

МОЛОДОЙ

ISSN 2072-0297

УЧЁНЫЙ

научный журнал



ОТ РЕДАКЦИИ
Вопросы, связанные с публикацией в журнале, направляйте по адресу: *Блюмен, Николай Николаевич*, редактор журнала, *Блюмен, Николай Николаевич*, редактор журнала, *Блюмен, Николай Николаевич*, редактор журнала.

Блюмен, Николай Николаевич

10
2015
Часть II

ISSN 2072-0297

Молодой учёный

Научный журнал

Выходит два раза в месяц

№ 10 (90) / 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*

Айдаров Оразхан Турсункожаевич, *кандидат географических наук*

Алиева Тарана Ибрагим кызы, *кандидат химических наук*

Ахметова Валерия Валерьевна, *кандидат медицинских наук*

Брезгин Вячеслав Сергеевич, *кандидат экономических наук*

Данилов Олег Евгеньевич, *кандидат педагогических наук*

Дёмин Александр Викторович, *кандидат биологических наук*

Дядюн Кристина Владимировна, *кандидат юридических наук*

Желнова Кристина Владимировна, *кандидат экономических наук*

Жуйкова Тамара Павловна, *кандидат педагогических наук*

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 Николай Николаевич Блохин (1912–1993) — российский хирург-онколог, академик АН СССР и АМН СССР, 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; <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

- Авалбаев Г. А., Матчанова М. Б., Наркулова З. Т., Бобомуратова С. Ю.**
Анализ надежности химико-технологических систем с применением топологических моделей..... 111
- Агзам Е. М., Кузнецов М. С., Семенов А. О.**
Современные технологии обращения с радиоактивными отходами..... 114
- Азизов Б. А., Тошев И. И.**
Уравнения движения почвенных частиц по рабочей поверхности 116
- Азизов Б. А., Тошев И. И.**
Применение прямой задачи динамики к определению рабочей поверхности рыхлительной лапы 118
- Акопян К. В., Кенийз Н. В.**
Биомодификация модельного фарша стартовыми культурами..... 120
- Аксёнова Н. В., Могунов А. Е., Шепетовский Д. В.**
Экспериментальная проверка и экономический расчет энергосбережения за счет применения компактных энергосберегающих ламп 123
- Алдажуманов Ж. К., Ермоленко М. В., Степанова О. А., Тоимбаев А. Б., Должиков С. А.**
Исследование работы теплового насоса с регенеративным теплообменником на основе эксергетического анализа 128
- Алимова Д. Б., Пулатова Х. А.**
Кинематическое исследование гибкого планетарного механизма для привода технологических машин 132
- Андреев А. А.**
Анализ перспективы строительства магистрального газопровода «Сила Сибири» в условиях сейсмичности и вечномерзлых грунтов..... 134
- Анфилатов А. А.**
Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле ... 139
- Анфилатов А. А.**
Теоретические расчеты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле для номинальной частоты вращения..... 142
- Арискин М. В., Бердников А. Г., Павленко В. В.**
Экспертиза промышленной безопасности зданий на примере обрубочного корпуса ООО «ЛМЗ «МашСталь»..... 146
- Астафьева Н. В.**
Повышение безопасности при аварии с выбросом горящих облаков..... 149
- Бабарыкин Е. В., Дудко М. А., Сокол Н. В.**
Исследование технологических и хлебопекарных свойств зерна пшеницы, обработанного биологическим препаратом нового поколения 153
- Бахаева А. Н., Ивановский С. К.**
Обзор оксо -биоразлагаемых добавок используемых для утилизации упаковочных материалов 156
- Белоусов С. В., Лепшина А. И.**
Плоскорежущие рабочие органы для обработки почвы с оборотом пласта 158
- Буранов И. Ф., Ражабов Р. А.**
Метод конхоидального преобразования плоских кривых 161
- Буранов И. Ф.**
Создание 3D-тела или поверхности посредством сдвига 2D-кривой вдоль траектории 164

Вильц К. Р., Нестеренко А. А. Технология замороженных полуфабрикатов	166	Каримов Г. Х., Фазлиев Ж. Ш. Automation of intensive garden seedlings' drip irrigation.....	212
Григорьев М. Г., Бабич Л. Н. Воздействие элементов фильтрации на биоэлектрический сигнал.....	169	Ключникова Д. В., Исмаилова А. И. Растительное сырьё в технологии творожных продуктов	214
Григорьев М. Г., Бабич Л. Н. Визуализация состояния сердца с помощью аппаратно-програмного комплекса, основанного на кардиографической аппаратуре на наносенсорах	174	Ключникова Д. В., Рамазанова Л. Р. Растительное сырьё как компонент-обоганитель в технологии молочных продуктов.....	216
Григорьев М. Г., Бабич Л. Н. Модель возбуждения пейсмекерных кардиомиоцитов проводящей системы сердца ...	178	Кожанов Р. В., Артемова А. Д., Ткаченко И. М. Нейронные сети в решении задачи систем распознавания на основе логистической модели	219
Григорьев М. Г., Бабич Л. Н. Анализ методов неинвазивного исследования сердца для решения обратной задачи электрокардиографии	184	Козин К. А., Ефремов Е. В., Грачев М. И. Математическая модель выпарного аппарата для создания системы автоматического управления выпарным оборудованием в технологиях переработки отработанного ядерного топлива	223
Григорьев М. Г., Бабич Л. Н. Микропроцессорный измеритель коэффициента температуропроводности материалов	188	Комарова Д. А., Бадараев А. Д., Баженов А. Ю., Егорова М. С. Экономические преимущества инновационных методов магнетронного распыления	228
Громыко Н. В. Новые растительные сорбенты для очистки водоемов от аварийных разливов нефти и продуктов на ее основе	192	Кочеткова М. В., Гусев Н. И., Щеглова А. С. Воздействие усадочных явлений на защитно-отделочное покрытие стен из пенобетона	231
Гусев И. С., Степанов И. М. Программа генерализации результатов дешифрирования аэрокосмических снимков леса с переменным шагом	195	Кошевой В. Л. Исследование кристаллического пористого кремния, полученного методом электрохимического травления с использованием подсветки HeNe лазера	233
Джамбулатов Р. Г. Анализ причин обрушения покрытий общественных зданий.....	197	Кравчук Д. И., Кравчук В. И. Особенности производства фианитов методом гарниссажа	236
Дорофеева Н. И. Исследование скорости удаления метаболитов из отработанного диализата	200	Крайнов А. В., Пашков Е. Н., Лушников Р. Э. Сопряжённый теплообмен при движении вязкой несжимаемой жидкости в полости прямоугольного типа с учётом охлаждения внешней границы донной поверхности	239
Ерошкина Н. А., Аксенов С. В., Коровкин М. О., Полубаров Е. Н. Исследование трещиностойкости геополимерного бетона	203	Крюков Я. В., Ушарова Д. Н., Вершинин А. С. Эквалайзирование канала данных системы LTE с частотно-селективными замираниями и аддитивным гауссовым шумом.....	244
Жуков А. В., Шитова И. Ю., Самошина Е. Н. Деформативные свойства серных композиционных материалов на аппретированном кварцевом наполнителе	205	Курбанов К. О., Очилов Л. И. Определение механических воздействий гидротехнических сооружений с помощью оптических волоконных датчиков.....	247
Жумаев К. К., Бафоев Д. Х., Каландаров Н. О., Халикова З. Д. Повышение уровня эксплуатационной надежности магистральных газопроводов	207		
Карев М. Н., Данилов А. М. Параметрическая идентификация линеаризованных уравнений продольного движения.....	209		

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Анализ надежности химико-технологических систем с применением топологических моделей

Авалбаев Гаффар Абирович, старший преподаватель;
 Матчанова Мухаббат Батировна, старший преподаватель;
 Наркулова Захида Ташбаевна, ассистент;
 Бобомуратова Санобар Юнусовна, ассистент
 Джизакский политехнический институт (Узбекистан)

Топологические модели представляет в виде графов. Граф — это фигура или конфигурация, образования совокупностью некоторых точек; некоторые из них могут быть соединены отрезками прямых, ломаных или кривых линий. Линии могут иметь направление.

Для химико-технологического процесса часто вершинами графа являются его элементы, а дуги показывают связь между элементами.

Количественный анализ надежности химико-технологических систем заключается в определении вероятностно-статистических показателей надежности системы с применением результатов предварительного качественного анализа надежности ХТС. Качественный анализ надежности ХТС можно осуществить с помощью параметрического потокового графа (ППГ) ХТС, а количественный анализ надежности — с помощью топологической модели системы в виде параметрического графа надежности (ПГН) ХТС;

ПГН ХТС-это неориентированный граф (рис.1), каждое i -е ребро которого соответствует i -му элементу ХТС, обладающему некоторой вероятностью безотказной работы $P_i \leq 1$, а вершины ПГН отображают наличие технологических и информационных связей между элементами ХТС, которые считают абсолютно надежными: $P_{св} = 1$. Положения каждого ребра в ПГН, соответствующего некоторому элементу ХТС, зависит от того, каким образом отказ этого элемента воздействует на отказ системы в целом, т.е. определяется влиянием характеристик надежности данного элемента на характеристику надежности ХТС.

При анализе надежности ХТС с применением ПГН исходом из следующих предпосылок.

1. Отказы отдельных элементов ХТС независимы. Каждый отказ элемента приводит к отказу некоторой под системы ХТС или системы в целом.

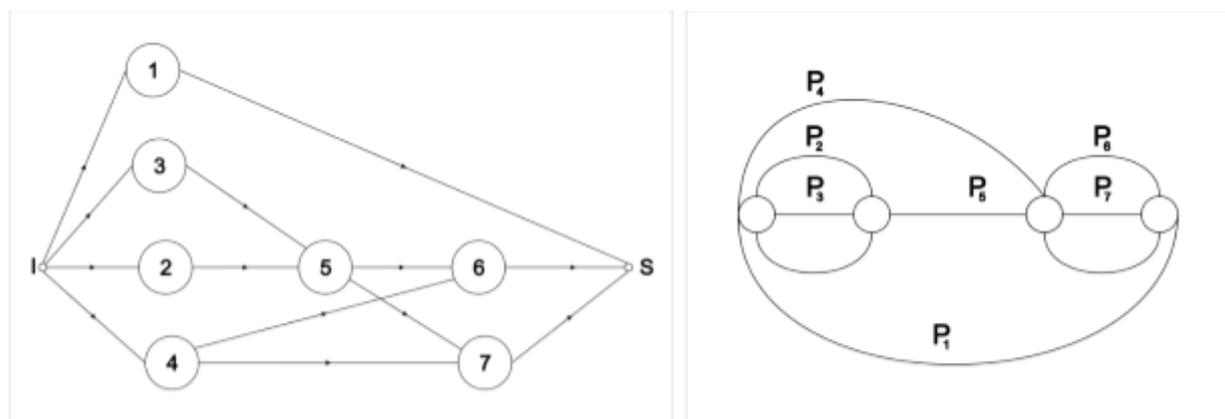


Рис. 1. Параметрический потоковый граф (а) и параметрический граф надежности (б) химико-технологической системы

2. Принимаем два вида отказов ХТС. Отказом ХТС первого вида будем считать событие, заключающееся в снижении производительности системы ниже заданной. Второй отказ соответствует событию, характеризующемуся полным прекращением выпуска продукции, т.е. выходом ХТС из строя.

3. Все элементы (подсистемы) ХТС будем классифицировать по влиянию отказов этих элементов (подсистем) на надежность функционирования системы в целом. В соответствии с этим выделим следующие классы элементов: элементы подсистемы), отказы которых: а) не влияют на качество и количество выпускаемой продукции; б) приводят к отказу ХТС первого вида; в) вызывают отказ ХТС второго вида.

4. Поскольку при эксплуатации ХТС возможны оба вида отказов, то для одной технологической схемы ХТС будем строить два ПГН соответственно для отказа второго вида.

Согласно условно независимости отказов ХТС вероятность безотказной работы ХТС Р определим как произведение вероятностей отсутствия в системе отказов первого и второго видов P_1 и P_2

$$P = P_1 P_2$$

где, P_1 и P_2 определяется с помощью соответствующих ПГН ХТС.

С учётом этих предпосылок методика построения ПГН для отказов ХТС первого и второго вида, осуществляемого по исходному ППГ ХТС, состоит из следующих операций.

В ППГ выделим вершины, соответствующие тем элементам системы, отказ которых вызывает отказ ХТС

в целом, т.е. выделим вершины ППГ, соответствующие основному технологическому потоку между элементами ХТС от входа сырья i до выхода готовой продукции S . Этим вершинам ППГ ставим в соответствие последовательное соединение ребер ПГН ХТС. Среди остальных вершин ППГ выделим вершины, соответствующие резервным элементам ХТС, которым ставят в соответствие в ПГН ребра, параллельные ребрам основного соединения.

Для ХТС, структурная схема которой представлена на рис 2, а, соответствующие ей ППГ и ПГН изображены на рис 2, в-г. ПГН для отказа ХТС первого вида (рис.2, в) представляют собой последовательное соединение всех ребер, так как отказ любого элемента данной ХТС снижает её производительность. В ПГН (рис.2, г) ребра P_1, P_2, P_4 и P_5 соединены последовательно, так как элементы 1,2,4 и 5 образуют основное соединение ХТС. Ребра P_4' параллельно ребру P_4 , так как элемент 4/ является резервным но отношению к основному элементу 4. Ребро P_3 ответвляется от основного соединения ребер ПГН, так как оно соответствует элементу 3, отказ которого не вызывает отказа ХТС второго вида.

ПГН, соответствующий отказу ХТС первого вида, позволяет определить вероятность функционирования ХТС с заданной производительностью. На рис.3, а представлена структурная схема ХТС производства продукта С, образующегося в реакторе 2 из полупродукта A' , три партии которого получают в реакторах 1,1' и 1''. Если, например, для непрерывной работы реактора 2 достаточно двух партий полупродукта A' , то отказа ХТС первого вида возникает лишь при отказе химических реакторов, в которых производится полупродукт A' . Указанным условиям функционирования ХТС отвечает ПГН, изображенный на рис. 3 в.

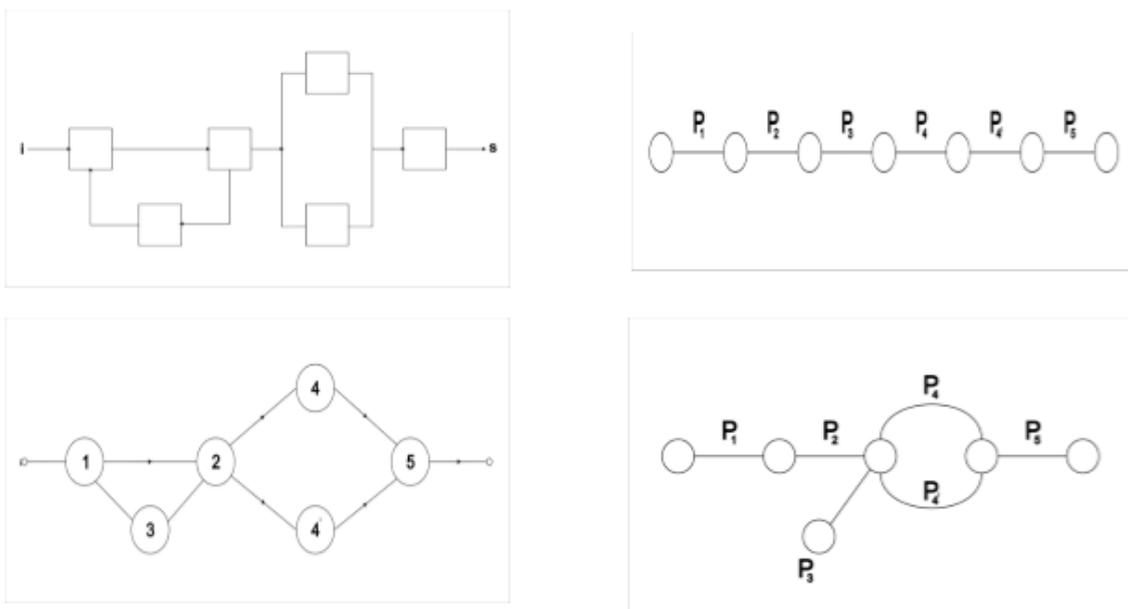


Рис. 2. Структурная схема (а), параметрический потоковый граф (б) и параметрические графы надежности химико-технологической системы для отказов первого вида (в) и второго вида (г); 1,4,4 — химические реакторы; 2 — сепаратор; 5 — холодильник

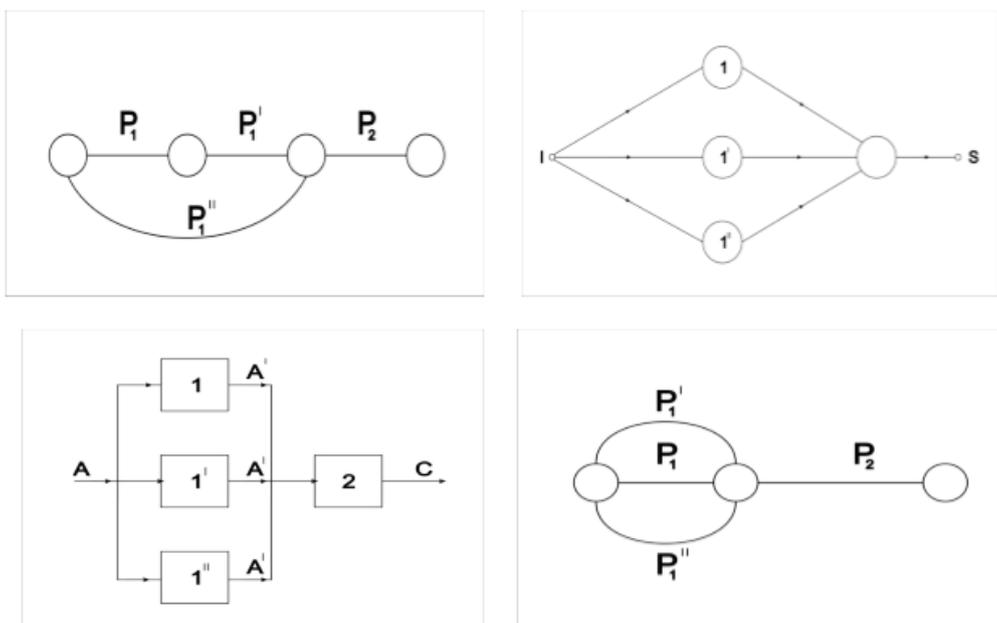


Рис. 3. Структурная схема (а), параметрический потоковый граф (б) и параметрические графы надежности (в, г) ХТС производства продукта С: 1,1',1'',2 — химические реакторы; А — исходное сырьё; А' — полупродукт

ПГН, соответствующий отказу ХТС второго вида, позволяет определить вероятность функционирования ХТС без прекращения выпуска продукции или без отклонения качественных показателей продукта за пределы, допускаемые техническими условиями. Например, для ХТС, структурная схема которой представлена на рис. 3, а, отказ второго вида наступает, если откажут одновременно все три химических реактора, производящих полуфабрикат А'. На рис.3, г. изображен ПГН, соответствующий этому случаю. На рис 4, а изображена структурная схема многоконтурной ХТС производства продукта В. Элементы 1,2 и 3 являются основными элементами данной системы, а 4 и 5 — вспомогательными.

Отказ вспомогательных элементов вызывает отказ системы первого вида, а отказ любого из основных элементов приводит к отказу ХТС второго вида.

Таким образом, структурной схеме некоторой ХТС в зависимости от показателей надежности её функционирования могут соответствовать различные структуры ПГН. В общем случае независимо от отказов ХТС для различных вариантов структуры ПНГ возможны структуры ПНГ, представляющие только лишь последовательное, параллельное или смешанное соединение ребер.

Другой топологической моделью применяемой для количественного анализа надежности ХТС, является дуальный ПГН, который позволяет определить зависимость надежности ХТС, является дуальный ПГН, который позволяет определить зависимость надежности ХТС от надежности технологических связей системы. Так же, как и в случае отказов элементов ХТС, отказы технологических связей (разрыв, замерзание или забивание трубопроводов, пропуски в сварных соединениях и другие) вызывает отказы от ХТС первого или второго видов.

Дуальный ПГН ХТС — это неориентированный граф, в котором каждому *i*-му ребру, отображающему *i*-ю технологическую связь, соответствует число $z_i \leq 1$, равное вероятности исправного действия этой технологической связи. При построении дуального ПГН соблюдается тот же порядок, что и при построении ПГН ХТС, но только по отношению к технологическим связям.

Для определения вероятности безотказной работы ХТС, с помощью ПГН можно использовать символическое исчисление [2], в котором приняты условные операции, отображающие некоторые алгебраические операции. Для независимых отказов элементов ХТС вводят условные операции умножения и сложения

$$P_i \otimes P_j \xrightarrow{*} P_i P_j \tag{2}$$

где \otimes — условная операция умножения для определения вероятности безотказной работы элементов ХТС, которым ПНГ соответствует последовательное соединение ребер (элементарная цепь графа);

$$P_i \oplus P_j \xrightarrow{*} P_i + P_j - P_i P_j \tag{3}$$

где \oplus -условная операция сложения для определения вероятности безотказной работы элементов ХТС, которым в ПГН соответствуют параллельные ребра.

Символическое исчисление позволяет формализовать вывод зависимости вероятности безотказной работы ХТС $P(t) = f(P_1, P_2, \dots, P_n)$ где P_i вероятность безотказной работы *i*-го элемента,

$i = \overline{1, n}$ — число элементов ХТС, причем полученная зависимость, представленная в символической форме, со-

храняет информацию о топологии ПГН в отличие от окончательной алгебраической формы, в которой не отражаются топологические характеристики ПГН.

Для ХТС с большим числом элементов и технологических связей между ними ПГН имеют сложную структуру.

