_T}{h E} \right)^3 \right) \right]}.$$

Введем пять локальных прямоугольных декартовых систем координат  $y-z$  в точках касания листа с рабочими роликами листопрямительной машины. Оси  $z$  направим по касательной к поверхности роликов слева направо, а оси  $y$  — перпендикулярно к оси  $z$  в сторону центров соответствующих роликов. Будем аппроксимировать в этих системах координат нейтральную линию листа (между соседними точками касания листа и роликов) с помощью кубических полиномов вида  $y(z) = a z^2 - b z^3$  (метод Шинкина). Отметим, что первые два коэффициента этих полиномов равны нулю, так как лист касается роликов в начале систем координат. Обозначим  $a_i$  и  $b_i$  — коэффициенты кубических полиномов в  $i$ -ой системе координат. Составим уравнения для коэффициентов кубических полиномов, кривизны и радиусов кривизны нейтральной линии листа в точках касания листа с роликами.

*Первый и второй ролики*

$$z_2 = \left( \frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_1 + R_0 \cos \varphi_2 \right) \cos \varphi_1 + [H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_1) - R_0(1 - \cos \varphi_2)] \sin \varphi_1,$$

$$y_2 = - \left( \frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_1 + R_0 \cos \varphi_2 \right) \sin \varphi_1 + [H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_1) - R_0(1 - \cos \varphi_2)] \cos \varphi_1,$$

$$a_1 = \frac{3y_2 + \operatorname{tg}(\varphi_1 + \varphi_2)z_2}{z_2^2}, \quad b_1 = \frac{2y_2 + \operatorname{tg}(\varphi_1 + \varphi_2)z_2}{z_2^3},$$

$$\varepsilon_{12} = 2a_1, \quad \rho_{12} = \frac{1}{2a_1}, \quad \varepsilon_{21} = \frac{2a_1 - 6b_1z_2}{\left[ 1 + (2a_1z_2 - 3b_1z_2^2)^2 \right]^{\frac{3}{2}}}, \quad \rho_{21} = \frac{1}{\varepsilon_{21}}.$$

*Второй и третий ролики*

$$z_3 = \left( \frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_2 + R_0 \cos \varphi_3 \right) \cos \varphi_2 + [H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_2) - R_0(1 - \cos \varphi_3)] \sin \varphi_2,$$

$$y_3 = - \left( \frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_2 + R_0 \cos \varphi_3 \right) \sin \varphi_2 + [H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_2) - R_0(1 - \cos \varphi_3)] \cos \varphi_2,$$

$$a_2 = \frac{3y_3 + \operatorname{tg}(\varphi_2 + \varphi_3)z_3}{z_3^2}, \quad b_2 = \frac{2y_3 + \operatorname{tg}(\varphi_2 + \varphi_3)z_3}{z_3^3},$$

$$\varepsilon_{23} = 2a_2, \quad \rho_2 = \rho_{23} = \frac{1}{2a_2}, \quad \varepsilon_{32} = \frac{2a_2 - 6b_2z_3}{\left[ 1 + (2a_2z_3 - 3b_2z_3^2)^2 \right]^{\frac{3}{2}}}, \quad \rho_3 = \rho_{32} = \frac{1}{\varepsilon_{32}}.$$

*Третий и четвертый ролики*

$$z_4 = \left( \frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_3 + R_0 \cos \varphi_4 \right) \cos \varphi_3 + [H_4 - R_0(1 - \cos \varphi_3) - R_0(1 - \cos \varphi_4)] \sin \varphi_3,$$

$$y_4 = - \left( \frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_3 + R_0 \cos \varphi_4 \right) \sin \varphi_3 + [H_4 - R_0(1 - \cos \varphi_3) - R_0(1 - \cos \varphi_4)] \cos \varphi_3,$$

$$a_3 = \frac{3y_4 + \operatorname{tg}(\varphi_3 + \varphi_4)z_4}{z_4^2}, \quad b_3 = \frac{2y_4 + \operatorname{tg}(\varphi_3 + \varphi_4)z_4}{z_4^3},$$

$$\varepsilon_{34} = 2a_3, \quad \rho_{34} = \frac{1}{2a_3}, \quad \varepsilon_{43} = \frac{2a_3 - 6b_3z_4}{\left[ 1 + (2a_3z_4 - 3b_3z_4^2)^2 \right]^{\frac{3}{2}}}, \quad \rho_{43} = \frac{1}{\varepsilon_{43}}.$$