Литература:

1. Кафаров, В. В., Перов В. Л., Мешалкин В. П. Принципы математического моделирования химико-технологических систем. — М.: Химия, 1974
2. Жаворонков, Н. М., Кафаров В. В., Леров В. Л., Мешалкин В. П. Теоретические основы химической технологии., 4, № 2, 152 (1970)

Поэтому получить зависимость вероятности безотказной работы ХТС от вероятностей безотказной работы элементов ХТС на основе преобразования топологии ПГН с применением символического исчисления возможно только лишь с использованием ЭВМ.

Современные технологии обращения с радиоактивными отходами

Агзам Ерхан Мейрамулы, магистр;
Кузнецов Михаил Сергеевич, старший преподаватель;
Семенов Андрей Олегович, старший преподаватель
Национальный исследовательский Томский политехнический университет

В данной статье рассмотрены проблемы обращения с РАО на сегодняшний день. Представлены ряд существующих и перспективных методов для иммобилизации твердых отходов. Проведен краткий обзор применения технологии СВС для получения матричных материалов.

Ключевые слова: радиоактивные отходы, СВС, матричные материалы.

В 20 веке человечество столкнулась с новыми проблемами и одна из них — радиоактивные отходы, образованные с АЭС. За период времени равный примерно 50 лет на земле образовалась около десятков миллиардов кюри радиоактивных отходов, и эти цифры растут с каждым годом. [1].

Под радиоактивными отходами понимают смесь стабильных химических элементов и радиоактивных осколков реакции деления, трансурановых элементов (за счет реакция нейтронного захвата ядерным топливом), представляющих наибольшую опасность для биосферы: Rb, Sr, Y, Zr, Mo, Ru, Rh, Pd, I, Cs, Ba, La, Np, Pu, Am и Cm [2].

В настоящее время согласно существующим разработкам Международного агентства по атомной энергии основной задачей обращения с РАО является их безопасная утилизация, с минимальным воздействием на окружающую среду. Выделяют следующие принципы обращения:

- 1) Изоляция — блокирование контакта радиоактивного отхода с окружающей средой.
- 2) Рассеяние — минимизация активности отходов путем разбавления другими веществами.
- 3) Применение химически устойчивых форм и соединений.
- 4) Использование матричных технологий.

При использовании матриц материалы подбираются таким образом, чтобы радиоактивные включения в больших количествах надежно связывались и удержи-

вались матричным материалом на протяжении всего периода обращения, при этом не вступая в химические контакты с другими материалами и соединениями, например, с водой. Кроме выше сказанного, предъявляется комплекс физико-механических свойств, таких как, механическая прочность, высокая теплопроводность, вследствие саморазогрева радиоактивных отходов, повышенной радиационной стойкостью.

На сегодняшний день к наиболее перспективным материалам, используемых в качестве иммобилизационных матриц можно отнести боросиликатные и алюмофосфатные стекла, кристаллические минеральные соединения типа: синроки, титонаты, перовскиты, моноциты, иттрий-алюминиевый гранат и др. [3–5].

К существующим методикам производства отвержденных форм РАО относятся следующие технологии: плавление, твердофазный и гидротермальный синтез, получение материалов в режиме твердопламенного горения (СВС) [6–8].

Технология плавление в печи, наиболее простой, удобный и отработанный методом, предполагает получение относительно легкоплавких форм, что широко используется при производстве матричного стекла. Существенным недостатком данного метода в целом является высокая агрессивность стекольных расплавов (особенно фосфатных) по отношению к большинству конструкционных материалов, что предполагает использование дорогостоящих печей при производстве. Другой немало-

важный недостаток — высокие энергетические затраты при плавлении стекла с радиоактивными компонентами в течении продолжительного времени и высоких температурах.

При твердофазном синтезе основными этапами являются получение порошков заданного состава, формирование заготовок и высокотемпературная консолидация. Для консолидации порошков применяют горячее прессование и холодное прессование с последующим спеканием.

В отличие от технологии плавления в печи, гидротермальный синтез осуществлять реакции между веществами при температурах до 800°C), однако важным препятствием к широкому использованию данной технологии является синтезирование продукта при довольно высоком давлении, достигающим нескольких тысяч атмосфер.

При самораспространяющемся высокотемпературном синтезе, или другими словами в режиме твердопламенного горения, происходит самопроизвольное распространение зоны твердофазной реакции в спрессованных в горючей смеси (горение предварительно смешанных реагентов) или распространение пламени с высокотемпературной волной горения. К преимуществам технологии СВС следует отнести простоту аппаратного исполнения, сравнительно малые энергозатраты и т.д. [9].

Кроме того, СВ-синтез характеризуется такой уникальной особенностью, как существование в течение протекания взаимодействия высокотемпературной среды, допускающей различные типы дополнительных внешних воздействий, посредством которых представляется регулирование структуры и свойств конечных продуктов, т.е. позволяет получать новые материалы с требуемым набором свойств.

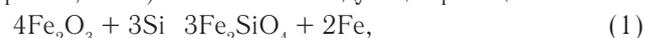
Важной чертой СВС-технологии применительно к проблеме иммобилизации ВАО являются также высокие скорости процесса, что должно приводить к значительному снижению потерь легколетучих компонентов за счет уменьшения времени нахождения последних в зоне высоких температур.

Существует большое количество реакций для получения матриц требуемого состава. Отличаются они друг от друга составом исходной шихты, начальными соотношениями элементов, количеством стабилизирующих добавок, типом технологического процесса, в зависимости от этого процессы идут при разных условиях (температурах горения, тепловыделение, скорости распространения волны горения), а в итоге получают различные минералы по составу, структуре и разными изоморфными свойствами по отношению к радиоактивным отходам.

В состав шихты включают энергообразующие компоненты: горючее в виде порошков металлов и кислородосодержащие окислители, в количестве, обеспечивающем полное окисление металла, а также не участвующие в энерговыделении окисидные добавки, позволяющие реализовать оптимальные режимы горения (например, для понижения температуры горения) и являющимся структурообразующим материалом. Металлокерамическую

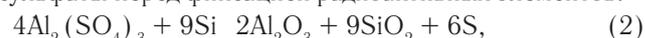
шихту готовят из компонентов ряда s-, p-, d-, f-элементов и их оксидов. Выбор конкретных компонентов и их количество определяется конечным составом продуктов металлотермического процесса и возможностью реализации синтеза металлокерамики в требуемом режиме. В приготовленную шихту, содержащую неорганические связующие, вводят высокоактивные отходы в виде оксидов, металлов или их смесей. Количество вводимых отходов определяется конечным составом металлокерамики и сохранением термичности шихты в пределах, обеспечивающих зажигание и горение в требуемом режиме. Все компоненты шихты содержат элементы, входящие в состав целевого продукта. Стартовый состав шихты следует выбирать так, чтобы компоненты были в соотношении близком к расчетному составу целевого продукта.

Первая работа, которую можно найти в литературе (Spector, 1968) основана на следующей реакции:



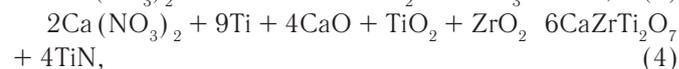
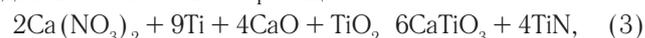
Результатом которой являлось получение полисиликатной системы, предназначенной для надежной иммобилизации отходов. РАО, используемы в данной эксперименте, представляли собой водные растворы, были подвержены выпариванию, сушке и денитрификации для перевода в оксидную форму. Далее, в соответствии с реакцией (1), к оксиду Fe_2O_3 добавлялся порошок Si и смесь подвергалась СВ-синтезу. Иногда в эту смесь вводился оксид кремния с целью управления скоростью реакции и составом продуктов синтеза.

Другим вариантом получения отвержденной формы радиоактивных отходов с использованием технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза является методика, описанная Spector с коллегами в 1968 г. Главным отличием, являлся перевод всех солей в сульфаты перед фиксацией радиоактивных элементов:



с получением полисиликатная структура для иммобилизации отходов.

Российские ученые рассмотрели возможность прямого включения радиоактивных отходов в структуры цирконолита и перовскита с применением технологии СВС-компактирования [10]. Порошки оксидов титана, кальция, циркония и титана разбавлялись инертными добавками изотопов ^{90}Sr и ^{137}Cs — имитаторов радиоактивных отходов. В соответствии с реакциями:



в данную шихту вводились нитрид кальция, алюминия и оксида кремния. Исходная смесь подвергалась поджигу и одновременно компактировалась в специальных прессформах.

При синтезировании матрицы по реакции (3) образуется перовскитное соединение, замена TiO_2 в исходной смеси на ZrO_2 приводит к образованию цирконолитных фаз, согласно реакции 4. Исследования показали возможность замещение изотопом ^{90}Sr кальция в син-

тезируемой перовскитной керамике. С другой стороны, цезий остается включенным в некристаллическую фазу из оксидов кремния и алюминия.

Определение скоростей выщелачивания данных имитаторов радиоактивных нуклидов из синтезированных матриц показали более высокую химическую устойчивость по сравнению с широко используемыми технологиями обращения с РАО, например, включение радиоактивных отходов в различные стекла.

В настоящее время ученые Томского политехнического университета проводят исследования матричного материала для иммобилизации РАО, получаемого в ре-

жиме СВС на основе алюминиды никеля. К достоинствам данного материала можно отнести высокую термическую и коррозионную стойкость, хорошую радиационную стойкость, повышающуюся с ростом температуры, способность протекания СВ-реакции при высоких степенях разбавления трансурановыми элементами (до 60%). Кроме всего прочего, при использовании никель-алюминиевой матрицы, алюминий способен связываться с некоторыми актиноидами элементами, например, с плутонием, с образованием алюминидов, так же обладающими низкими скоростями выщелачивания и высокой коррозионной стойкостью.

Литература:

1. Скачек, М.А. Обращение с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами АЭС. — М.: ИД МЭИ, 2007.
2. Дмитриев, С.А., Стефановский С.В. Обращение с радиоактивными отходами. — 2000.
3. Соболев, И.А., Ожован М.И., Щербатова Т.Д. Стекла для радиоактивных отходов. — М.: Энергоатомиздат, 1999.
4. Стефановский, С.В. и др. Керамика для иммобилизации актиноидных отходов // Вопросы радиац. безопасности. — 2002. — № 1. — с. 15–27.
5. Стефановский СВ., Князев О.А., Юдинцев СВ., Никонов Б.С., Омеляненко Б.И., Дей Р.А., Вэнс Е.Р. Синтез и характеристика материала Synroc, полученного индукционным плавлением в холодном тигле. // Перспективные материалы, 1997. № 2.
6. Петров, Ю.Б. Индукционная плавка окислов. — Л.: Энергоатомиздат. — 1983.
7. Sobolev LA., Lifanov F.A., Dmitriev S.A., et.al. Vitrification of Radioactive Wastes by Coreless Induction Melting in Cold Crucible // Proceeding of the International Topical Meeting on Nuclear and Hazardous Waste Management SPECTRUM'94, August 14–18, 1994, Atlanta, GA. ANS, La Grange Park. — 1994.
8. Князев, О.А., Лифанов Ф.А., Лопух Д.Б., и др. Синтез методом индукционной плавки в холодном тигле минералоподобных материалов, содержащих имитированные радиоактивные отходы // Физика и химия обработки материалов. — 1996. — № 1.
9. Мержанов, А.Г., Боровинская И.П. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез тугоплавких неорганических соединений // Докл. АН СССР. — 1972. — Т. 204. — № 2. — с. 366–369.
10. Барина, Т.В. и др. Использование технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза для иммобилизации высокоактивных отходов в минералоподобную керамику. Иммобилизация цезия в керамике на основе перовскита и цирконолита // Радиохимия. — 2008. — Т. 50. — № 3. — с. 274–278.

Уравнения движения почвенных частиц по рабочей поверхности

Азизов Бахтиёр Абдувохидович, преподаватель;
Тошев Илёс Идибекович, старший преподаватель
Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

В плоскости Π введем прямоугольную правую систему координат xOy , неподвижную относительно рыхлительной лапы;

Обозначим через M_s текущую (т.е. имеющую криволинейную абсциссу $s=s(t)$) точку траектории L .

$$\alpha = \alpha(s) = (\alpha x; \tau(s))$$

и рассмотрим направленный вертикально вниз единичный вектор g^0 . Он компланарен плоскости Π и допускает поэтому разложение по базису (τ, ν) т.е. представим в виде

$$\bar{g}^0 = \lambda \tau + \mu \nu, \quad (1)$$

где λ и μ - его проекции на числовые оси, ортами которых служат τ и ν легко видеть, что (рис. 1)

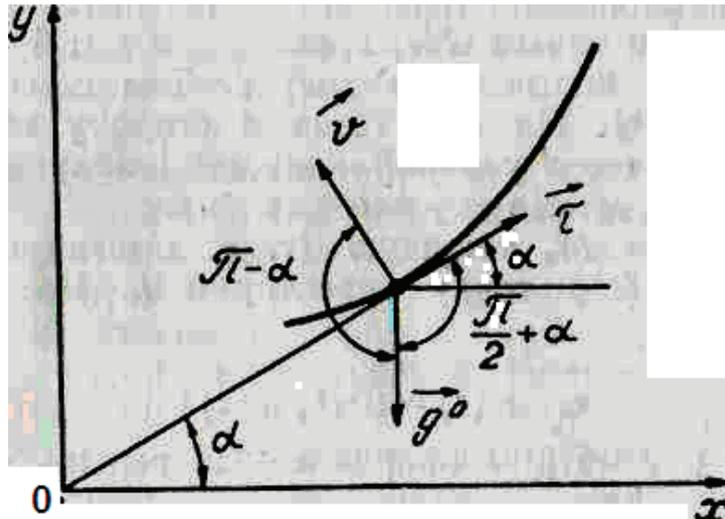


Рис. 1

$$(\vec{g}^0; \vec{\tau}) = \frac{\pi}{2} + \alpha,$$

$$(\vec{g}^0; \vec{\vartheta}) = \pi - \alpha,$$

следовательно,

$$\lambda = |\vec{g}_0| \cos\left(\frac{\varphi}{2} + \alpha\right) = -\sin \alpha, \tag{2}$$

$$\mu = |\vec{g}_0| \sin(\pi - \alpha) = -\cos \alpha, \tag{3}$$

Из (1),(2),(3) следуют, что

$$\vec{g}^0 = -(\vec{\tau} \sin \alpha + \vec{\nu} \cos \alpha), \tag{4}$$

Значит

$$\vec{g} = -g(\vec{\tau} \sin \alpha + \vec{\nu} \cos \alpha), \tag{5}$$

где $g=9,81 \text{ м/с}^2$. На основании (5) уравнение траектории почвенных частиц

$$m\ddot{s}\vec{\tau} + \frac{mv^2}{\rho}\vec{\vartheta} = -mg(\sin \alpha \cdot \vec{\tau} + \cos \alpha \cdot \vec{\vartheta}) + N\vec{n} - (fN + \lambda m \vartheta^2)\vec{\tau}. \tag{6}$$

Траектория L почвенного комка, движение которого описывается уравнением (6), является геодезической линией поверхности S . Поэтому в каждой точке кривой L , т. е. в течение всего движения

$$\vec{n} = \vec{\nu}. \tag{7}$$

В силу (7), соотношение (6) обретает форму

$$m\ddot{s}\vec{\tau} + \frac{mv^2}{\rho}\vec{\vartheta} = -mg(\sin \alpha \cdot \vec{\tau} + \cos \alpha \cdot \vec{\vartheta}) + N\vec{\nu} - (f \cdot N + \lambda m \vartheta^2)\vec{\tau}. \tag{8}$$

или, что то же,

$$m\ddot{s}\vec{\tau} + \frac{mv^2}{\rho}\vec{\vartheta} = (-mg \sin \alpha - fN - \lambda m \vartheta^2)\vec{\tau} + (-mg \cos \alpha + N)\vec{\vartheta}. \tag{9}$$

Ввиду неколлинеарности векторов $\vec{\tau}$ и $\vec{\vartheta}$ любое соотношение вида $a_1\vec{\tau} + b_1\vec{\nu} = a_2\vec{\tau} + b_2\vec{\nu}$, где a_1, a_2, b_1, b_2 , - скаляры, эквивалентно совокупности двух равенств

$$\begin{cases} b_1 = b_2 \\ a_1 = a_2 \end{cases}$$

отсюда следует, что уравнение (10) равносильно ($\ddot{s} = \dot{\vartheta}$) системе

$$m\dot{\nu} = -mg \sin \alpha - fN - \lambda m \nu^2, \tag{10}$$

$$\frac{mv^2}{\rho} = -mg \cos \alpha + N. \tag{11}$$

В ней ρ и α связаны соотношением $\rho = \left(\frac{d\alpha}{ds}\right)^{-1}$

Поэтому полной системой дифференциальных уравнений, описывающих движение почвенной частицы по рабочей поверхности рыхлительной лапы, будет

$$\left\{ m \frac{dv}{dt} = -mg \sin \alpha - fN - \lambda mv^2, \right. \tag{12}$$

$$\left\{ \frac{mv^2}{\rho} = -mg \cos \alpha + N. \right. \tag{13}$$

$$\left\{ \rho = \left(\frac{d\alpha}{ds} \right)^{-1}, \right. \tag{14}$$

или

$$\left\{ m\ddot{s} = -mg \sin \alpha - fN - \lambda ms^2, \right. \tag{15}$$

$$\left\{ \frac{ms^2}{\rho} = -mg \cos \alpha + N. \right. \tag{16}$$

$$\left\{ \rho = \left(\frac{d\alpha}{ds} \right)^{-1}, \right. \tag{17}$$

где $g, f, \lambda, m = \text{const} > 0$

Система (12), (14) (или, что равносильно, (15–16) состоит из трех независимых друг от друга уравнений, содержащих четыре функции, следовательно, если одна из них задана, то остальные три могут быть определены. Выбор задаваемой функции зависит от проблемы, для исследования которой будут использованы соотношения (12–14).

Применение прямой задачи динамики к определению рабочей поверхности рыхлительной лапы

Азизов Бахтиёр Абдувохидович, преподаватель;
Тошев Илёс Идибекович, старший преподаватель
Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

Закон движения почвенной частицы по рабочей поверхности рыхлительной лапы имеет вид $s = \dot{f}(t)$; (1)

здесь $f(t) \in \mathbb{R}^1$, причем $f(t)$ строго возрастает. Отсюда следует, что равенство (1) разрешимо относительно t , т. е.

$t = g(s)$, (2)

где g — обратная к f функция; при этом $g \in \mathbb{R}^1$ (3)

на основании теоремы о дифференцируемости обратной функции. В силу (2) соотношение $v = v(t)$ преобразуется следующим образом:

$v = v(g(s))$. (4)

Отсюда вытекает, что линейная скорость v почвенного комка при его движении по рабочей поверхности представима и в виде функции криволинейной абсциссы s . Там, где это не может стать причиной неясности, будем писать $v(s)$ вместо правой части (3) и под v подразумевать $v(s)$, если аргументом служит s . Из (5), (3), (4) и теоремы о производной сложной функции следует, что $v(s) \in \mathbb{R}^1$, причем $(t) = \left| \frac{ds}{dt} \right|$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{dv}{ds} \cdot \frac{ds}{dt} = v \frac{dv}{ds} = \frac{1}{2} \cdot \frac{dv^2}{ds} \tag{5}$$

на основании (5) система дифференциальное уравнение равносильна

$$\frac{1}{2} m \frac{dv^2}{ds} = -mg \sin \alpha - fN - \lambda mv^2, \tag{6}$$

$$\frac{mv^2}{\rho} = -mg \cos \alpha + N \tag{7}$$

где аргументом каждой функции служит s . В случае прямой задачи α и ρ заданы, следовательно, неизвестными в системе (6)... (7) являются v и N . Образуя линейную комбинацию уравнений (6) и (7) с коэффициентами 1 и f , получим дифференциальное уравнение первого порядка

$$\frac{1}{2} \frac{dv^2}{ds} + f \frac{v^2}{\rho} = -g(\sin \alpha + f \cos \alpha) - \lambda v^2, \tag{8}$$

содержащее только искомую функцию v . Чтобы привести его к нормальной форме, введем угол трения почвы о рабочую поверхность рыхлительной лапы. Обозначим его величину через φ . Тогда $tg \varphi = f$. (9)

В силу (9)

$$\sin \alpha + f \cos \alpha = \frac{\sin(\alpha + \varphi)}{\cos \varphi}. \tag{10}$$

На основании (10) уравнение (8) примет вид

$$\frac{dv^2}{ds} + 2\left(\lambda + \frac{f}{\rho(s)}\right)v^2 = -\frac{2g}{\cos \varphi} \sin(\varphi + \alpha(s)), \tag{11}$$

В уравнение (11) входят, помимо v , только функции $\alpha(s)$ и $\rho(s)$, однозначно определяемые заданием направляющей линии; оно содержит также, кроме g , лишь постоянные f , $\varphi = \arctg f$ и λ , с помощью которых описываются силы сопротивления перемещению комков почвы. Отсюда следует, что распределение линейных скоростей почвенных частиц, перемещающихся по рабочей поверхности рыхлительной лапы во время выполняемого ею рабочего процесса, зависит только от формы этой поверхности, и параметров, характеризующих диссипацию энергии движущихся частиц.