*Четвертый и пятый ролики*

$$z_5 = \left( \frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_4 + R_0 \cos \varphi_5 \right) \cos \varphi_4 + [H_4 - R_0(1 - \cos \varphi_4) - R_0(1 - \cos \varphi_5)] \sin \varphi_4,$$

$$y_5 = -\left(\frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_4 + R_0 \cos \varphi_5\right) \sin \varphi_4 + [H_4 - R_0(1 - \cos \varphi_4) - R_0(1 - \cos \varphi_5)] \cos \varphi_4,$$

$$a_4 = \frac{3y_5 + \operatorname{tg}(\varphi_4 + \varphi_5)z_5}{z_5^2}, \quad b_4 = \frac{2y_5 + \operatorname{tg}(\varphi_4 + \varphi_5)z_5}{z_5^3},$$

$$\varepsilon_{45} = 2a_4, \quad \rho_4 = \rho_{45} = \frac{1}{2a_4}, \quad \varepsilon_{54} = \frac{2a_4 - 6b_4z_5}{\left[1 + (2a_4z_5 - 3b_4z_5^2)^2\right]^{3/2}}, \quad \rho_5 = \rho_{54} = \frac{1}{\varepsilon_{54}}.$$

Граничные условия задачи имеют вид

$$\rho_{12} = \rho_1, \quad \rho_{21} = -\rho_{23}, \quad \rho_{32} = -\rho_{34}, \quad \rho_{43} = -\rho_{45}, \quad \rho_{54} = \beta(\rho_{45})\rho_{45}.$$

**Результаты расчетов.** Решая систему уравнений при  $t = 0,27$  м,  $R = 0,125$  м,  $h = 0,01$  м,  $E = 2 \cdot 10^{11}$  Па,  $\sigma_T = 500 \cdot 10^6$  Па,  $H_2 = 0,024$  м,  $H_4 = -0,002$  м и  $\rho_1 = \infty$  м, получаем  $\rho_2 = 0,172$  м,  $\rho_3 = -0,295$  м,  $\rho_4 = 2,482$  м,  $\rho_5 > 10^{10}$  м,  $\varphi_1 = 16,89^\circ$ ,  $\varphi_2 = -3,89^\circ$ ,  $\varphi_3 = 10,80^\circ$ ,  $\varphi_4 = 1,93^\circ$  и  $\varphi_5 = -0,31^\circ$ . На рис. 3 показана зависимость кривизны нейтральной линии листа при правке на пятироликовой листопрямительной машине. По оси абсцисс отложена продольная ось листа, а по оси ординат – кривизна продольных волокон срединной линии листа. Точки локальных экстремумов кривизны соответствуют точкам касания листа с рабочими роликами листопрямительной машины.