Соотношение (1) — линейное относительно v^2 дифференциальное уравнение первого порядка. Для упрощения записей положим

$$\rho(s) = \alpha \left(\lambda + \frac{f}{\rho(s)} \right) \tag{12}$$

$$q(s) = -\frac{2g}{\cos \varphi} \sin(\varphi + \alpha(s)), \tag{13}$$

Тогда равенство (11) примет форму

$$\frac{dv^2}{ds} + \rho(s)v^2 = q(s), \tag{14}$$

Чтобы установить начальное условие, которому удовлетворяет функция $v(s)$ при $s=0$, примем во внимание следующее из условий квазистационарности следует, что до соударения с поверхностью S скорость почвенной частицы в системе координат K равна v_0 ; вектор v_0 компланарен плоскости направляющей L . При столкновении комка с рабочей поверхностью S нормальная к S составляющая его скорости относительно лапы обращается в нуль, а касательная к S и, следовательно, к линии L составляющая сохраняется, становясь начальной скоростью его дальнейшего движения. Поэтому

$$v \Big|_{s=0} = v_0 \cos \alpha(0) \tag{15}$$

следовательно, ввиду неотрицательности обеих частей (15)

$$v^2 \Big|_{s=0} = v_0^2 \cos^2 \alpha(0). \tag{16}$$

Решение линейного дифференциального уравнения

$$Y' + p(x)Y = q(x) \tag{17}$$

удовлетворяющее начальному условию

$$Y \Big|_{x=0} = Y_0 \tag{18}$$

И вытекает следующая общая формула для вычисления нормального давления почвы на рабочую поверхность рыхлительной лапы во время рабочего процесса

$$N = m \left[g \cos \alpha(s) + \frac{l^{-2fa(s)}}{p} \left[v_0^2 l^{2fa(0)} \cos^2 \alpha(0) - \frac{2g}{\cos \varphi_1} \int_0^s l^{2fa(\xi)} \sin(\varphi_1 + \alpha(\xi)) d\xi \right] \right] \tag{19}$$

Литература:

1. Байметов, Р.И., Флайшер Н.М. Оптимизация параметров рабочих органов почвообрабатывающих машин. Тошкент 1991 г.

Биомодификация модельного фарша стартовыми культурами

Акопян Кристина Валерьевна, студент;
Кенийз Надежда Викторовна, кандидат технических наук, старший преподаватель
Кубанский государственный аграрный университет (г. Краснодар)

Руководствуясь экспериментальными данными по воздействию электромагнитного поля низких частот (ЭМП НЧ) на микрофлору [3, 790], установлено, что ЭМП НЧ способно интенсифицировать рост микрофлоры. На сегодняшний день нет четких данных по изучению влияния ЭМП НЧ на стартовые культуры и на динамику физико-химических, биологических и микробиологических процессов, характерных для технологии производства сырокопченых колбас.

Целью данной работы является исследования необходимой дозы вносимых обработанных ЭМП НЧ стартовых культур на свойство модельных фаршей типа сырокопченых колбас.

По рекомендации производителя стартовые культуры Альми 2 применяются из расчета 20 г на 100 кг фарша. По предварительным данным [4, 96], полученным при подборе оптимальных частот для активации стартовых культур, было доказано, что обработка микрофлоры с частотой 45 Гц в течение 60 минут интенсифицирует рост микрофлоры. В связи с этим, для определения оптимальной дозы вносимых стартовых культур нами были взяты следующие соотношения из расчета на 100 кг фарша: 20 г — служили в качестве контроля, в опытные образцы вносили 17,5; 15; 12,5; 10 г на 100 кг фарша. Динамику роста микрофлоры проверяли при выдержке модельного фарша при температуре 20 °С в течение 12 часов. Результаты исследований представлены в таблице 1.

Установлено, что при внесении 12,5 и 10 г обработанных стартовых культур не наблюдается оптимального развития микрофлоры в сравнении с контролем. При внесении 17,5 и 15 г обработанных стартовых культур наблюдается активное развитие микрофлоры по сравнению с контролем. Известно, что слишком активный рост микрофлоры может привести к быстрому снижению pH и, как следствие, к закислению фарша, поэтому нами было определено внесение в фарш 15 г обработанных ЭМП

НЧ стартовых культур, что с экономической и технологической точки зрения наиболее эффективно.

Для определения степени действия на функционально-технологические свойства модельной системы активированные стартовые культуры вносили в модельный фарш, перемешивали и выдерживали в течение 12 часов при температуре 3 ± 1 °С.

Результаты изменения влагосвязывающей способности модельных фаршей представлены на рисунке 1.

Из представленных данных видно, что контрольный образец модельного фарша без добавления стартовых культур обработанных ЭМП НЧ по влагосвязывающей способности превосходит опытный образец модельного фарша. Показатель влагосвязывающей способности опытного образца составляет 75,8%, что на 2,0% ниже контрольного показателя, который составляет 77,8%.

Влагодерживающая способность определяет выход готовой продукции за счет связывания влаги [5, 220]. Результаты исследования влагосвязывающей способности модельного фарша после внесения стартовых культур представлена на рисунке 2.

Представленные результаты свидетельствуют о том, что при внесении в модельный фарш обработанных стартовых культур ЭМП НЧ и выдержке его в течение 12 часов при температуре 3 ± 1 °С способствует уменьшению ВУС модельного фарша на 1,8% по отношению к контролю.

Липкость мясного сырья обуславливается накоплением солеорастворимых белков на поверхности мяса [6, 225]. Результаты исследований липкости модельного фарша представлены на рисунке 3.

Исследования липкости модельных фаршей показали, что при внесении обработанных стартовых культур ЭМП НЧ липкость увеличивается на 15,3%. Мы считаем, что, вероятно, это связано с активацией внутриклеточных ферментов вследствие накопления молочной кислоты, вырабатываемой стартовыми культурами. Полученные нами

Таблица 1. Динамика роста микрофлоры после обработки ЭМП НЧ на модельном фарше

№ п/п	Количество стартовых культур на г/100 кг фарша	Продолжительность, ч				
		0	3	6	9	12
		Количество клеток, КОЕ/г				
1	20 контроль	$4,8 \times 10^5$	$5,7 \times 10^5$	$6,7 \times 10^5$	$8,7 \times 10^5$	$1,0 \times 10^6$
2	17,5	$5,2 \times 10^5$	$6,8 \times 10^5$	$8,1 \times 10^5$	$1,7 \times 10^6$	$2,4 \times 10^6$
3	15	$4,9 \times 10^5$	$6,1 \times 10^5$	$7,4 \times 10^5$	$9,5 \times 10^5$	$1,6 \times 10^6$
4	12,5	$4,1 \times 10^5$	$4,7 \times 10^5$	$5,8 \times 10^5$	$7,1 \times 10^5$	$8,2 \times 10^5$
5	10	$3,7 \times 10^5$	$4,1 \times 10^5$	$4,7 \times 10^5$	$5,2 \times 10^5$	$6,1 \times 10^5$

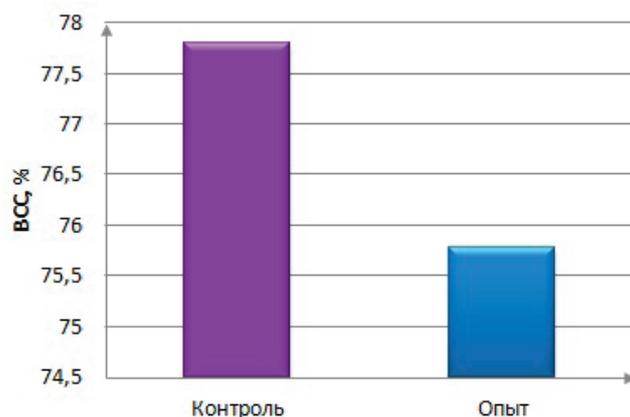


Рис. 1. Влагосвязывающая способность модельных фаршей

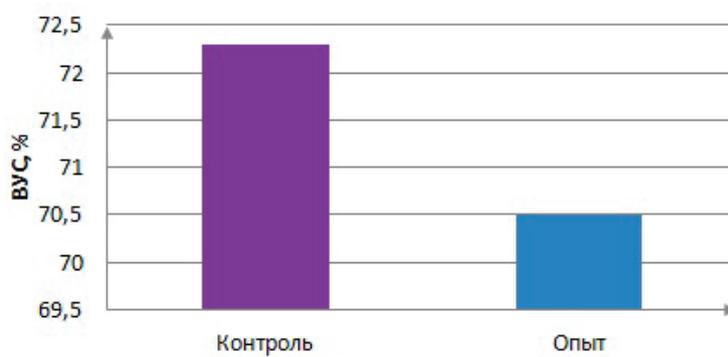


Рис. 2. Влагодерживающая способность модельных фаршей

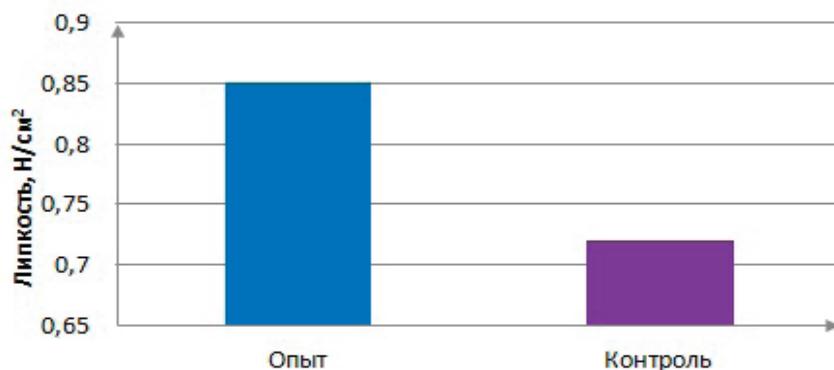


Рис. 3. Липкость фарша при внесении стартовых культур

положительные результаты исследований влияния ЭМП НЧ на ВСС, ВУС и на липкость модельных фаршей также свидетельствуют о более эффективной работе стартовых культур, подвергнутых активации при помощи ЭМП НЧ.

Одно из важнейших значений имеет протеолитическая активность используемых стартовых культур. Она определяется степенью расщепления белков мяса. Данный принцип способствует повышению качественных характеристик мясного сырья [7, 94; 8, 778]. Протеолитическая активность ферментов подразумевает изменение количества белка в конечном продукте. Таким образом, следу-

ющим этапом работы стало изучение фракционного состава белка модельных фаршей (табл. 2).

Полученные нами данные свидетельствуют об увеличении водорастворимой фракции в модельном фарше с применением стартовых культур активированных ЭМП НЧ, подтверждая более эффективную работу ферментов. Накопление водорастворимой фракции и свободно связанной влаги в фарше при производстве сырокопченых колбас способствует эффективной сушке колбасных изделий за счет перехода прочно связанной влаги в слабо связанную влагу [9, 76–77; 10, 77].

Таблица 2. Фракционный состав модельных фаршей

Показатель	Образцы фаршей			
	Опыт		Контроль	
	До био-модификации	После био-модификации	До био-модификации	После био-модификации
Водорастворимая фракция, %	2,9	4,2	2,9	3,6
Солеорастворимая фракция, %	13,3	12,8	13,3	12,9
Нерастворимая (щелочерастворимая) фракция, %	3,9	3,4	3,9	3,6

Выводы. Установлено, что обработка стартовых культур препарата Альми-2 частотой 45 Гц в течение 60 мин, стимулирует их рост: при внесении обработанных

ЭМП НЧ стартовых культур в модельный фарш снижается ВСС — с 81,78% до 77,80%, ВУС — на 4,8%, увеличивается липкость фарша — на 15,3%.

Литература:

1. Шхалахов, Д. С. Исследование биологической ценности сырокопченой колбасы / Д. С. Шхалахов, А. А. Нестеренко, Д. К. Нагарокова // Труды Кубанского государственного аграрного университета. — 2014. — № 51. — с. 148–152.
2. Шхалахов, Д. С. Изучение биомодификации мясного сырья стартовыми культурами / Д. С. Шхалахов, А. А. Нестеренко, Д. К. Нагарокова // Труды Кубанского государственного аграрного университета. — 2014. — № 51. — с. 145–148.
3. Нестеренко, А. А. Применение консорциумов микроорганизмов для обработки мясного сырья в технологии колбасного производства [Текст] / А. А. Нестеренко, Д. С. Шхалахов // Молодой ученый. — 2014. — № 13. — с. 71–75.
4. Шхалахов, Д. С. L'intensification de la technologie des saucissons fumés [Текст] / Д. С. Шхалахов, А. А. Нестеренко // Молодой ученый. — 2015. — № 2. — с. 233–238.
5. Шхалахов, Д. С. Use of electromagnetic processing in technology smoked sausages [Текст] / Д. С. Шхалахов, А. А. Нестеренко // Молодой ученый. — 2015. — № 2. — с. 229–233.
6. Нагарокова, Д. К. Stimulation of growth of starting cultures by an electromagnetic field [Текст] / Д. К. Нагарокова, А. А. Нестеренко // Молодой ученый. — 2015. — № 2. — с. 182–185.
7. Нагарокова, Д. К. Studying of action of starting cultures on meat raw materials [Текст] / Д. К. Нагарокова, А. А. Нестеренко // Молодой ученый. — 2015. — № 2. — с. 178–182.
8. Интенсификация процесса изготовления сырокопченых колбас (инновационные технологии): монография / Н. В. Тимошенко, А. М. Патиева, А. А. Нестеренко, Н. В. Кенийз. — Краснодар: КубГАУ, 2015. — 163 с.
9. Нестеренко, А. А. Исследование биологической ценности колбасных изделий с применением новой технологии / А. А. Нестеренко, К. В. Акопян // Вестник Казанского государственного аграрного университета. — 2014. — № 3 (33) — с. 91–94.
10. Нестеренко, А. А. Функциональные мясные продукты, получаемые при помощи биомодификации [Текст] / А. А. Нестеренко, Д. С. Шхалахов // Молодой ученый. — 2014. — № 13. — с. 76–79.
11. Нестеренко, А. А. Разработка технологии производства сырокопченых колбас с применением электромагнитной обработки мясного сырья и стартовых культур: дис... канд. техн. наук: 05.18.04 / Нестеренко Антон Алексеевич. — Воронеж, 2013. — 185 с.
12. Нестеренко, А. А. Выбор и исследование свойств консорциума микроорганизмов для обработки мясного сырья / А. А. Нестеренко, К. В. Акопян // Науч. журн. КубГАУ [Электронный ресурс]. — Краснодар: КубГАУ, 2014. — № 07 (101). с. 1702–1720. — Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/07/pdf/111.pdf>.
13. Нестеренко, А. А. Биомодификация мясного сырья с целью получения функциональных продуктов / А. А. Нестеренко, К. В. Акопян // Науч. журн. КубГАУ [Электронный ресурс]. — Краснодар: КубГАУ, 2014. — № 07 (101). с. 1721–1740. — Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/07/pdf/112.pdf>.
14. Нестеренко, А. А. Инновационные методы обработки мясной продукции электромагнитно-импульсным воздействием [Текст] / А. А. Нестеренко, А. И. Решетняк // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. — Мичуринск, 2011. — № 1. — с. 148–151.

15. Нестеренко, А. А. Физико-химические показатели сырья после внесения стартовых культур [Текст] / А. А. Нестеренко, К. В. Акопян // Молодой ученый. — 2014. — № 8. — с. 219–221.
16. Бибко, Д. А. Применение инновационных энергосберегающих технологий / Д. А. Бибко, А. И. Решетняк, А. А. Нестеренко. — Германия: Palmarium Academic Publishing, 2014. — 237 с.
17. Nesterenko, A. A. The impact of starter cultures on functional and technological properties of model minced meat / A. A. Nesterenko // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. — 2014. — № 4 (7–8). — pp. 77–80.
18. Nesterenko, A. A. Activation of starter cultures induced by electromagnetic treatment [Text] / A. A. Nesterenko, A. I. Reshetnyak // European Online Journal of Natural and Social Sciences. — 2012. — Vol.1, № 3. — P. 45–48.
19. Timoshenko, N. V. Significance of electromagnetic treatment in production technology of cold smoked sausage / N. V. Timoshenko, A. A. Nesterenko, A. I. Reshetnyak // European Online Journal of Natural and Social Sciences 2013. — vo2, No.2, C 248–252.
20. Нестеренко, А. А. Функционально-технологические показатели сырья после внесения стартовых культур [Текст] / А. А. Нестеренко, К. В. Акопян // Молодой ученый. — 2014. — № 8. — с. 223–226.
21. Нестеренко, А. А. Применение стартовых культур в технологии производства ветчины / А. А. Нестеренко, Ю. А. Зайцева // Вестник Казанского государственного аграрного университета. — 2014. — № 1 (31) — с. 65–68.
22. Нестеренко, А. А. Применение стартовых культур в технологии сырокопченых колбас [Текст] / А. А. Нестеренко, К. В. Акопян // Молодой ученый. — 2014. — № 8. — с. 216–219.
23. Акопян, К. В. Формирование аромата и вкуса сырокопченых колбас [Текст] / К. В. Акопян, А. А. Нестеренко // Молодой ученый. — 2014. — № 7. — с. 93–95.
24. Нестеренко, А. А. Биологическая ценность и безопасность сырокопченых колбас с предварительной обработкой электромагнитным полем низких частот стартовых культур и мясного сырья / А. А. Нестеренко, К. В. Акопян // Науч. журн. КубГАУ [Электронный ресурс]. — Краснодар: КубГАУ, 2014. — № 05 (099). — с. 772–785. — Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/05/pdf/52.pdf>.
25. Нестеренко, А. А. Электромагнитная обработка мясного сырья в технологии производства сырокопченой колбасы // Наука Кубани. 2013. — № 1. — с. 41–44.
26. Нестеренко, А. А., Пономаренко, А. В. Использование электромагнитной обработки в технологии производства сырокопченых колбас // Вестник НГИЭИ. — 2013. — № 6 (25). — с. 74–83.
27. Нестеренко, А. А. Изучение действия электромагнитного поля низких частот на мясное сырье [Текст] / А. А. Нестеренко, К. В. Акопян // Молодой ученый. — 2014. — № 4. — с. 224–227.
28. Нестеренко, А. А. Влияние активированных электромагнитным полем низких частот стартовых культур на мясное сырье / А. А. Нестеренко, Е. Г. Горина // Науч. журн. КубГАУ [Электронный ресурс]. — Краснодар: КубГАУ, 2014. — № 05 (099). — с. 786–802. — Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/05/pdf/53.pdf>.
29. Нестеренко, А. А. Влияние электромагнитного поля на развитие стартовых культур в технологии производства сырокопченых колбас [Текст] / А. А. Нестеренко // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. — Мичуринск, 2013. — № 2 — с. 75–80.

Экспериментальная проверка и экономический расчет энергосбережения за счет применения компактных энергосберегающих ламп

Аксёнова Наталия Валерьевна, старший преподаватель;
 Могунов Александр Евгеньевич, студент;
 Шепетовский Денис Владимирович, старший преподаватель
 Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Ключевые слова: энергосбережение, экономия, кризис, затраты, Россия.

В 21 веке мы уже не представляем свою жизнь без источников искусственного освещения. Тенденция к энергосбережению, которая так характерна была для стран Европы, теперь приобрела популярность и в России: экономический кризис и его последствия отразились на

всеобщей экономии средств и переходе к использованию энергосберегающих технологий. С начала 2011 года в России прекращено производство ламп накаливания мощностью 100 Вт и выше. Экономия электроэнергии — главная характеристика, которая отличает энергосберега-

ющие лампы от традиционных ламп накаливания. Однако, часто можно услышать, что переход на энергосберегающие лампы на самом деле выгоден только производителям этих ламп, так как они намного дороже, а служат столько же, сколько и лампы накаливания, да еще и ухудшают качество электроэнергии за счет сдвига фаз. Именно это утверждение необходимо было подтвердить или опровергнуть в ходе проведения работы, в которой мы сделаем попытку экспериментальным путём сравнить энергосберегающие лампы и обычные лампы накаливания, эквивалентные по мощности, по двум признакам: мощности и уровня освещённости, который они дают.

«Лампа накаливания — электрический источник света, в котором тело накала (тугоплавкий проводник в виде нити или спирали) нагревается до высокой температуры за счёт протекания через него электрического тока. Спираль защищена прозрачной колбой, в которой создан вакуум или находится инертный газ. В результате нагрева тело накала даёт широкий спектр света, в том числе и видимый свет. В качестве тела накала в настоящее время используется в основном спираль из сплавов на основе вольфрама. В лампе накаливания используется эффект нагревания проводника (тела накаливания) при протекании через него электрического тока. Для получения видимого излучения необходимо, чтобы температура была порядка нескольких тысяч градусов, в идеале 5770 К (температура поверхности Солнца). Чем меньше температура, тем меньше доля видимого света и тем более «красным» кажется излучение» [1]. Основная доля излучения приходится на инфракрасное излучение, лишь ее малая часть лежит в области видимого света. В современных лампах накаливания применяют материалы с максимальными температурами плавления — вольфрам (3410 С) и, очень редко, осмий (3045 С). В обычном воздухе при таких температурах вольфрам мгновенно превратился бы в оксид. По этой причине тело накала помещено в колбу, заполненную инертным газом (азотом, аргоном или криптоном). Повышенное давление в колбе газонаполненных ламп резко уменьшает скорость испарения вольфрама, благодаря чему не только увеличивается срок службы лампы, но и есть возможность повысить темпе-

ратуру тела накаливания, что позволяет повысить КПД и приблизить спектр излучения к белому» [1].

«Энергосберегающие лампы — это электрические лампы, состоящие из полый стеклянной трубки, внутри которой находятся пары ртути, а на стенках этой трубки распылено специальное вещество, которое светится под воздействием электромагнитного излучения от паров ртути. Хотя энергосберегающие лампы могут основываться и на других физических принципах, например, светодиодные или люминесцентные лампы линейного типа с пониженным содержанием ртути и меньшим диаметром трубки, в массовом сознании это понятие отождествляется именно с компактными люминесцентными (ртутными) лампами» [1].

Для измерения освещённости используется люксметр. «Принцип действия люксметров основан на явлении фотоэлектрического эффекта (превращения световой энергии в электрическую), которое имеет место при попадании света на поверхность фотоэлемента, включенного в замкнутую цепь с электроизмерительным прибором» [2]. Большинство люксметров состоит из двух частей: первичного преобразователя электромагнитного излучения (фотометрической головки) и электронного блока, который трансформирует информацию первичного преобразователя в конечный результат. Реальная точность выпускаемых в России и в Украине современных люксметров составляет 5—12%.

Итак, цель нашего эксперимента состоит в том, чтобы сравнить энергосберегающие лампы и обычные лампы накаливания по нескольким критериям: мощности ламп и уровню освещённости чтобы выявить целесообразность использования тех или иных ламп. Как известно производитель обещает нам такой же уровень освещения при мощности энергосберегающей лампы в 5 раз меньше, чем у лампы накаливания и при этом экономии средств в долгосрочной перспективу. Поэтому мы постараемся доказать или опровергнуть факты об энергосберегающих лампах. Эксперимент состоит из четырех частей. Также для проведения эксперимента была собрана установка, состоящая из патрона для ламп, вольтметра, амперметра и выключателя.

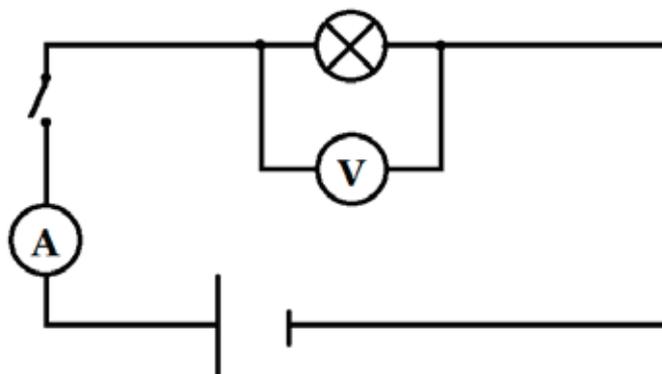


Рис. 1. Установка для эксперимента

– В первой части эксперимента с помощью прибора ЛАТР мы поднимали напряжение, смотрели при каком напряжении лампы начинают потреблять электроэнергию и при каком напряжении загораются, затем мы поднимали напряжение до 220 В и смотрели на амперметре силу тока. После этого мы высчитывали мощность лампы по формуле $P=UI$.

– Во второй части эксперимента мы сравнивали уровень освещённости ламп накаливания и энергосберегающих ламп.

– В третьей части эксперимента мы проводили измерения освещённости.

Производители энергосберегающих ртутных ламп заявляют, что для освещения достаточно ртутной лампы

Таблица 1. Результаты измерений

	Номинальная мощность, Вт	Сила тока, А	Потребляемая мощность, Вт	Напряжение розжига, В	Световой поток, люкс
Лампы накаливания	100	0.4	88		58
	75	0.31	68.2		45
	60	0.23	50.6		30
	40	0.12	26.4		16
Ртутные лампы (теплый свет)	20	0.07	15.4	50	60
	13	0.055	12.1	30	50
	9	0.04	8.8	70	29
Ртутные лампы (холодный свет)	25	0.08	17.6	27	81
	20	0.07	15.4	85	66
	15	0.055	12.1	70	59

мощностью в пять раз меньше [3], чем лампа накаливания. (т.е. вместо 100 Вт лампы накаливания можно использовать ртутную лампу мощностью 20 Вт). Результаты эксперимента показали, что фактическая мощность и ламп накаливания, и энергосберегающих ламп несколько ниже, чем заявлено на упаковке лампочки. Несмотря на это, мощность энергосберегающих ламп действительно меньше ламп накаливания в 5 раз, а в некоторых случаях ещё меньше при одинаковом уровне освещённости, что безусловно лучше для потребителя и его кармана. Более того, лампы холодного света (цветовой температуры 4200 К) показывают существенно более высокий уровень освещённости. Если считать, что энергосберегающая лампа действительно будет работать 8000 часов, а обычная лампа накаливания 1000 часов, как указано в их паспортах, то можно произвести следующие расчёты. Для того, чтобы светить 8000 часов нужно 8 ламп накаливания против 1 энергосберегающей лампы. Если учесть, что в среднем стоимость энергосберегающей лампы 150 рублей, прибавим количество часов работы, то получаем следующее: $150 + 8000 \text{ часов} * 0,02 \text{ кВт} * 2 \text{ рубля/кВтч} = 470 \text{ рублей}$. Та же процедура и по лампе накаливания: $20 \text{ рублей} * 8 \text{ штук} + 8000 * 0,1 \text{ кВт} * 2 \text{ рубля/кВтч} = 1760 \text{ рублей}$. Таким образом: при использовании энергосберегающих ламп мы затратим в 3 раза меньше денежных средств, чем при использовании обычных ламп накаливания.

Циклы розжига энергосберегающей лампы оказывают большее влияние на ее срок службы, чем время непрерывного свечения, поэтому не рекомендуется использовать энергосберегающие лампы там, где они часто включаются и выключаются. «Часто» в данном случае — это

цикл короче, чем 15 минут, что указывается в параметрах лампы. Учитывая, что экономия мощности приблизительно пятикратная, это ведет к необходимости пересмотра некоторых привычек, которые вели к экономии при использовании ламп накаливания, но которые ведут к износу энергосберегающих ламп. Речь идет о выключении света при выходе из комнаты на несколько минут и о включении света на несколько минут. С точки зрения экономии, например, в туалете, энергосберегающую лампу лучше всегда держать включенной: так она отработает свои гарантированные 8000 часов, потребив $20 \times 8000 = 16 \text{ кВтч}$ на 32 рубля + 150 рублей за лампу, 182 рубля. 100-ваттная лампа накаливания при эксплуатации в 1/10 этого периода потребит 80 кВт на 160 рублей + 20 рублей за лампу, почти те же 180 рублей. Отсюда вывод, что энергосберегающие лампы невыгодно использовать там, где они горят менее 1/10 времени.

Учитывая, что энергосберегающая лампа работает по принципу газового разряда, представляет интерес проверить сдвиг фаз между напряжением и током, который теоретически должен быть емкостным. Нами было проведено исследование сдвига фаз на двулучевом осциллографе в лаборатории филиала СФУ в г. Железногорск. Полученные осциллограммы приведены на рисунках А, В. С. Напряжение снималось с ЛАТРа, сила тока — с шунта с сопротивлением 160 Ом. Полученный сдвиг фаз составляет $\pi/20$ и носит ёмкостной характер, т.е. ток идёт впереди напряжения.

Мощность отдельной лампы невелика, а лампы включены параллельно, поэтому сдвиг фаз мал и его не пытаются восполнить. Сдвиг фазы на $\pi/20$ приводит к потере порядка 0,2% мощности. В условиях домашнего

использования экономия электроэнергии за счет перехода от ламп накаливания к компактным энергосберегающим лампам намного больше. Согласно данным в Таблице 1, замена 10 ламп накаливания на энергосберегающий дает экономию около 700 Вт. Типичный уровень потребления редко превышает 10кВт, 0,2% от которых составляет 20 Вт. Отсюда получаем, что экономия от замены 10 ламп будет потеряна, если потре-

бляемая мощность составляет 350 кВт. Наши подсчеты носят приблизительный характер, но и они показывают, что в домашних условиях такая ситуация невозможна. При использовании в промышленности с оборудованием большой мощности, особенно с мощными асинхронными двигателями, чувствительными к сдвигу фазы, возникает необходимость использовать контроллеры коэффициента мощности.

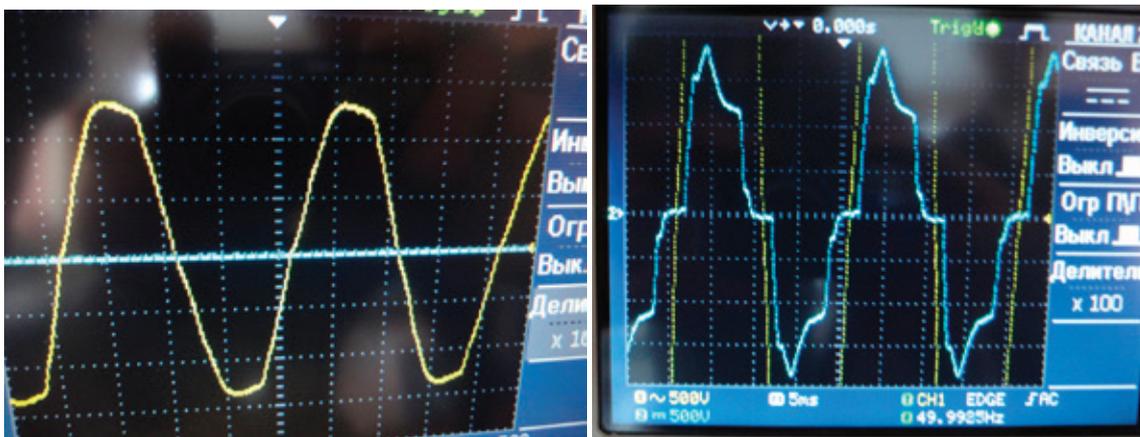


Рис. 2. Сила тока и напряжение перед зажиганием лампы при напряжении 140В



Рис. 3. Сила тока и напряжение в рабочем режиме

Таблица 2. Энергосберегающая лампа (11Вт)

Напряжение (В)	Сила тока (мА)	Мощность (Вт)	Мощность от заявленной
50	2	0,1	0,9%
80	4	0,32	2,9%
100	5	0,5	4,5%
120	6,8	0,816	7,4%
130	7,2	0,936	8,5%
135	50	6,75	61,4%
150	50	7,5	68,2%
200	50	10	90,9%
220	60	11	100,0%

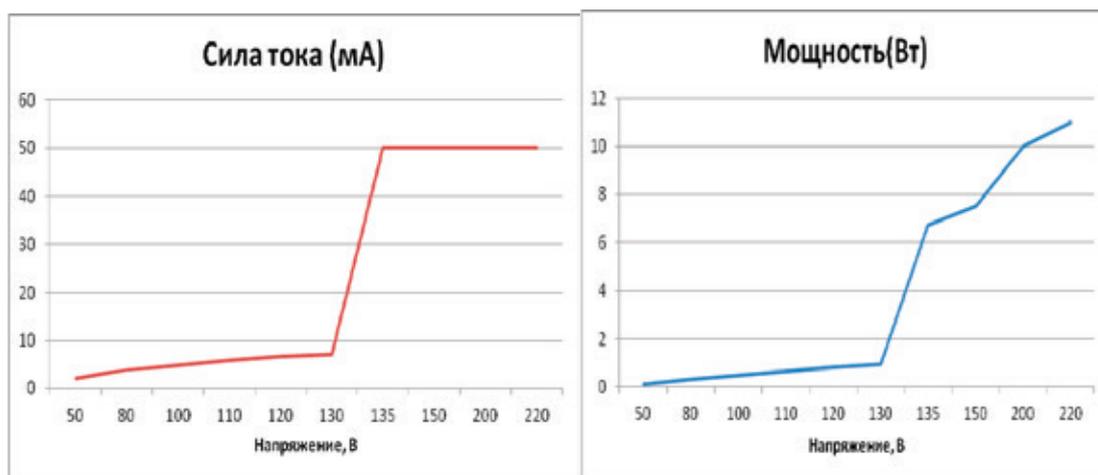


Рис. 4. Сила тока и мощность новой энергосберегающей лампы 11 Вт

Таблица 3. Энергосберегающая лампа (15Вт) — 1 год использования.
(При понижении напряжения погасла при 65В)

Напряжение (В)	Сила тока (мА)	Мощность (Вт)	Мощность от заявленной
50	0	0	0,0%
60	0	0	0,0%
100	0	0	0,0%
140	50	7	46,7%
150	50	7,5	50,0%
160	58	9,28	61,9%
180	58	10,44	69,6%
200	60	12	80,0%
220	60	13,2	88,0%

Из графиков и приведенных таблиц видно, что после года использования лампа, в рабочем режиме, не выходит на заявленную производителем мощность. Этот износ электронных компонентов лампы является одной из причин постепенного снижения светимости компактных люминесцентных ламп. Другой причиной является постепенное опадения люминофора. В обоих случаях видно, что после года использования, вольтам-

перная характеристика и зависимость мощности от напряжением изменяются скачком в районе 120 В. Это делает практически невозможным использование регуляторов освещенности, предназначенных для ламп накаливания. На отрезке от 140 до 220 В мощностные характеристики энергосберегающей лампы напоминают таковые лампы накаливания, то есть, линейную зависимость мощности от напряжения.

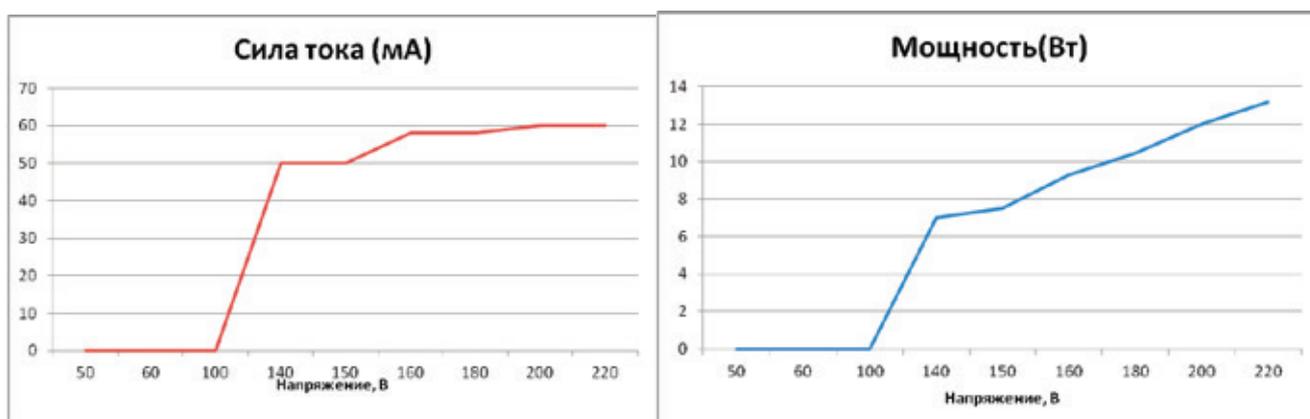


Рис. 5. Сила тока и мощность новой энергосберегающей лампы 14 Вт, 1 год работы

Итак, после проведения эксперимента и проведенного анализа полученных результатов мы убедились, что при сравнении уровня освещенности и мощности ламп, безусловно, выигрывают энергосберегающие лампы. При покупке энергосберегающих ламп, потребитель выигрывает по всем показателям, и помогает экономить энергию, которую теперь можно расходовать на другие нужды. Таким образом, выводы, к которым мы пришли, следующие:

1. Фактическое потребление ламп обоих типов ниже паспортных данных, но дающие одинаковый уровень освещенности энергосберегающие лампы действительно потребляют мощность в пять раз меньше.

2. Потери в связи со сдвигом фаз между напряжением и силой тока в домашних условиях незначительны и ими можно пренебречь.

3. При идеальных условиях эксплуатации (исключающих частые циклы включения-выключения) энергосберегающие лампы экономически эффективнее ламп накаливания примерно в 3 раза, но достижение этого значения требует изменения некоторых привычек домашнего быта: отказ от выключателей плавного включения и привычки выключать свет выходя из комнаты.

Литература:

1. Лампа накаливания — от идеи к воплощению [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://varton.ru/ru/articles/states/lampa-nakalivaniya-ot-idei-k-voploshcheniyu>

2. Люксометры и измерение освещенности. Принцип действия и применение люксометров [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://ecount.com.ua/artikle_103.html

3. Компактная люминесцентная лампа [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://xn—80aafanc4a9azacif0d.xn—p1ai/kl.html>

Исследование работы теплового насоса с регенеративным теплообменником на основе эксергетического анализа

Алджуманов Жан Касенович, магистрант;

Ермоленко Михаил Вячеславович, кандидат технических наук, и.о. доцента;

Степанова Ольга Александровна, кандидат технических наук, доцент;

Тоимбаев Алмас Болатбекович, преподаватель;

Должиков Сергей Александрович, студент

Государственный университет имени Шакарима города Семей (Казахстан)

Актуальность работы. Рациональное использование топливно-энергетических ресурсов представляет собой одну из актуальных проблем. Одним из перспективных путей решения этой проблемы является применение новых энергосберегающих технологий и оборудования, использующих вторичные энергетические ресурсы (ВЭР) и нетрадиционные возобновляемые источники энергии (НВИЭ) [1].

Теплонасосные установки (ТНУ), используя возобновляемую низкопотенциальную энергию окружающей среды и повышая ее потенциал до уровня, необходимого для теплоснабжения, затрачивают в 3–8 раз меньше первичной энергии, чем при сжигании топлива традиционными способами [1].

Повышение эффективности ТН за счет совершенствования их рабочих циклов и схем составляет основу современных исследований в области теплонасосных технологий. В целом термодинамическое совершенство обратных циклов ТН в значительной степени определяет технико-экономическую и экологическую эффективность теплонасосных технологий [2].

Цель работы. Определение эффективности работы теплового насоса в зависимости от начальной температуры низкопотенциального теплоносителя.

Для проведения исследований была разработана экспериментальная установка, позволяющая моделировать температуру низкопотенциального источника и мощность компрессоров. Полученные результаты эксперимента представлены в таблице 1.

Эксергетическое исследование теплонасосной системы, учитывающее их системные связи с внешним окружением, для широкого диапазона изменения рабочих параметров проводилось согласно методики [3,4]. Результаты исследования представлены на графиках (рисунок 1).

Из анализа рисунка 1 видно, что для холодильного агента R134a при увеличении температуры низкопотенциального источника эксергетические потери, происходящие в тепловом насосе, уменьшаются. Однако для эксергетических потерь в испарителе наблюдается экстремумы функций, для агента R134a при температуре 16°C (до этой температуры наблюдается повышение потерь). Это можно объяснить малым тепловым запасом

Таблица 1

Номер режима	Тепловая нагрузка Q_{TM} , кВт	$t_{н1}, ^\circ\text{C}$	$t_{н2}, ^\circ\text{C}$	$t_{в1}, ^\circ\text{C}$	$t_{в2}, ^\circ\text{C}$	$t_0, ^\circ\text{C}$
1	1,75	8	3	60	65	18
2	1,75	24	19	60	65	18
3	1,75	40	35	60	65	18

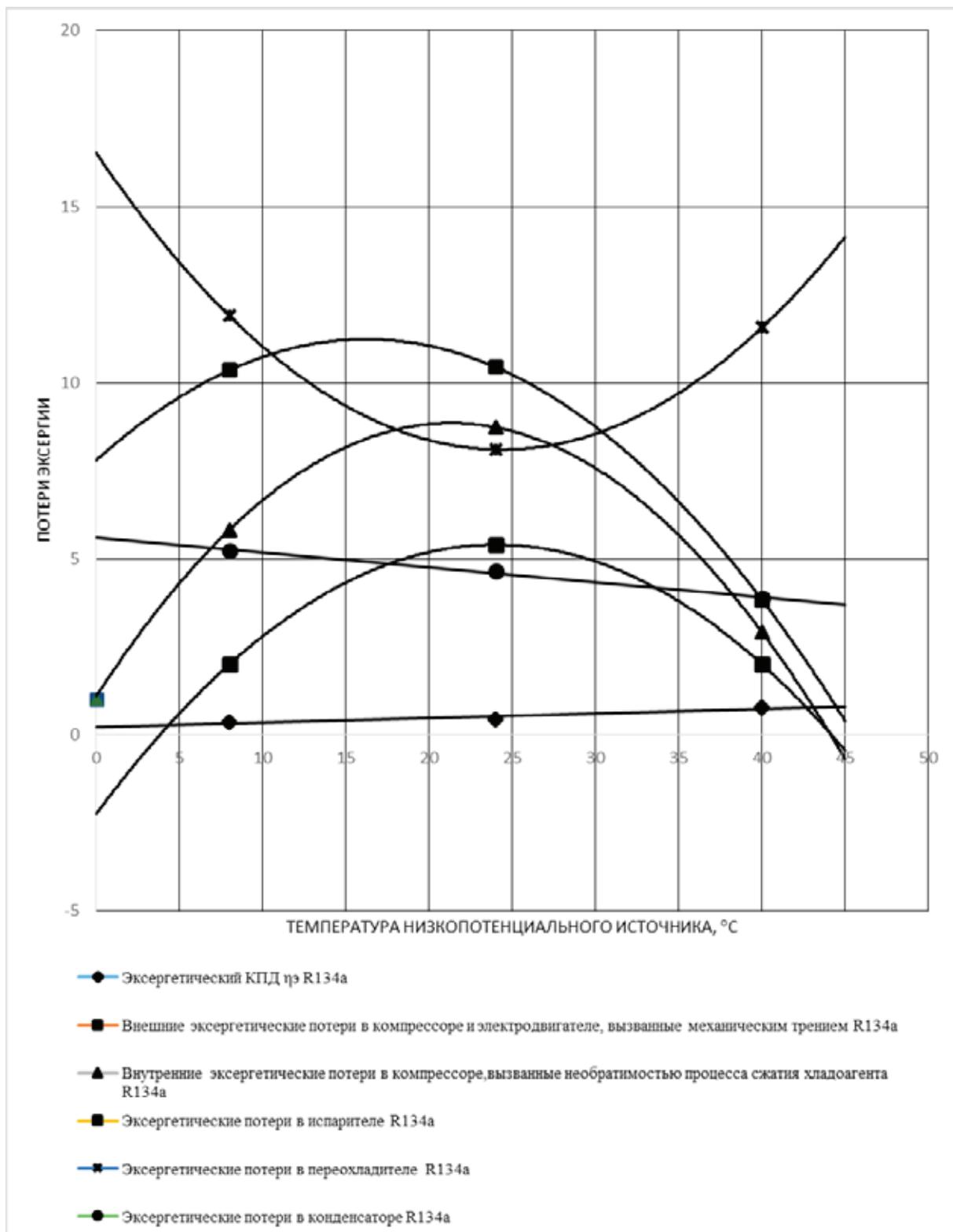


Рис. 1. Потери эксергии в тепловом насосе на R134a

низкопотенциального источника (для R134a). Исходя из этого следует, что R134a выгодно использовать при температурах низкопотенциального источника выше 16°C.