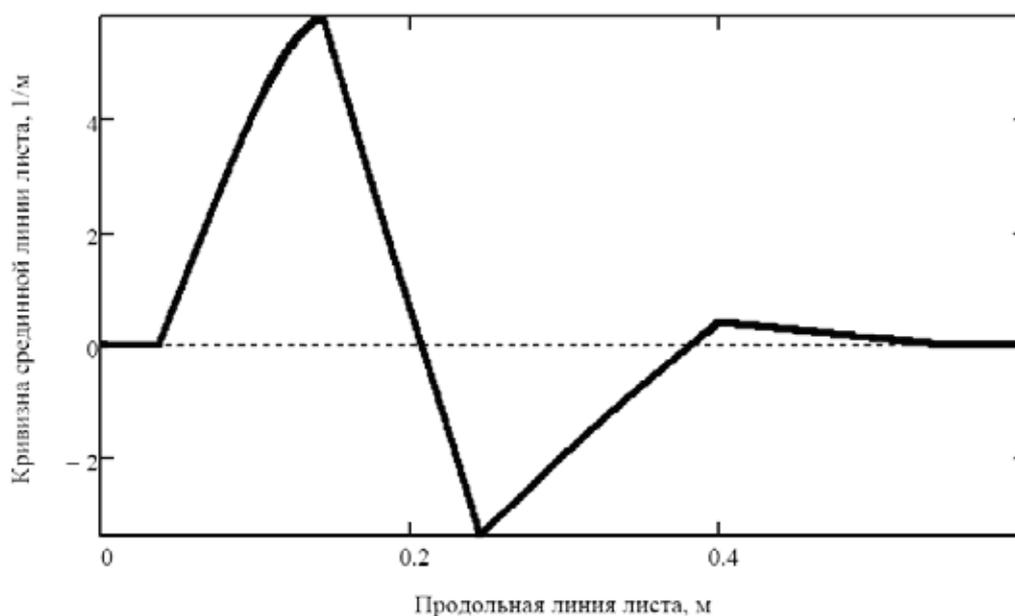


Рис. 3. Кривизна срединной линии листа при правке на пятироликовой листопрямительной машине

Деформация листа на участке 1–2–3-ий ролики служит для частичного снятия остаточных напряжений внутри листа и приведения кривизны листа на третьем ролике к некоторому почти постоянному значению вне зависимости от начальной кривизны листа на первом ролике. Деформация листа на участке 3–4–5-ый ролики служит для придания листу плоской формы после его правки на пятироликовой листопрямительной машине.

Литература:

1. Шинкин, В. Н. Механика сплошных сред для металлургов. — М: Изд. Дом МИСиС, 2014. — 628 с.
2. Шинкин, В. Н. Сопротивление материалов для металлургов. — М: Изд. Дом МИСиС, 2013. — 655 с.
3. Шинкин, В. Н. Сопротивление материалов. Простые и сложные виды деформаций в металлургии. — М: Изд. Дом МИСиС, 2008. — 307 с.
4. Шинкин, В. Н. Математическая модель правки тонкого стального листа на пятнадцатирولیковой листопрямительной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Производство проката. 2015. № 1. с. 42–20.
5. Шинкин, В. Н. Расчет технологических параметров правки стального листа на одиннадцатирولیковой листопрямительной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Производство проката. 2014. № 8. с. 26–34.