Из анализа рисунка 2 видно, что для холодильного агента R404a при увеличении температуры низкопотенциального источника эксергетические потери, проис-

ходящие в тепловом насосе, уменьшаются. Однако для эксергетических потерь в испарителе наблюдается экстремумы функций, для агента R404a при температуре 24°C (до этой температуры наблюдается понижение потерь). Это можно объяснить малым тепловым запасом низкопотенциального источника и особенностью фа-

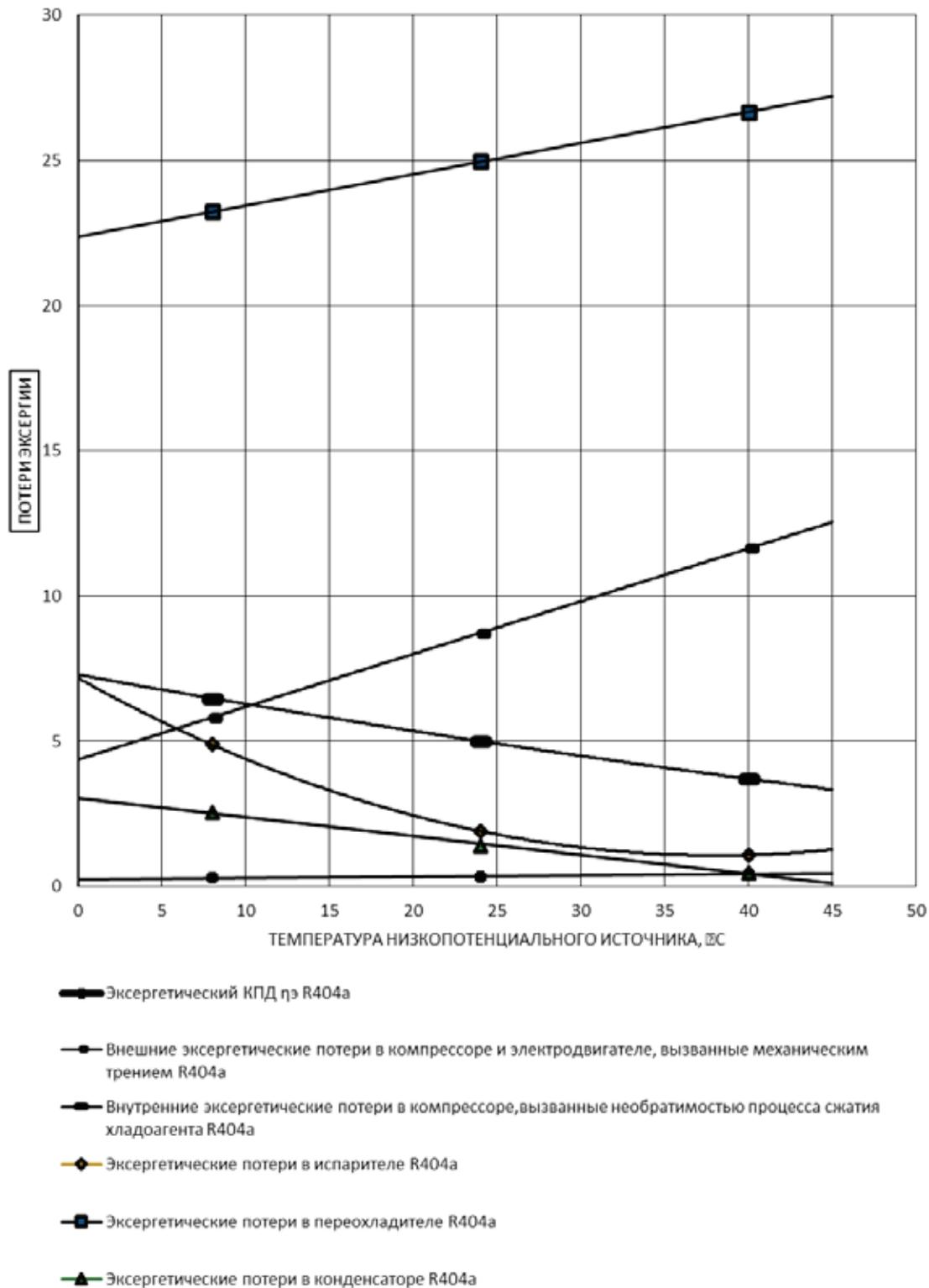


Рис. 2. Потери эксергии в тепловом насосе на R404a

зового перехода холодильного агента R404a. Исходя из этого следует, что R404a выгодно использовать при температурах низкопотенциального источника выше 24°C.

В результате математической обработки экспериментальных данных были получены аналитические зависимости суммарных эксергетических потерь от температуры низкопотенциального источника (рисунок 3).

Для R134a

$$e_{\text{сум}} = -0,0374t_{\text{н1}} + 1,325t_{\text{н1}} + 27,086 \quad (1)$$

Для R404a

$$e_{\text{сум}} = 0,0038t_{\text{н1}} - 0,1475t_{\text{н1}} + 43,314 \quad (2)$$

На основании полученных данных были построены графики суммарных эксергетических потерь из анализа рисунка 3 видно: для холодильного агента R404a целесообразно использовать при температуре низкопотенциального источника до 24°C, а R134a — для температуры низкопотенциального источника выше 24°C.

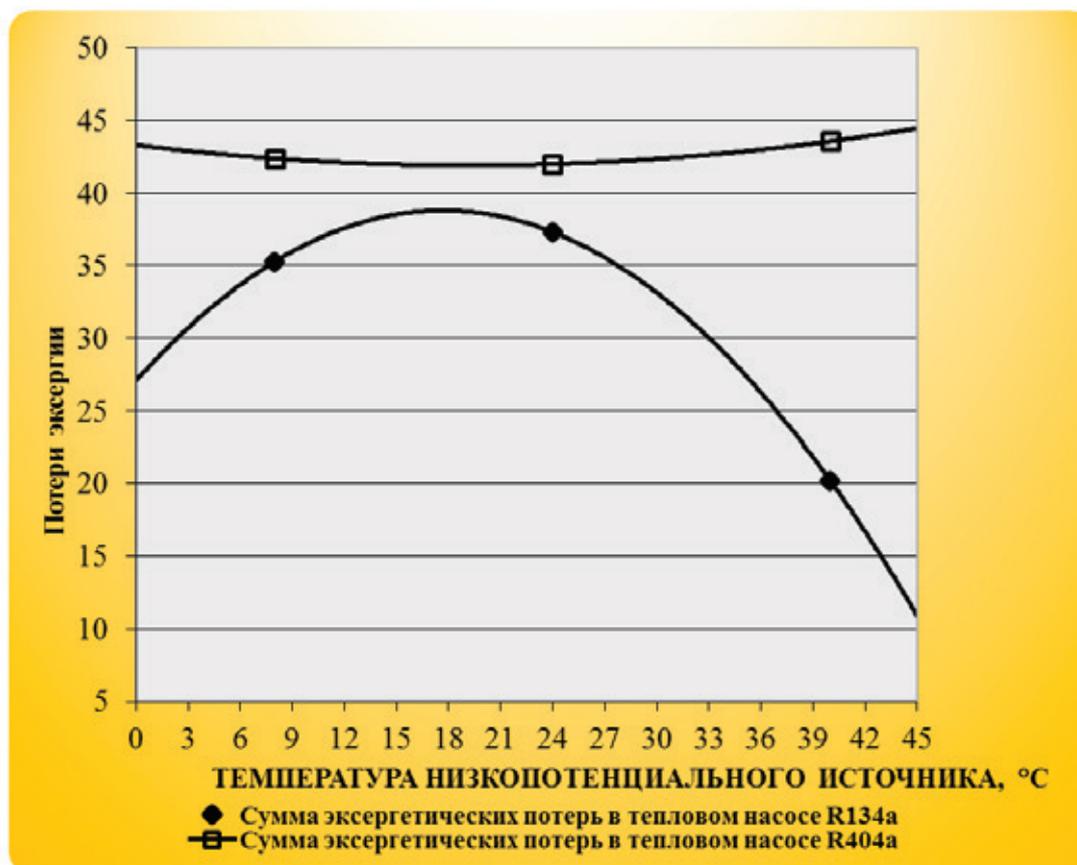


Рис. 3 Сумма эксергетических потерь в тепловом насосе на R134a и R404a

Заключение

В результате проведенных исследований было установлено: при повышении температуры теплоносителя эксергетические

потери в тепловом насосе уменьшаются; для наиболее эффективной работы теплового насоса необходимо использовать более высокую температуру низкопотенциального источника теплоты.

Литература:

1. Алимгазин, А. Ш., Бахтиярова С. Г., Бергузинов А. Н. Экологические аспекты применения теплонасосных технологий для теплоснабжения различных объектов в Республике Казахстан // Вестник ПГУ. 2010. — № 1. — с. 42–52.
2. Бродянский, В. М., Фратшер В., Михалек К. Эксергетический метод и его приложения. Под ред. В. М. Бродянского. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 288 с.
3. Николаев, Ю. Е., Бакшеев, А. Ю. Определение эффективности тепловых насосов, использующих теплоту обратной сетевой воды ТЭЦ // Промышленная энергетика. 2007. — № 9. — с. 14–17.
4. Бубялис, Э., Шкема Р. Перспектива ретрофита R22 и энергетические характеристики теплового насоса на базе компрессора КХГ-14. — 1 // Промышленная теплотехника, 2001. — Т. 23, № 1–2. — с. 79–83.

Кинематическое исследование гибкого планетарного механизма для привода технологических машин

Алимова Дилафруз Бахтияровна, младший научный сотрудник
Научно-исследовательский центр по проблемам отраслевого машиноведения (г. Ташкент, Узбекистан)

Пулатова Халима Ашраповна, старший преподаватель
Ташкентский институт ирригации и мелиорации (Узбекистан)

В статье рассмотрен процесс движения траектории точки кривой сателлита гибкого эпи-гипоциклоидального планетарного механизма в рабочей зоне сбора хлопка-сырца вертикальными шпинделями и в холостом зоне при съеме хлопка-сырца.

Ключевые слова: сателлит, водила, механизм, эпициклоида, гипоциклоида, передача, привод, ремень, кинематика.

Актуальность проблемы — несмотря на совершенствование конструкций хлопкоуборочных машин, ряд узлов и их деталей уменьшается их надежность, вследствие прогрессирующего износа ремней привода, поэтому вследствие изнашивания, этих ремней приводит к снижению агротехнических показателей машин [1].

Целью исследований является изучение условий работы привода шпинделей с разработкой математической модели их для построения траектории движения точки сателлита для обеих зон гибкого эпи-гипоциклоидального планетарного механизма.

Методика исследований включает теоретические вопросы кинематики движения сателлита в зонах сбора и съема их в камере уборочного аппарата и разработку математической модели их для эпи-гипоциклоидального планетарного механизма.

Основным узлом хлопкоуборочных машин являются уборочные аппараты, состоящие из вертикально-расположенных барабанов, содержащих по своей периферии, в специальных гнездах, вертикально размещенные шпиндели с приводными роликами, взаимодействующими с механизмами их прямого и обратного вращения. При движении хлопкоуборочной машины кусты 5 хлопчатника попадают в рабочую камеру, (рисунок 1, а) где контактируются со шпиндельными барабанами 6. В рабочей камере кусты 5 хлопчатника сжимаются с двух сторон барабанами 6 и, вращающиеся шпиндели 1 с посредством привода ремня 2 прямого вращения захватывают хлопок-сырец, извлекают его из коробочек 5 и наматывают на себя. При дальнейшем вращении шпиндельного барабана 6 хлопок-сырец совместно со шпинделями 1 переносится в зону съема 3, где направление их вращения меняется на противоположное, и хлопок-сырец со шпинделя частично снимаются самосбросом, а частично съемниками 4 подается в приемную камеру, откуда воздушным потоком через вентилятор попадает в бункер машины.

Задачей кинематического исследования является определение траектории перемещения, их скорости и ускорений точек движения звеньев сателлита гибкого планетарного механизма. Кинематические исследования можно вести аналитическим, графическим и графоаналитическими методами. При первом методе разрабатывается математическая модель в виде составления параметрических уравнений при движении точки сателлита в планетарной плоскости.

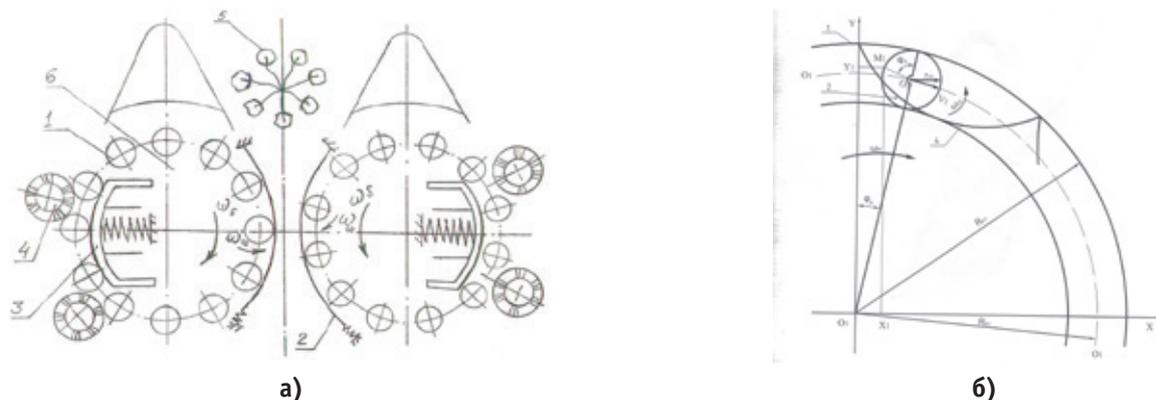


Рис. 1. Кинематическая схема (а) эпи-гипоциклоидального планетарного механизма и траектории движения сателлита в координатной оси YOX (б)

Для определения движений траекторий точки сателлита планетарного механизма обозначим: радиус водила через R_H , радиус сателлита — r_c , угол поворота водила — φ_H , угол поворота сателлита по внутренней части ременной передачи — φ_{c_1} , угла поворота сателлита по наружной части ременной передачи — φ_{c_2} . Спроектировав соответствующие радиусы звеньев механизма на выбранные координатные оси XYO (рисунок 1, б), получим параметрическое уравнение траектории движения точки сателлита:

$$\left. \begin{aligned} X_1 &= R_H \cos \varphi_H + r_c \cos(\varphi_{c_1} - \varphi_H) \\ Y_1 &= R_H \sin \varphi_H - r_c \sin(\varphi_{c_1} - \varphi_H) \\ X_2 &= R_H \cos \varphi_H - r_c \cos(\varphi_{c_2} + \varphi_H) \\ Y_2 &= R_H \sin \varphi_H - r_c \sin(\varphi_{c_2} - \varphi_H) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

По вышеприведенным данным: $R_H, r_c, \varphi_H, \varphi_{c_1}, \varphi_{c_2}$ напишем равенство: $\varphi_{c_1} \cdot r_c = \varphi_H \cdot r_B$, также $\varphi_{c_2} \cdot r_c = \varphi_H \cdot r_H$, обозначив через передаточное отношение радиусов $r_B/r_c(1-\xi)$ ременной передачи будем иметь $u_{21} = r_B/r_c(1-\xi)$, где ξ — коэффициент относительного скольжения в зависимости от типа ремня, $\xi = 0,01 \div 0,02$; u_{21} — передаточное отношение радиуса r_B внутренней части ременной передачи относительно радиуса r_c сателлита.

Подставляя получим $\varphi_{c_1} = \varphi_H \cdot r_B/r_c(1-\xi) = \varphi_H \cdot u_{21}$. Также, обозначив через передаточное отношения в зоне наружной части передачи $u_{22} = r_H/r_c(1-\xi)$, получим: $\varphi_{c_2} = \varphi_H \cdot r_H/r_c(1-\xi) = \varphi_H \cdot u_{22}$, где u_{22} — передаточное отношение радиуса r_H наружной части ременной передачи относительно радиуса r_c сателлита в зоне эпициклоидального планетарного механизма.

Подставив полученные значения φ_{c_1} и φ_{c_2} в выражение (1) получим:

$$\left. \begin{aligned} X_1 &= R_H \cos \varphi_H + r_c \cos(u_{21} - 1)\varphi_H \\ Y_1 &= R_H \sin \varphi_H - r_c \sin(u_{21} - 1)\varphi_H \\ X_2 &= R_H \cos \varphi_H - r_c \cos(u_{22} + 1)\varphi_H \\ Y_2 &= R_H \sin \varphi_H - r_c \sin(u_{22} + 1)\varphi_H \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Преобразуем систему (2) и перепишем через передаточные отношения u_{21}, u_{22} ременной передачи, тогда в безразмерном виде получим:

$$\left. \begin{aligned} u_{x_1} &= [R_H \cos \varphi_H + r_c \cos(u_{21} - 1)\varphi_H] \cdot 1/r_c(1-\xi) \\ u_{y_1} &= [R_H \sin \varphi_H - r_c \sin(u_{21} - 1)\varphi_H] \cdot 1/r_c(1-\xi) \\ u_{x_2} &= [R_H \cos \varphi_H - r_c \cos(u_{22} + 1)\varphi_H] \cdot 1/r_c(1-\xi) \\ u_{y_2} &= [R_H \sin \varphi_H - r_c \sin(u_{22} + 1)\varphi_H] \cdot 1/r_c(1-\xi) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Подставляя в уравнение (1) различные числовые значения $R_H = (90 \dots 160) \text{ мм}$ с шагом $\Delta_1 = 10 \text{ мм}$, $r_c = (10 \dots 15) \text{ мм}$ с шагом $\Delta_2 = 1,0 \text{ мм}$ и угла поворота водила $\varphi_H = 0^\circ \dots 360^\circ$ с интервалом $\varphi_H = 5^\circ$, и используя прикладные пакеты AutoCAD, можно получить график кривых эпи-гипоциклоидальных траекторий движения точки сателлита. На рисунке 2 при $R_H = 112,5 \text{ мм}$ $r_c = 12,5 \text{ мм}$ и угла поворота водила $\varphi_H = 0^\circ \dots 360^\circ$ с интервалом $\varphi_H = 5^\circ$ получен график кривой эпициклоидальной (II) и гипоциклоидальной (I) траектории движения точки сателлита в рабочей зоне сбора хлопка-сырца и в зоне съема хлопка-сырца уборочного аппарата. Также в переходных зонах гибкого эпи-гипоциклоидального планетарного механизма получены дополнительно две совмещенные кривые (III) и (IV). Так, при переходе точки сателлита из эпициклоидальной (II) зоны в гипоциклоидальную (I) зону получена траектория движения точки сателлита, совмещенная с эпи-гипоциклоидальной (III) кривой, а в другой переходной зоне между гипоциклоидальной (I) и эпициклоидальной (II) также получена траектория движения совмещенной гипо-эпициклоидальной (IV) кривой планетарного механизма. Гипоциклоидальная кривая (I) получена в зоне прямого вращения шпинделя уборочного аппарата и является траекторией движения точки сателлита-шпинделя в рабочей зоне сбора хлопка-сырца, а эпициклоидальная кривая (II) обратного вращения шпинделя является траекторией движения точки сателлита в зоне съема хлопка-сырца.

Из рисунка 2 видно, что при вращении водила с угловой скоростью ω_H по часовой стрелки ролика шпинделя при соприкосновении его с ремнями прямого вращения получена гипоциклоидальная кривая (I) в четырех петлях, а в зоне обратного вращения при зоне съема хлопка-сырца получена эпициклоидальная кривая (II) в трех петлях. Габаритные размеры петли эпи-гипоциклоидальной кривой имеют два параметра: длину пути $S_p(S_c)$ и ширину. Длина пути $S_p(S_c)$ петли эпи-гипоциклоидальной кривой имеет кратчайшее расстояние между выбранным по вершинам двух заостренной части точки гипоциклоиды (эпициклоиды) и составляет $S_p = 78,5 \text{ мм}$, а ширина петли равно диаметру d_c сателлита, $d_c = 25 \text{ мм}$.

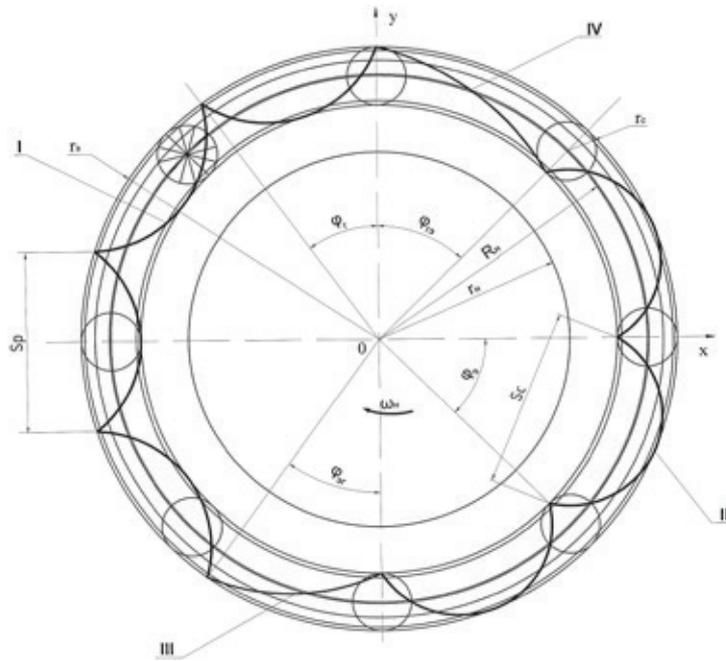


Рис. 2. Характер движения траектории точки кривой сателлита планетарного механизма в рабочей (I), съемной (II) и в переходных (III) (IV) зонах

Угол образования петли у гипоциклоидальной кривой составляет $\varphi_G = \frac{r_c(1-\xi)}{r_B} \cdot 360^\circ$, а у эпициклоиды $\varphi_O = \frac{r_c(1-\xi)}{r_H} \cdot 360^\circ$. Подставляя численные значения получим: $\varphi_G = 35^\circ 28'$; $\varphi_O = 44^\circ 20'$, следовательно угол рабочего сбора хлопка-сырца шпинделем составляет $\varphi_{p,x} = 141^\circ 52'$, а угол в зоне съема хлопка-сырца $\varphi_{x,x} = 133^\circ$.

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Проведена и составлена математическая модель кинематики движения сателлита-шпинделя гибкого эпи-гипоциклоидального планетарного механизма для рабочего органа привода шпинделей уборочного аппарата в рабочей и съемной зоне сбора хлопка-сырца.
2. При кинематическом исследовании получены аналитические выражения в размерных и безразмерных величинах и выявлен в графическом виде характер движения траектории кривой точки сателлита планетарного механизма в рабочей и съемной зоне хлопка-сырца.

Литература:

1. Алимова, Д. Б. К вопросу применения гибкого эпи-гипоциклоидального планетарного механизма для привода шпинделей хлопкоуборочной машины. // Республиканская научно-практическая конференция молодых ученых. Ташкент 14–16 мая, 2014 й. — с. 71–75.

Анализ перспективы строительства магистрального газопровода «Сила Сибири» в условиях сейсмичности и вечномёрзлых грунтов

Андреев Андрей Александрович, магистрант
Томский государственный архитектурно-строительный университет

В статье представлен анализ перспективы реализации строительства магистрального газопровода «Сила Сибири» в условиях распространения вечной мерзлоты и повышенной сейсмической активности. Пред-

ставлен проект схемы магистрального газопровода, приведены данные сравнений участков газопровода и воздействия на них вечномерзлых грунтов, районов сейсмической активности.

Краткая характеристика газопровода

Магистральный газопровод «Сила Сибири» станет общей газотранспортной системой для Иркутского и Якутского центров газодобычи и будет транспортировать газ этих центров через Хабаровск до Владивостока.

На первом этапе будет построен магистральный газопровод «Якутия — Хабаровск — Владивосток», на втором этапе Иркутский центр будет соединен газопроводом с Якутским центром.

Маршрут трассы ГТС пройдет вдоль трассы действующего магистрального нефтепровода «Восточная Сибирь — Тихий океан», что позволит оптимизировать затраты на инфраструктуру и энергоснабжение. Трасса ГТС преодолеет, в том числе, заболоченные, горные и сейсмически активные участки.

Газопровод будет построен практически полностью из труб отечественного производства. На строительстве первой очереди «Силы Сибири» будет задействовано около 11 700 специалистов, эксплуатировать газопровод будут еще порядка 3000 человек.

Свое название ГТС получила по итогам проведенного конкурса.

Инвестиционное решение

В октябре 2012 года Правление ОАО «Газпром» приняло окончательное инвестиционное решение по проекту обустройства Чаяндинского месторождения, строительства магистрального газопровода «Якутия — Хабаровск — Владивосток», а также объектов переработки газа в г. Белогорске.

Технические характеристики

Протяженность — около 4000 км (Якутия — Хабаровск — Владивосток — около 3200 км, Иркутская область — Якутия — порядка 800 км);

- диаметр — 1420 мм;
- рабочее давление — 9,8 МПа (100 атм.);
- производительность — 61 млрд. куб. м газа в год.

Сроки реализации проекта

Ввод в эксплуатацию первой части ГТС «Сила Сибири» — магистрального газопровода «Якутия — Хабаровск — Владивосток» — конец 2017 года.

Экспортный потенциал

Мощная ресурсная база на Востоке России, последовательное формирование крупных центров газодобычи

и создание необходимых транспортных коридоров позволит организовать здесь новый центр экспортных поставок российского газа, ориентированный на Азиатско-Тихоокеанский регион. Контракт сроком на 30 лет предусматривает экспорт в Китай 38 млрд. куб. м российского газа в год. [1]

Согласно схеме трассы магистрального газопровода «Сила Сибири» участка Якутия-Хабаровск-Владивосток (рис.1) [2] данный объект капитального строительства ОАО «Газпром» в перспективе станет связующим звеном между центрами газодобычи Восточной Сибири и Дальнего Востока с газотранспортной сетью западной части страны. Что в свою очередь позволит диверсифицировать и перенаправлять газовые потоки с востока на запад и наоборот.

Согласно физико-географическому районированию рассматриваемые участки трассы относятся к Приленской провинции таёжной области Восточносибирской стороны. Приленская провинция охватывает верховья Лены и южную часть Лено-Виллюйского междуречья. В ландшафтном отношении находится в зоне тайги.

Характеристика проектируемых участков газопровода с учетом сейсмического районирования ОСР-97Д в баллах по MSK-64

Рассматривая схему магистрального газопровода и карту общего сейсмического районирования России ОСР-97Д в баллах по MSK-64 [3], соотнесем и проанализируем участки газопровода с районами сейсмической активности. Данные представим в виде таблицы 1.

Анализируя полученные результаты можно сделать вывод, что участки газопровода, проходящего по территории сейсмического районирования с индексом:

- 7 б. — 29,8%;
- 8 б. — 38,1%;
- 9 б. — 9,9%;
- 10 б. — 22,2%;

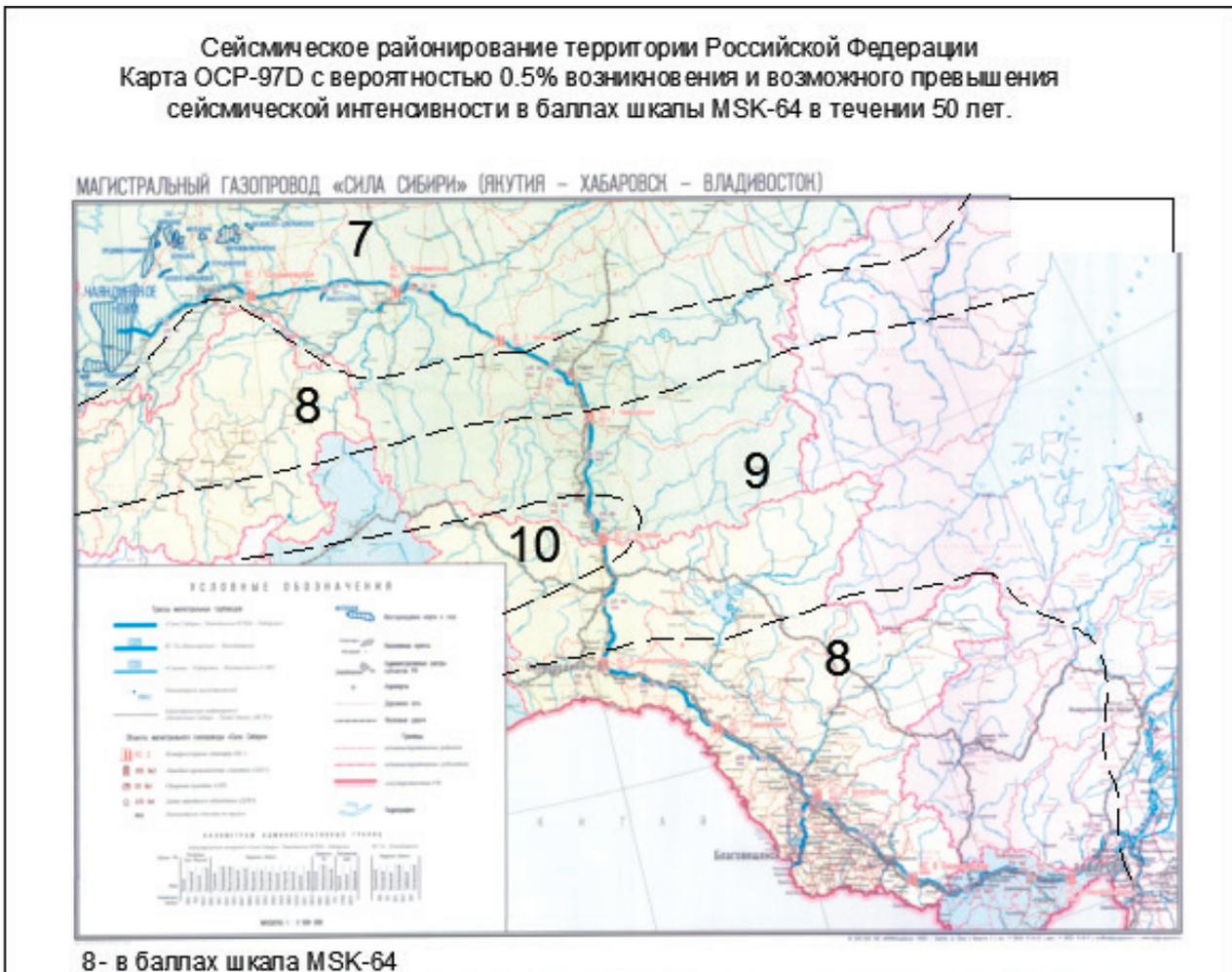
Большая часть магистрального газопровода «Сила Сибири» 70,2% проходит по территории с индексом сейсмического районирования от 8 до 10 б. Данный факт предполагает применение конструкций фундаментов на основе металлических труб с буроопускным способом погружения, опущенных в предварительно пробуренные лидерные скважины с заполнением свай бетоном кл. В 7.5, F100.

Характеристика проектируемых участков газопровода с учетом промерзания, оттаивания грунтов по СНиП 2.02.04–88

Рассматривая схему магистрального газопровода и мерзлотно-ландшафтную карту Якутской АССР [4], со-



Рис. 1. Схема трассы магистрального газопровода «Сила Сибири» разработки ОАО ВНИПИгаздобыча



8- в баллах шкалы MSK-64

Рис. 2. Схема магистрального газопровода в зоне сейсмического районирования

Таблица 1. Характеристики участков газопровода по протяженности и воздействию сейсмического районирования

№	Наименование участка газопровода	Протяженность в км.	Зона сейсмического районирования	% от общей протяженности
1.	Чаяндинское НГКМ — Ленское ЛПУМГ	210	7 б.	8
2.	Ленское ЛПУМГ — КС 1 «Салдыкельская»	90,1	7 б.	3,4
3.	КС 1 «Салдыкельская» — КС 2 «Олекминская»	255,7	7 б.	9,6
4.	КС 2 «Олекминская» — КС 3 «Амгинская»	236,5	7 б.	8,9
5.	КС 3 «Амгинская» — КС 4 «Нимнырская»	235	8 б.	8,9
6.	КС 4 «Нимнырская» — КС 5 «Нагорная»	253,2	10 б.	9,6
7.	КС 5 «Нагорная» — КС 6 «Сковородинская»	266,7	9 б.	9,9
8.	КС 6 «Сковородинская» — КС 7 «Сивакинская»	265,6	8 б.	10
9.	КС 7 «Сивакинская» — КС 7а «Белогорская»	251	8 б.	9,5
10.	КС 7а «Белогорская» — КС 8 «Теплоозерская»	254,8	8 б.	9,7
11.	КС 8 «Теплоозерская» — КС 9 «Биробиджанская»	333,6	10 б.	12,5
	ИТОГО	2652,2 км.		100%

отнесем и проанализируем участки газопровода с районами распространения вечномерзлых грунтов согласно СНиП 2.02.04–88 [5]. Данные представим в виде таблицы 2.

Анализируя полученные результаты можно сделать вывод о том, что участки газопровода проходящего по территории многолетнемерзлых грунтов:

Глубиной промерзания более 2,0 м. и глубиной оттаивания 0,5–1,0 м. 18,5%;

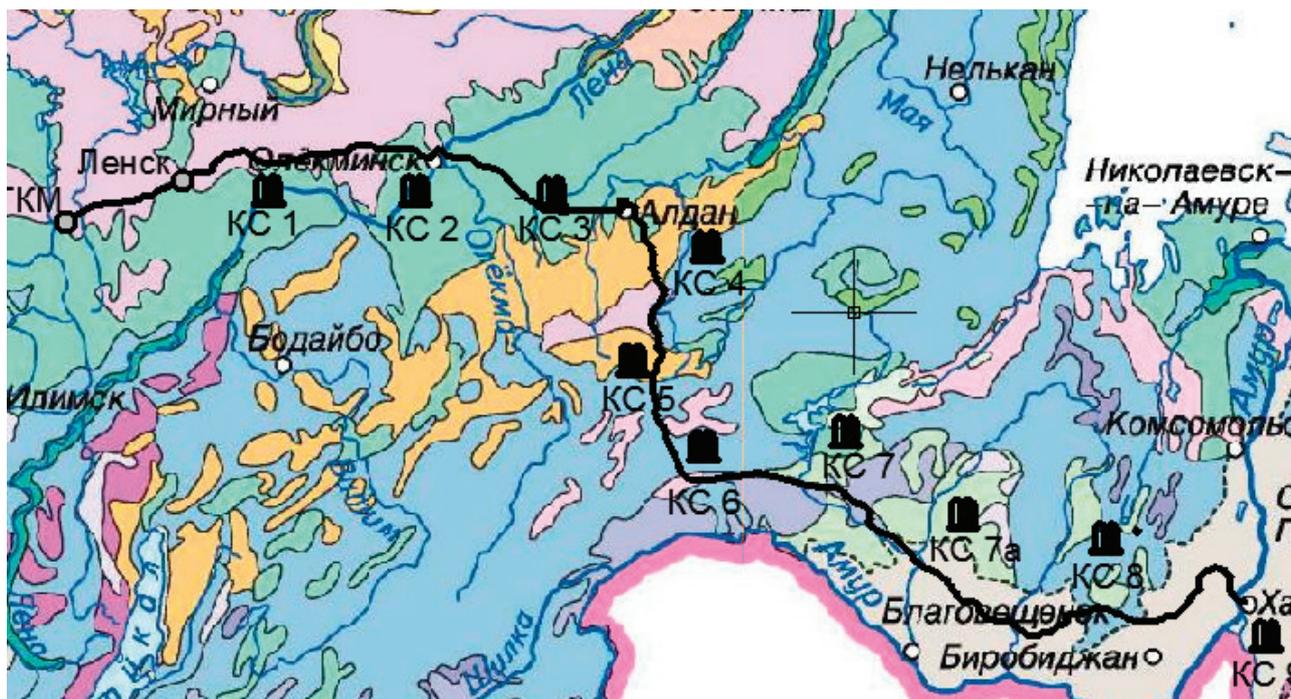
Глубиной промерзания 1,0–2,0 м. и глубиной оттаивания менее 0,5 м. 21,0%;

Глубиной промерзания 1,0–2,0 м. и глубиной оттаивания 0,5–1,5 м. 29,4%;

Таблица 2. Характеристики участков газопровода по протяженности и воздействию вечномерзлых грунтов

№	Наименование участка газопровода	Протяженность в км.	Глубина сезонного промерзания, м.	Глубина сезонного оттаивания, м.	% от общей протяженности
1.	Чаяндинское НГКМ — Ленское ЛПУМГ	210	1,0–2,0	менее 0,5	8
2.	Ленское ЛПУМГ — КС 1 «Салдыкельская»	90,1	1,0–2,0	менее 0,5	3,4
3.	КС 1 «Салдыкельская» — КС 2 «Олекминская»	255,7	1,0–2,0	менее 0,5	9,6
4.	КС 2 «Олекминская» — КС 3 «Амгинская»	236,5	более 2,0	0,5–1,0	8,9
5.	КС 3 «Амгинская» — КС 4 «Нимнырская»	235	1,0–1,5	менее 0,5	8,9
6.	КС 4 «Нимнырская» — КС 5 «Нагорная»	253,2	2,0–3,0	1,0–1,5	9,6
7.	КС 5 «Нагорная» — КС 6 «Сковородинская»	266,7	1,0–2,0	1,0–1,5	9,9

8.	КС 6 «Сковородинская» — КС 7 «Сивакинская»	265,6	1,0–2,0	0,5–1,0	10
9.	КС 7 «Сивакинская» — КС 7а «Белогорская»	251	1,0–2,0	0,5–1,0	9,5
10.	КС 7а «Белогорская» — КС 8 «Теплоозерская»	254,8	менее 1,0	0,5–1,0	9,7
11.	КС 8 «Теплоозерская» — КС 9 «Биробиджанская»	333,6	менее 1,0	0,5–1,0	12,5
	ИТОГО	2652,2 км.			100%



**ПРЕРЫВИСТОЕ И ОСТРОВНОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ
МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД**

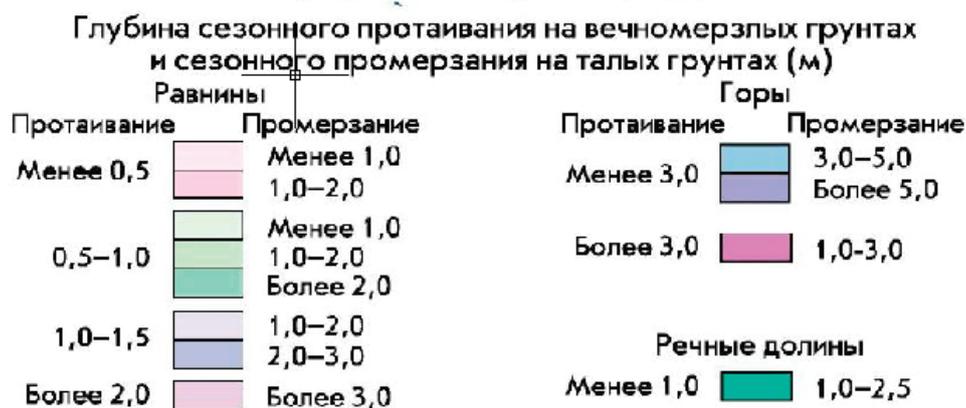


Рис. 3. Схема магистрального газопровода в зоне распространения вечномерзлых грунтов

Глубиной промерзания менее 1,0 м. и глубиной оттаивания 0,5–1,0 м. 22,2%;

Большая часть магистрального газопровода «Сила Сибири» 39,4% проходит по территории многолетнемерзлых грунтов с глубиной промерзания 1,0–2,0 м. и более и глубиной оттаивания менее 0,5 м.

В условиях залегания многолетнемерзлых грунтов строительство газопровода и объектов инфраструктуры проектируемые фундаменты под инженерные сооружения следует осуществлять с сохранением грунтов в мерзлом состоянии на весь период строительства и эксплуатации. Для осуществления сохранности грунтов в мерзлом состоянии

и противопучинистых мероприятий необходимо увеличения глубины заделки свай в грунте, применение различных теплотехнических устройств, использование различных теплозащитных экранов, установка вблизи свай сезонно действующих охлаждающих устройств парожидкостных термостабилизаторов пластичномерзлых грунтов для создания опережающего (с поверхности), бокового (вертикального) промерзания слоя сезонного оттаивания.

На основании данных полученных из таблиц № 1, 2 можно сделать вывод, что проект магистрального газопровода «Сила Сибири» предполагает строительство в экстремальных условиях повышенного сейсмического воздействия вечномерзлых грунтов. Данный факт констатирует повышенные требования при строительстве и эксплуатации, что в свою очередь накладывает дополнительные финансовые затраты, удорожание проекта и увеличение срока окупаемости.

Литература:

1. Сайт ОАО «Газпром» [Электронный ресурс]. — Режим доступа <http://www.gazprom.ru/about/production/projects/pipelines/ykv/>
2. Проект строительства магистрального газопровода «Сила Сибири» разработанного ОАО ВНИПИгаздобыча г. Саратов.
3. СНиП II-7-81*. Карта сейсмического районирования ОСР-97Д в баллах шкалы по MSK-64.
4. Мерзлотно-ландшафтная карта Якутской АССР. М-б 1:2 500 000 / Отв. ред. П. И. Мельников. М.: Комитет геодезии и картографии СССР, 1991. — 2 л.
5. СНиП II-7-81. Строительство в сейсмических районах.
6. СНиП 2.02.04-88. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах.

Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле

Анфилатов Антон Анатольевич, кандидат технических наук, доцент
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

При выгорании метанола, воспламененного распыленным дизельным топливом (ДТ), в цилиндре дизеля создаются высокие локальные концентрации активных центров цепных реакций — атомов и свободных радикалов, возникающих в результате деструктивных превращений, окисления и распада углеводов метанола в окрестностях испаряющихся и горящих капель ДТ. В этих условиях образование оксидов азота отличается двумя главными особенностями: во-первых, решающую роль в этом процессе играет не только тепловое, но и цепное ускорение реакций за счет высоких локальных концентраций активных частиц; во-вторых, процессы их образования тесно связаны конкуренцией в потреблении активных частиц и кислорода. Образование оксидов азота NO_x происходит через сложные превращения продуктов реакций метанольных радикалов с азотом воздушной среды в предпламенной и послепламенной зонах. Скорость этих процессов зависит от концентрации азота в объеме цилиндра дизеля, скорости сгорания, доли выгоревшего метанола, а также скорости конкурирующих реакций продуктов неполного сгорания, в том числе СО и сажевых частиц [1,5].

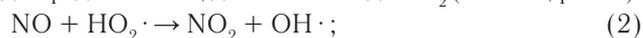
Используя результаты моделирования изотермических кинетических систем для расчета кинетики образования оксидов азота при горении метанола и ДТ в усло-

виях сгорания в дизелях, кроме того, суммируя известные данные протекания элементарных реакций при сгорании метанола и выделяя из них наиболее весомые, исключая процессы с большими энергиями активации, механизм процесса образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи (ДСТ) можно представить в виде определенной последовательности этапов и ветвей образования промежуточных и конечных элементов так, как это видно на рисунке 1. Полный перечень реакций предложенного механизма представлен в таблице 1.