6. Шинкин, В. Н., Барыков А. М. Расчет технологических параметров холодной правки стального листа на девятироликовой машине SMS Siemag металлургического комплекса стан-5000 // Производство проката. 2014. № 5. с. 7–15.
7. Шинкин, В. Н. Гофр продольной кромки листа при его формовке на кромкогибочном прессе // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2009. Вып. 6. с. 171–174.
8. Шинкин, В. Н., Коликов А. П. Формовка листовой заготовки в кромкогибочном прессе и условие возникновения гофра при производстве труб магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. № 4. с. 14–22.
9. Шинкин, В. Н., Коликов А. П. Упругопластическое изменение металла на кромкогибочном прессе при формовке труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 6. с. 53–56.
10. Shinkin, V. N., Kolikov A. P. Elastoplastic shaping of metal in an edge-ending press in the manufacture of large-diameter pipe // Steel in Translation. 2011. Vol. 41. No. 6. P. 528–531.
11. Шинкин, В. Н., Коликов А. П. Модель пластического формоизменения кромок листовой заготовки при производстве труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Известия вузов. Черная металлургия. 2011. № 9. с. 45–49.
12. Шинкин, В. Н. Математическое моделирование процессов производства труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. № 4 (62). Вып. 4. с. 69–74.
13. Шинкин, В. Н., Коликов А. П., Барыков А. М. Технологические расчеты процессов производства труб большого диаметра по технологии SMS Meer // Металлург. 2011. № 11. с. 77–81.
14. Shinkin, V. N., Kolikov A. P. Engineering calculations for processes involved in the production of large-diameter pipes by the SMS Meer technology // Metallurgist. 2012. Vol. 55. Nos. 11–12. P. 833–840.
15. Шинкин, В. Н., Коликов А. П. Моделирование процесса формовки заготовки для труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 1. с. 54–58.
16. Shinkin, V. N., Kolikov A. P. Simulation of the shaping of blanks for large-diameter pipe // Steel in Translation. 2011. Vol. 41. No. 1. P. 61–66.
17. Шинкин, В. Н., Барыков А. М. Расчет формы трубной заготовки при гибке на кромкогибочном и трубоформовочном прессах фирмы SMS Meer при производстве труб большого диаметра по схеме JCOE // Производство проката. 2014. № 12. с. 13–20.
18. Шинкин, В. Н., Коликов А. П., Мокроусов В. И. Расчет максимальных напряжений в стенке трубы при экспандировании с учетом остаточных напряжений заготовки после трубоформовочного пресса SMS Meer // Производство проката. 2012. № 7. с. 25–29.
19. Шинкин, В. Н. Критерий перегиба в обратную сторону свободной части листовой заготовки на трубоформовочном прессе SMS Meer при производстве труб большого диаметра // Производство проката. 2012. № 9. с. 21–26.
20. Шинкин, В. Н., Коликов А. П. Моделирование процессов экспандирования и гидротестирования труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. № 10. с. 12–19.
21. Шинкин, В. Н., Барыков А. М., Коликов А. П., Мокроусов В. И. Критерий разрушения труб большого диаметра при несплавлении сварного соединения и внутреннем давлении // Производство проката. 2012. № 2. с. 14–16.
22. Шинкин, В. Н., Мокроусов В. И. Критерий разрыва труб газонефтепроводов при дефекте раскатной пригар с риской // Производство проката. 2012. № 12. с. 19–24.
23. Бельский, С. М., Третьяков В. А., Барышев В. В., Кудинов С. В. Исследование процесса формирования ширины сляба в черновой группе широкополосного стана // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1998. № 1. с. 24–29.
24. Скороходов, В. Н., Чернов П. П., Мухин Ю. А., Бельский С. М. Математическая модель процесса свободного уширения при прокатке полос // Сталь. 2001. № 3. с. 38–40.
25. Скороходов, В. Н., Мухин Ю. А., Бельский С. М., Мазур С. И. Особенности профилировок рабочих валков для клетей с осевой сдвижкой. Сообщение 1 // Производство проката. 2007. № 12. с. 17–19.
26. Скороходов, В. Н., Мухин Ю. А., Бельский С. М., Мазур С. И. Особенности профилировок рабочих валков для клетей с осевой сдвижкой. Сообщение 2 // Производство проката. 2008. № 1. с. 21–24.
27. Бельский, С. М. О некоторых эффектах применения осевой сдвижки рабочих валков // Производство проката. 2008. № 7. с. 21–24.
28. Бровман, Т. В. Определение усилий при вдавливании цилиндрического пуансона в заготовку // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1997. № 1. с. 44–47.
29. Бровман, Т. В. Определение усилий при листовой штамповке // Вестник машиностроения. 2004. № 3. с. 60–61.
30. Бровман, Т. В. Энергосиловые параметры при деформации листовых заготовок // Производство проката. 2012. № 6. с. 27–32.

31. Бровман, Т. В., Васильев М. Г. Модель численных расчетов искусственной анизотропии при деформации тонколистового материала // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Прикладная математика. 2014. № 2. с. 25–32.
32. Бровман, Т. В., Кутузов А. А. О выборе режимов изгиба при вальцовке заготовок // Производство проката. 2014. № 12. с. 29–32.
33. Бровман, Т. В., Кутузов А. А. Определение усилий подгибки в штампах кромок стальных кольцевых заготовок // Производство проката. 2015. № 2. с. 18–23.

# Молодой ученый

Научный журнал  
Выходит два раза в месяц

№ 8 (88) / 2015

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

**Главный редактор:**

Ахметова Г. Д.

**Члены редакционной коллегии:**

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

**Ответственные редакторы:**

Кайнова Г. А., Осянина Е. И.

**Международный редакционный совет:**

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

**Художник:** Шишков Е. А.

**Верстка:** Голубцов М. В.

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.  
За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.

Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.

При перепечатке ссылка на журнал обязательна.

Материалы публикуются в авторской редакции.

**АДРЕС РЕДАКЦИИ:**

420126, г. Казань, ул. Амирхана, 10а, а/я 231.

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

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

**Учредитель и издатель:**

ООО «Издательство Молодой ученый»

ISSN 2072-0297

Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии издательства «Молодой ученый», г. Казань, ул. Академика Арбузова, д. 4