При смешении паров топлива — метанола, дизельного топлива (запального) и окислителя — при температурном режиме 1000 К и более образование оксида азота происходит в результате столкновения молекул азота метанола-воздушной смеси с молекулами кислорода (цепь I, рис. 1):



Образовавшийся в результате оксид азота в предпламенной зоне, под действием в основном пероксидного радикала HO_2 , образующегося в зоне гибели атомарного водорода и радикала OH , доокисляется до NO_2 (ветвь II, рис. 1):

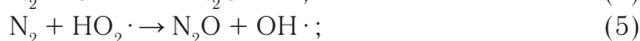
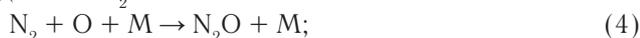


При температурном уровне менее 1500 К, где имеется недостаток окислителя азота метанола-воздушной смеси,

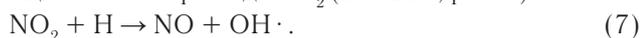
Таблица 1. Элементарные реакции образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле с ДСТ

№ реакции	Реакция
1	2
1	$N_2 + O_2 \rightarrow 2NO$
2	$NO + HO_2 \cdot \rightarrow NO_2 + OH \cdot$
3	$NO + OH \cdot \rightarrow NO_2 + H \cdot$
4	$N_2 + O + M \rightarrow N_2O + M$
5	$N_2 + HO_2 \cdot \rightarrow N_2O + OH \cdot$
6	$N_2O + O \rightarrow 2NO$
7	$NO_2 + H \rightarrow NO + OH \cdot$
8	$CH_3OH \cdot \rightarrow CH_3 + OH \cdot$
9	$CH_3OH \cdot + OH \cdot \rightarrow CH_2OH \cdot + H_2O$
10	$CH_3OH \cdot + H \rightarrow CH_2OH \cdot + H_2$
11	$CH_3OH \cdot + H \rightarrow CH_3 + H_2O$
12	$CH_3 \cdot \rightarrow CH_2 \cdot + H$
13	$CH_2 \cdot + CH_3 \cdot \rightarrow C_2H_2 \cdot + H_2 + H$
14	$C_2H_2 \cdot \rightarrow 2CH \cdot + H_2$
15	$CH_3OH \cdot + CH_3 \cdot \rightarrow CH_2OH \cdot + CH_4$
16	$CH_3OH \cdot + HO_2 \cdot \rightarrow CH_2OH \cdot + H_2O_2 \cdot$
17	$CH_3OH \cdot + O \rightarrow CH_2OH \cdot + OH \cdot$
18	$CH_2OH \cdot + O_2 \rightarrow CH_2O \cdot + OH \cdot$
19	$CH_2OH \cdot + M \rightarrow CH_2O \cdot + H + M$
20	$CH_3 \cdot + O_2 \rightarrow CH_2O \cdot + OH \cdot$
21	$CH_3 \cdot + O \rightarrow CH_2O \cdot + H$
22	$CH_2O \cdot + OH \cdot \rightarrow CHO \cdot + H_2O$
23	$CH_2O \cdot + H \rightarrow CHO \cdot + H_2$
24	$CH_2O \cdot + M \rightarrow CO + H_2 + M$
25	$CH_2 \cdot + N_2 \rightarrow HCN \cdot + NH \cdot$
26	$CH \cdot + N_2 \rightarrow HCN \cdot + N$
27	$CH \cdot + N \rightarrow CN \cdot + H$
28	$CN \cdot + OH \cdot \rightarrow HCN \cdot + O$
29	$HCN \cdot + O \rightarrow CN \cdot + OH \cdot$
30	$HCN \cdot + H \rightarrow CN \cdot + H_2$
31	$CN \cdot + O \rightarrow CHO + N$
32	$CN \cdot + O_2 \rightarrow CO + NO$
33	$NH \cdot + O \rightarrow NO + H$
34	$N_2 + O \rightarrow NO + N$
35	$NO + N \rightarrow N_2 + O$
36	$N + O_2 \rightarrow NO + O$
37	$NO + O \rightarrow N + O_2$
38	$N + OH \cdot \rightarrow NO + H$
39	$NO + H \rightarrow N + OH \cdot$
40	$HNO + OH \cdot \rightarrow NO + H_2O$
41	$HNO + O \rightarrow NO + OH \cdot$

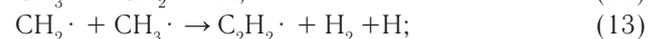
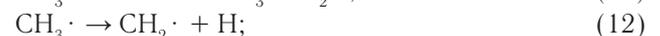
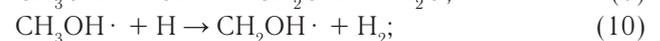
происходит образование быстрых оксидов азота по схеме (цепь III, рис. 1) с образованием и разложением геммоксида азота N_2O :



Образовавшийся при низкой температуре диоксид азота NO_2 практически весь переходит в оксид азота по реакции 7 за счет расхода NO_2 (ветвь IV, рис. 1):



Образующиеся в результате пиролиза молекулы метанола CH_3OH (цепь V, рис. 1):



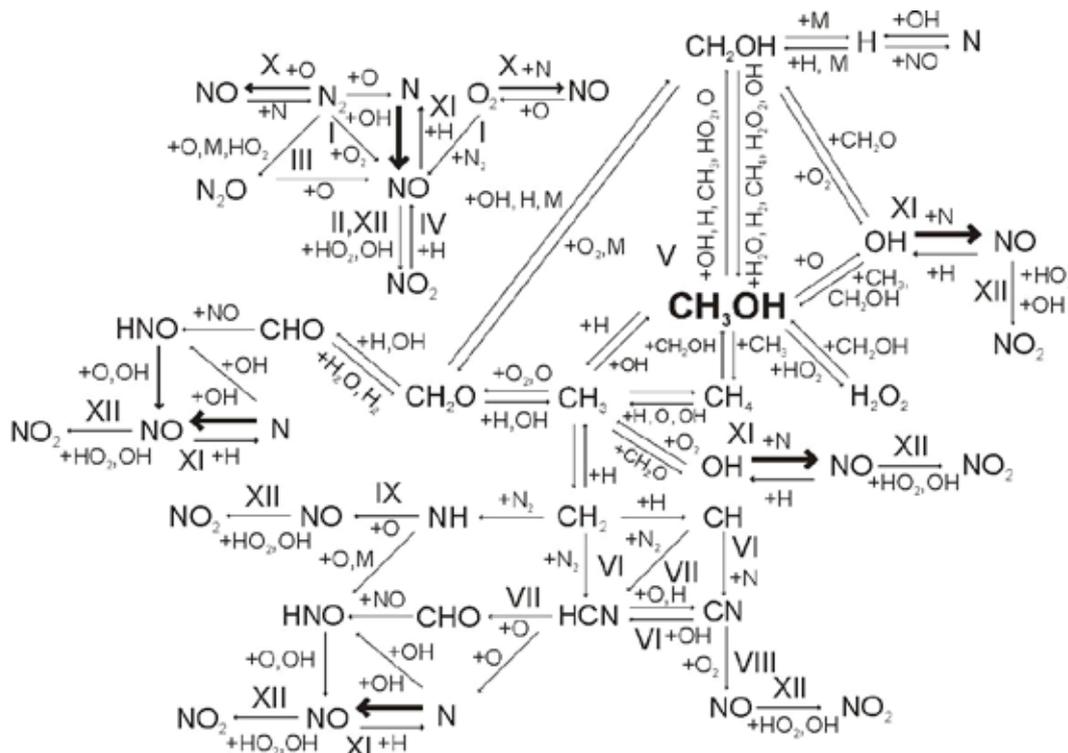
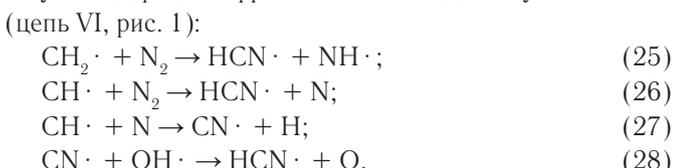
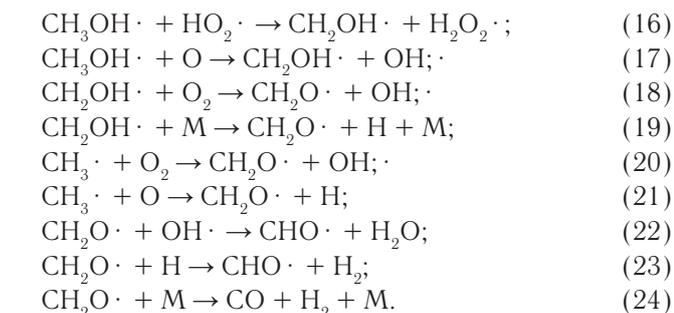


Рис. 1. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: I — образование NO по бимолекулярной реакции; II — окисление NO до NO₂ в предпламенной зоне; III — образование и разложение геммоксида азота N₂O; IV — образование NO за счет расхода NO₂; V — термический пиролиз метанола; VI — взаимодействие молекулярного азота с углеводородными фрагментами; VII — превращение HCN в CN; VIII, IX — образование быстрого NO; X — образование термического NO по механизму Я. Б. Зельдовича; XI — образование термического NO через радикалы OH; XII — окисление NO до NO₂ в запламенной зоне

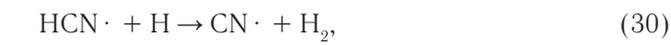


При этом в качестве промежуточных продуктов выступают соединения типа HCN· и CN·, участвующие в последующем механизме образования быстрого NO.

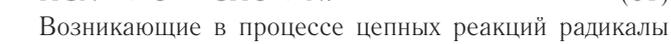
Половина HCN·, образовавшегося по реакциям 25, 26 и 28, превращается в CN· (цепь VII, рис. 1):



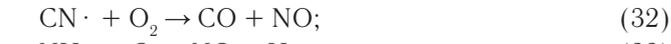
Ещё около 10%, образовавшегося в этих реакциях HCN· переходит в CN по реакции:



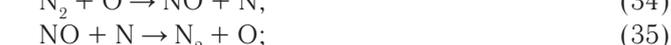
а остальные 40% преобразуются в N по реакции:



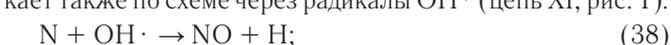
Возникающие в процессе цепных реакций радикалы CN·, NH· являются дополнительными центрами образования быстрого NO (ветви VIII, IX, рис. 1):

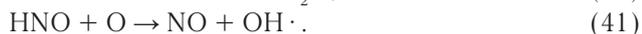
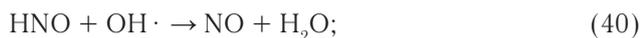


Далее протекает образование термического NO по механизму Я. Б. Зельдовича (цепь X, рис. 1):



При глубоком пиролизе топлива в камере сгорания дизеля при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи находится большое количество локальных объемов метанола-воздушной смеси, в которых присутствуют промежуточные химически неустойчивые продукты низкотемпературного разложения метанола, в том числе радикалы OH. Поэтому образование термического NO протекает также по схеме через радикалы OH· (цепь XI, рис. 1):





Кроме того, происходит доокисление возникших в процессе реакций 25...30 радикалов $\text{CN} \cdot$, $\text{NH} \cdot$ по реакциям (32), (33).

При максимальной температуре и избытке окислителя преобладающими являются реакции окисления CH_3OH , определяющие тепловой режим в цилиндре дизеля при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи. Здесь образование термического NO происходит в определяющей степени по реакциям 36...41 (цепи X, XI, рис. 1). Атомы азота не начинают цепной реакции, так как их равновесная концентрация во время горения низка по сравнению с равновесной концентрацией атомарного кислорода. Поэтому в дизеле при работе на метаноле интенсивное образование оксида азота происходит после окончания первой стадии горения метаноле-воздушной смеси, характеризующейся почти полным расходом исходных углеводородов и образованием максимальных концентраций промежуточных продуктов сгорания — CO и H_2 . При уменьшении температуры происходит расход оксида азота по реакциям 17...39 (цепи X, XI, рис. 1)[2,3].

При температуре ниже 970 К происходит доокисление NO в NO_2 в запламенной зоне за счёт реакций 2 и 3 (ветвь XII, рис. 1).

Всего же в продуктах сгорания метаноле-воздушной смеси содержатся различные оксиды азота, которые по термодинамической устойчивости можно расположить в ряд по убыванию:



Характерной особенностью всего процесса образования NO_x в цилиндре дизеля при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи является преобладание образующегося оксида азота по механизму Я.Б. Зельдовича и через радикалы $\text{OH} \cdot$, количество которых на много порядков выше количества всех остальных, образующихся в процессе горения метаноле-воздушной смеси [4,6].

Следовательно, разработка расчетной модели для этого механизма позволит без трудоемких и дорогостоящих экспериментальных работ на натуральных объектах исследовать влияние различных параметров, таких как применение метанола, на образование и выход основного токсичного компонента.

Литература:

1. Анфилатов, А.А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 2Ч 10,5/12,0 путём применения метанола с двойной системы топливоподачи. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Санкт-Петербург, 2009. — 18 с.
2. Анфилатов, А.А., Лиханов В.А., Лопатин О.П. Исследование процессов образования и разложения оксидов азота в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 путем применения метанола с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2008. — 154 с.
3. Изменение образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле / В.А. Лиханов, А.А. Анфилатов // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 4. с. 3–5.
4. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путём применения метанола с использованием двойной системы топливоподачи / В.А. Лиханов, О.П. Лопатин, А.А. Анфилатов // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 5. с. 5–8.
5. Анфилатов, А.А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 2Ч 10,5/12,0 путём применения метанола с двойной системы топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Киров, 2009. — 184с.
6. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле / В.А. Лиханов, А.Н. Чувашев, А.А. Глухов, А.А. Анфилатов // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 3. с. 4–5.

Теоретические расчеты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле для номинальной частоты вращения

Анфилатов Антон Анатольевич, кандидат технических наук, доцент
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

В работе приводятся результаты теоретических расчетов объемного содержания r_{NO_x} оксидов азота, в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на дизельном топливе (ДТ) и на метаноле с двойной системой топливоподачи (ДСТ) в зависимости от изменения угла поворота коленчатого вала (п.к.в.) для номинальной частоты вращения 1800 мин⁻¹.

Ключевые слова: дизель, альтернативное топливо, метанол, оксиды азота, объемное содержание оксидов азота, двойная система топливоподачи.

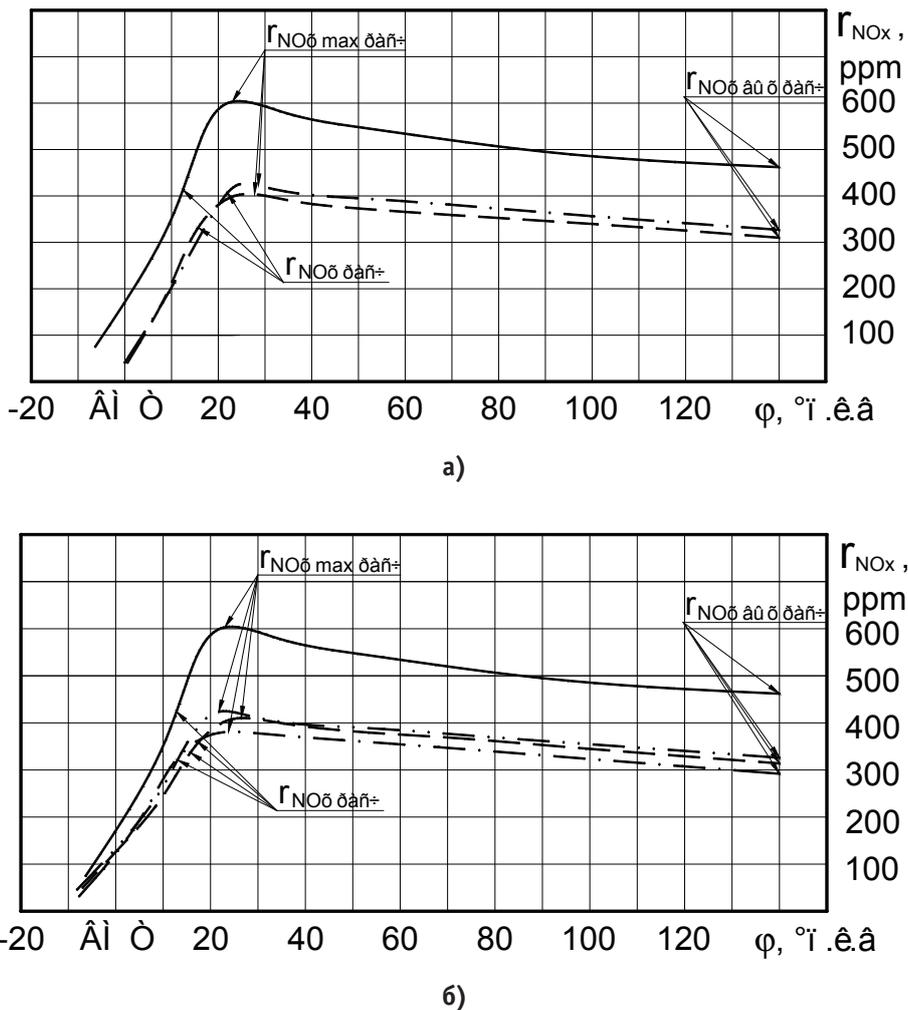


Рис. 1. Результаты теоретических расчетов по изменению объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от угла п.к.в. при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$: $\frac{3}{4}$ — дизельный процесс; а — — — — $\Theta_{\text{дт}} = 30^\circ, \Theta_{\text{м}} = 30^\circ$; — · — · — $\Theta_{\text{дт}} = 30^\circ, \Theta_{\text{м}} = 34^\circ$; б — — — — $\Theta_{\text{дт}} = 38^\circ, \Theta_{\text{м}} = 30^\circ$; — · — · — $\Theta_{\text{дт}} = 38^\circ, \Theta_{\text{м}} = 34^\circ$; — · — · — $\Theta_{\text{дт}} = 38^\circ, \Theta_{\text{м}} = 38^\circ$

на ДТ и на метаноле с ДСТ для частоты вращения 1800 мин⁻¹ при $\Theta_{\text{дт}} = 34^\circ; \Theta_{\text{м}} = 30^\circ$ представлены на рисунке 2.

Из представленных графиков видно, что максимальное значение теоретического расчетного объемного содержания γ_{NOx} оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на ДТ составляет 602 ppm при $\varphi = 22,0^\circ$ п.к.в. после в.м.т.

Значение теоретического расчетного объемного содержания γ_{NOx} оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на ДТ при $\varphi = 140,0^\circ$ п.к.в. после в.м.т. (выходное расчетное значение γ_{NOx} вых расч в момент открытия выпускного клапана) составляет 464 ppm.

Из представленных на графиках кривых видно, что максимальное значение теоретического расчетного объемного содержания γ_{NOx} оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле с ДСТ составляет 415 ppm при $\varphi = 27,5^\circ$ п.к.в. после в.м.т. Снижение составляет 31,0%.

Значение теоретического расчетного объемного содержания γ_{NOx} оксидов азота в цилиндре дизеля при

работе на метаноле с ДСТ при $\varphi = 140,0^\circ$ п.к.в. после в.м.т. (выходное расчетное значение γ_{NOx} вых расч в момент открытия выпускного клапана) составляет 319 ppm. Снижение составляет 31,2%.

Результаты теоретических расчетов по изменению объемного содержания γ_{NOx} оксидов азота в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от угла п.к.в. при работе на метаноле с ДСТ для частоты вращения 1800 мин⁻¹ при $\Theta_{\text{дт}} = 34^\circ; \Theta_{\text{м}} = 34^\circ$ также представлены на рисунке 2.

Из графиков видно, что максимальное значение теоретического расчетного объемного содержания γ_{NOx} оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле с ДСТ составляет 399 ppm при $\varphi = 25,0^\circ$ п.к.в. после в.м.т. Снижение составляет 33,9%.

Значение теоретического расчетного объемного содержания γ_{NOx} оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле с ДСТ при $\varphi = 140,0^\circ$ п.к.в. после в.м.т. (выходное расчетное значение γ_{NOx} вых расч в момент открытия выпускного клапана) составляет 307 ppm. Снижение составляет 33,8%.

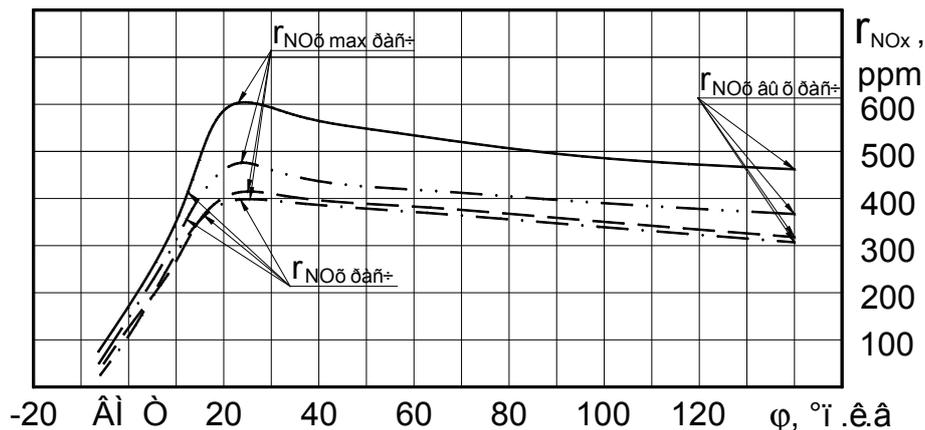


Рис. 2. Результаты теоретических расчетов по изменению объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от угла п.к.в. при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$: $\frac{3}{4}$ — дизельный процесс; — — — $\Theta_{\text{äò}} = 34^\circ, \Theta_{\text{ì}} = 30^\circ$; — · — · $\Theta_{\text{äò}} = 34^\circ, \Theta_{\text{ì}} = 34^\circ$; — · · — · $\Theta_{\text{äò}} = 34^\circ, \Theta_{\text{ì}} = 38^\circ$

Результаты теоретических расчетов по изменению объемного содержания $\gamma_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от угла п.к.в. при работе на метаноле с ДСТ для частоты вращения 1800 мин⁻¹ при $\Theta_{\text{äò}} = 34^\circ$; $\Theta_{\text{ì}} = 38^\circ$ также представлены на рисунке 2.

Из представленных на графиках кривых видно, что максимальное значение теоретического расчетного объемного содержания $\gamma_{\text{NOx max расч}}$ оксидов азота в ци-

линдре дизеля при работе на метаноле с ДСТ составляет 476 ppm при $\varphi = 24,0^\circ$ п.к.в. после в.м.т. Снижение составляет 20,9%.

Значение теоретического расчетного объемного содержания $\gamma_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле с ДСТ при $\varphi = 140,0^\circ$ п.к.в. после в.м.т. (выходное расчетное значение $\gamma_{\text{NOx вых расч}}$ в момент открытия выпускного клапана) составляет 367 ppm. Снижение составляет 20,9% [4–7].

Литература:

1. Анфилатов, А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 2Ч 10,5/12,0 путём применения метанола с двойной системы топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Киров, 2009. — 184с.
2. Анфилатов, А. А., Лиханов В. А., Лопатин О. П. Исследование процессов образования и разложения оксидов азота в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 путем применения метанола с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2008. — 154 с.
3. Изменение образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле / В. А. Лиханов, А. А. Анфилатов // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 4. с. 3–5.
4. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путём применения метанола с использованием двойной системы топливоподачи / В. А. Лиханов, О. П. Лопатин, А. А. Анфилатов // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 5. с. 5–8.
5. Анфилатов, А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 2Ч 10,5/12,0 путём применения метанола с двойной системы топливоподачи. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Санкт-Петербург, 2009. — 18 с.
6. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле / В. А. Лиханов, А. Н. Чувашев, А. А. Глухов, А. А. Анфилатов // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 3. с. 4–5.
7. Улучшение эффективных и экологических показателей дизеля при работе на метаноле / В. А. Лиханов, А. Н. Чувашев, А. А. Глухов, А. А. Анфилатов // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 4. с. 10–13.

Экспертиза промышленной безопасности зданий на примере обрубочного корпуса ООО «ЛМЗ «МашСталь»

Арискин Максим Васильевич, кандидат технических наук, доцент
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Бердников Александр Геннадьевич, технический директор
ООО «Параметр» (г. Пенза)

Павленко Владимир Валерьевич, магистрант
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Объектом обследования являлось здание обрубочного корпуса ООО «ЛМЗ «МашСталь», построенное в 1973 г., в состав которого входят механический, термообрубочный участки и участок готовой продукции.

Натурное обследование строительных конструкций, прочность бетона несущих конструкций (железобетонных колонн, балок и плит покрытия) производственного здания обрубочного корпуса выполнено в соответствии с требованиями СП 13–102–2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений».

Основными несущими конструкциями каркаса здания корпуса являются:

- отдельно-стоящие фундаменты стаканного типа под колонны из железобетона;
- железобетонные двухветвевые колонны;
- железобетонные стропильные и подстропильные фермы покрытия;
- для совмещенного покрытия здания используют ребристые железобетонные плиты, размером 1,5х6м;
- наружные стены запроектированы из керамзитобетонных панелей, толщиной 300мм, которые опираются на фундаментные балки по периметру здания;

Общая пространственная неизменяемость каркаса обрубочного корпуса, обеспечивается жестким сопряжением

колонн с фундаментами, вертикальными связями по колоннам и жестким диском покрытия.

В конструктивном отношении здание запроектировано одноэтажным в полном железобетонном каркасе. Размеры в плане 160х120, полезная высота принята 16м до низа стропильной фермы покрытия. Сетка колонн принята 24х6м. Общий объем здания составляет 178272 м³.

Механический участок имеет габаритные размеры по осям 72х36 м. Площадь составляет 864 м², объем 13824 м³. На участке работают мостовые краны грузоподъемностью 20/5т.

Термообрубочный участок имеет габаритные размеры по осям 72х96 м. В пролётах имеются светоаэрационные фонари, изготовленные из металлических ферм. Площадь составляет 6912 м², объем 110592 м³. На участке работают мостовые краны грузоподъемностью 20т., 20/5т., 5т.

Участок готовой продукции имеет габаритные размеры по осям 24х120 м. Площадь участка составляет 2880 м², объем 46080 м³. На участке работают мостовые краны грузоподъемностью 10т., 50/10т.

Основными задачами обследования являются:

- выполнение обмерных работ строительных конструкций;
- выявление дефектов и повреждений конструкций;



Рис. 1. Общий вид обрубочного корпуса. Механический участок



Рис. 2. Общий вид пролёта здания со светоаэрационным фонарём

- определение фактической прочности строительных материалов;
- оценка прочности строительных конструкций;
- оценка соответствия здания предъявляемым к нему требованиям промышленной безопасности;
- определение возможности дальнейшей безопасной эксплуатации строительных конструкций и рекомендации по устранению имеющихся повреждений и дефектов;

Инструментальное обследование конструкций проводилось при фотофиксации цифровой камерой поврежденных участков. Все работы выполнялись в соответствии с нормативно-технической документацией.

Прочность бетона определялась приборами для неразрушающего метода. В основном наиболее надёжным и определяющим в данном случае оказался «ОНИКС — 2.6», «Импульс 2.0».

При обследовании монолитных фундаментов и цокольных панелей здания, было выявлено нарушение гидроизоляции панелей. Прочность бетона фундаментов 10–15МПа.

Колонны здания имеют сколы защитного слоя, с оголением рабочей арматуры. Прослеживается замачивание поверхности колонны.

Конструкции вертикальных связей имеют наружные механические повреждения, погибы. Отслоение лакокрасочного покрытия. Следы коррозии.

При обследовании подстропильных и стропильных ферм было выявлено замачивание поверхности ферм, отслоение защитного слоя ферм, без оголения рабочей арматуры.

Ограждающими конструкциями здания являются железобетонные стеновые панели, железобетонные плиты покрытия и кирпичные стены, состояние которых можно оценить как удовлетворительное. Обследование выявило наличие выветривания швов плит, частичное разрушение ограждающих стеновых панелей, отсутствие остекления, замачивание плит покрытия, наличие сколов и выбоин с оголением арматуры.

При обследовании кровли корпуса, было выявлено нарушение кровельного покрытия, отсутствие защитной стеки, в зоне светоаэрационного фонаря.



Рис. 3. Замачивание поверхности колонны



Рис. 4. Оголение рабочей арматуры



Рис. 5. Повреждение вертикальной связи



Рис. 6. Замачивание поверхности ребристой плиты покрытия

В здании полы выполнены из бетона В15 и уложенной по нему металлической плитки. Отмостка здания частично разрушена.

Выполненные натурные испытания основных несущих конструкций каркаса здания позволяют сделать следующие выводы:

- нарушение гидроизоляции цокольных панелей;
- сколы защитного слоя колонн, с оголением рабочей арматуры, замачивание колонн;
- замачивание поверхности ферм, сколы защитного слоя ферм, без оголения рабочей арматуры;
- выветривание швов плит ограждающих конструкций, частичное разрушение ограждающих плит, за-

мачивание плит покрытия, сколы и выбоины в плитах покрытия, без оголения арматуры, отсутствие остекления;

– нарушение целостности кровельного покрытия, отсутствие защитной сетки в районе светоаэроэрозионного фонаря;

– частичное разрушение отмостки;

По результатам обследования выполнены поверочные расчеты с применением моделирования здания [1,2,3,4,5,6,7] и составлено заключение экспертизы промышленной безопасности, все выше изложенные нарушения целостности строительных конструкций на момент написания статьи устранены.

Литература:

1. Арискин, М. В., Гарькин И. Н. Теоретические исследования напряжено-деформируемого состояния в составной балке // Молодой ученый. — 2014. — № 11. — с. 37–40.
2. Арискин, М. В. Совершенствование клеюметаллических соединений деревянных конструкций с применением стальных шайб // диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук/Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза 2011
3. Арискин, М. В., Гуляев Д. В., Агеева И. Ю., Гарькин И. Н. Теоретические исследования напряженно-деформированного состояния элементов соединений на вклеенных шайбах [Текст] // Молодой ученый. — 2013. — № 2. — с. 27–31.
4. Арискин, М. В., Гуляев Д. В., Агеева И. Ю. Изготовление соединений на вклеенных стальных шайбах / Альманах современной науки и образования. 2013. № 6 (73). с. 13–15.
5. Арискин, М. В., Д. В. Гуляев, И. Ю. Агеева, Гарькин И. Н. Применение многорядных соединений в деревянных конструкциях в практике строительства [Текст] // Молодой ученый. — 2013. — № 5. — с. 35–38.
6. Арискин, М. В., Гуляев Д. В., Гарькин И. Н., Родина Е. В. Экономическая эффективность проектирования в комплексе Allplan по сравнению с существующими САД-системами [Текст] // Молодой ученый. — 2013. — № 5. — с. 32–35.
7. Арискин, М. В., Гуляев Д. В., Гарькин И. Н., Агеева И. Ю. Современные тенденции развития проектирования в строительстве [Текст] / М. В. Арискин [и др.] // Молодой ученый. — 2012. — № 10. — с. 31–33.

Повышение безопасности при аварии с выбросом горящих облаков

Астафьева Наталья Владимировна, аспирант
Российский государственный социальный университет (г. Москва)

С учетом теоретических основ подавления горения описаны способы тушения газо-паровоздушных облаков. Выделены основные направления, обеспечивающие повышение безопасности объектов. Предложен способ реализации профилактических мероприятий, который существенно повышает безопасность на объектах связанных с добычей, транспортировкой, переработкой, хранением и использованием углеводородных продуктов.

Ключевые слова: горение газо-воздушных облаков, пожары, предупреждение и подавление горения, двустенные резервуары.

Человечество живёт и процветает благодаря техническому прогрессу. А современная экономика немислима без использования веществ, которые, к большому сожалению, по различным причинам могут воспламениться и гореть в обычных атмосферных условиях.

По статистике самые крупные пожары происходят на объектах, которые связаны с добычей, транспортировкой,

переработкой, хранением и использованием углеводородных продуктов.

К таким объектам относятся: нефтеперерабатывающие предприятия, автозаправочные станции, объекты газового хозяйства, жилые газифицированные здания [1–4].

В России средняя частота пожаров с серьезными последствиями, по отраслям нефтяной и нефтеперерабаты-

вающей промышленности составляет 12 пожаров в год. Наиболее опасными для возникновения пожара является весенне-летний период, на долю которого приходится около 73% от общего числа пожаров. Вместе с тем установлено, что наиболее интенсивно пожарные подразделения работают в зимний период.

Средняя продолжительность тушения пожаров в резервуарах в зимнее время составляет 8,5 часов (при температуре ниже минус 25 °С — 10 часов), в весеннее и осеннее время — 6,6 часа, в летнее время — 5,5 часа [15].

Большинство пожаров, происшедших зимой, носило затяжной характер и требовало сосредоточения значительного количества сил и средств.

Под пожаротушением подразумевается комплекс мероприятий, направленных на ликвидацию возникшего пожара. Поскольку для возникновения и развития процесса горения, обуславливающего явление пожара, необходимо одновременное сочетание горючего вещества, окислителя и непрерывного потока тепла от очага пожара к горючему материалу, то для прекращения горения достаточно исключить какой-либо из этих элементов.

Скорость реакции описывается законом действующих масс и уравнением Аррениуса:

$$W = A \cdot c_r^a \cdot c_o^b \cdot e^{-\frac{E}{RT}} \quad (1)$$

где A — коэффициент;

c — концентрация горючего (окислителя);

a и b — константы реакции;

E — энергия активации;

R — газовая постоянная;

T — температура в зоне горения.

Подавление горения, прежде всего, связано с уменьшением скорости реакции, а этого можно добиться уменьшением величины каждого из сомножителей, входящего в это уравнение.

Таким образом, прекращения горения можно добиться снижением содержания горючего компонента, уменьшением концентрации окислителя, увеличением энергии активации реакции и, наконец, снижением температуры процесса. Для этой цели существуют следующие способы пожаротушения применительно к горению газо-паровоздушной смеси:

- охлаждение очага горения или горящего материала ниже определенных температур;
- изоляция очага горения от воздуха или снижение концентрации кислорода в воздухе путем разбавления негорючими газами;
- торможение (ингибирование) скорости реакции окисления;
- механический срыв пламени сильной струей газа или воды;
- создание условий огнепреграждения, при которых пламя распространяется через узкие каналы, сечение которых ниже тушащего диаметра [3].

Для реализации перечисленных способов пожаротушения, можно выделить основные направления которые обеспечивают повышение безопасности объектов:

1. Профилактические мероприятия, направленные на предотвращение образования газо-паровоздушной смеси взрывоопасной концентрации, и ее воспламенения: а) огнезащитные покрытия; б) комплексные антикоррозионные покрытия; в) огнезащитная система например «Эндотерм ХТ-150», которая представляет собой три слоя покрытий; г) установка или монтаж оборудования, исключающие скопление опасных веществ в опасной концентрации; д) использование предохранительных конструкций (ПК) [7]; е) молниезащита; ж) обвалование или ограждение хранилищ.

2. Тушение пожара различными способами и средствами: огнетушащие вещества (вода, пена, инертные негорючие газы, огнетушащие порошки) [1, 5].

Виды пожарной техники, которые подразделяются на группы:

1. Пожарные машины.
2. Установки пожаротушения.
3. Огнетушители.
4. Средства пожарной сигнализации
5. Пожарные спасательные устройства.
6. Пожарный ручной инструмент.
7. Пожарный инвентарь.

В настоящее время в качестве средств тушения используют:

- воду, которая может подаваться в очаг пожара сплошными или распыленными струями;
- пены (воздушно-механическая и химическая), представляющие собой коллоидные системы, состоящие из пузырьков воздуха (в случае воздушно-механической пены) или диоксида углерода (в случае химической пены), окруженных пленками воды;
- инертные газовые разбавители (диоксид углерода, азот, аргон, водяной пар, дымовые газы);
- гомогенные ингибиторы — низкокипящие галогенуглеводороды (хладоны);
- гетерогенные ингибиторы — огнетушащие порошки;
- комбинированные составы [1].

В некоторых литературных источниках написано, о недостаточности проведения профилактических мероприятий, ввиду износа оборудования на объектах газовой и химической промышленности и предлагаются методы подавления пожара. Хотелось бы с этим не согласиться, так как экономически выгодней устанавливать существующие надёжные, долговечные конструкции, которые могут использоваться на объектах повышенной опасности.

Одной из таких конструкций является установка ёмкостей с двойными стенками.

Резервуары с двойными стенками представляют собой конструкцию, состоящую из пары вставленных друг в друга герметичных емкостей, пространство между ко-

торыми может быть заполнено инертным газом, негорючим газом, демпфирующей жидкостью, воздухом с пониженным давлением или вакуумом, теплоизоляционным материалом.

Двустенные резервуары используются для хранения взрывоопасных и легко воспламеняющихся веществ, сжиженных газов или нефтепродуктов легких фракций. Они могут иметь цилиндрическую, шарообразную или прямоугольную форму.

Демпфирующая жидкость, используемая для заполнения пространства между стенками емкости, должна иметь высокую плотность, выше, чем у реагента хранения, она должна быть инертна, и не должна обладать способностью к самовоспламенению до ста градусов Цельсия. К таким жидкостям относят незамерзающие жидкости — антифризы, например, тосол или этиленгликоль.

Пространство между стенками резервуара должно быть заполнено демпфирующей жидкостью полностью, без примеси воды или воздушных пузырей. Для контроля герметичности двустенного резервуара в пространство между стенками могут быть установлены датчики давления или состава демпфирующей жидкости. Датчики давления или состава демпфирующей жидкости позволяют обнаружить наличие частичного или полного нарушения герметичности емкости и принять необходимые меры.

Наличие в пространстве между стенками резервуара инертного газа или незамерзающей жидкости позволяет исключить возможность утечки взрывоопасных, ядовитых или легко воспламеняющихся жидкостей. Кроме этого в таком резервуаре исключается накопление взрывоопасных паров горючей жидкости в пространстве между стенками, что повышает безопасность эксплуатации и снижает вероятность самовозгорания топлива.

Двустенные резервуары можно устанавливать без заглубления в грунт, с частичным или полным его заглублением в грунт. При качественной гидроизоляции внешней поверхности резервуара допустимо заглубление его даже во влажную плотную почву. При заглублении в грунт выше уровня зимнего промерзания почвы, двустенные резервуары могут оснащаться датчиками температуры и подогревателями, например, при хранении дизельного топлива во избежание его сгущения при низких температурах [16].

Резервуары, полностью заглубленные в грунт, необходимо защищать от коррозии полимерными пленками, акриловыми или битумными лаками, а также дренажной песчаной подушкой. Для защиты от коррозии надземных элементов и трубопроводов, их покрывают влагостойкими красками с добавлением алюминиевой пудры. Наружные части двустенных резервуаров закрывают от попадания атмосферных осадков влагозащитными козырьками или крышей [16].

Подземные двустенные резервуары могут использоваться для длительного хранения горюче-смазочных веществ или химических реагентов.

Основным достоинством таких хранилищ является возможность полезного использования площади, зани-

маемой резервуаром, эксплуатационная безопасность, а также отсутствие необходимости в периодическом обслуживании резервуара. При использовании для изготовления современных композитных материалов и нержавеющей сталей, срок эксплуатации двустенного резервуара может достигать пятидесяти и более лет [16].

Ещё одним из достоинств применения таких сосудов является то, что их можно устанавливать в местах с плотной застройкой, так как нет необходимости иметь необходимую зону безопасности, как при использовании одностенных ёмкостей.

Наличие простых датчиков, контролирующих пространство между стенками ёмкости значительно упрощает контроль за состоянием как внешней, так и внутренней оболочки. Позволяет легко автоматизировать процесс контроля с использованием современной цифровой техники, что в свою очередь позволяет это осуществлять удалённо, с меньшими затратами (нет необходимости в персонале осуществляющим контроль и обслуживание) и исключая, что немаловажно, «человеческий фактор».

При ликвидации аварий с разливами сжиженных газов одной из главных задач является борьба с загазованностью. Парогазовая фаза при аварии (первичное облако), так и разлива вещества (вторичное облако), представляет токсикологическую опасность.

Первичное облако существует десятки-сотни секунд, рассеиваясь по направлению ветра, однако характеризуется пиковой концентрацией вещества, приводящей к гибели людей.

Вторичное облако создает устойчивый фон воздействия разлившегося и испаряющегося продукта с высокими концентрациями в течение длительного времени (десятки минут — часы).

При аварийных разливах и выбросах горючих газов появляются дополнительные по сравнению с легковоспламеняющимися и горючими жидкостями (ЛВЖ и ГЖ) опасные факторы:

быстрообразующиеся пожаровзрывоопасные облака, распространяющиеся на большие расстояния, способные, кроме того, вызвать отравление или удушье человека;

– высокая среднеповерхностная плотность теплового излучения пламени (для пожара разлива СПГ — 220 кВт · м⁻²); высокотемпературный горящий факел, возникающий при истечении паровой и (или) жидкостной фазы СПГ;

– низкие температуры при аварийных выбросах, способные вызвать обморожение и гибель человека, приводящие также при определенных условиях к потере прочности и функционального назначения материалов и конструкций резервуаров и технологического оборудования [8].

Для анализа процессов, происходящих при аварийных выбросах горючих газов, проанализируем дерево событий и основные параметры опасности для аварийных ситу-

аций с полным разрушением (рис. 1) и локальным разрушением (рис. 2) резервуара [5].

воздуха и рассеивание паровоздушного облака, при давлении воды не менее 0,6 МПа составляет:

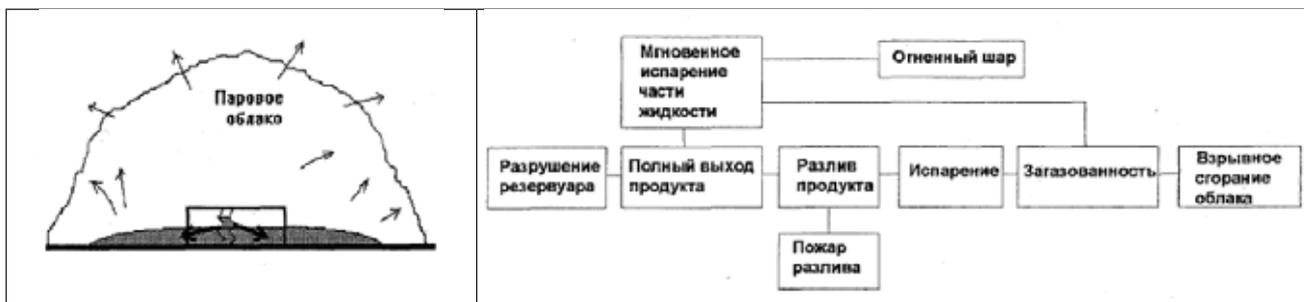


Рис. 1. Дерево событий при полном разрушении резервуара



Рис. 2. Дерево событий при локальном разрушении резервуара

В нашей стране и за рубежом чаще всего, как правило, используются «подручные» средства (стволы с насадками-распылителями, турбинные и веерные распылители и т.п.). Однако, нормативные документы по применению водяных завес для борьбы с загазованностью при авариях, связанных с выбросами горючих газов и токсичных веществ, не разработаны.

Применение водяных завес исследуются в научных работах (диссертациях) где определены оптимальные параметры и найдены эффективные средства, способы, условия создания и применения защитных водяных завес [1, 8, 10–15].

Подтверждены литературные данные, где предполагается, что главным в процессе применения водяных завес является разбавление парогазовой смеси воздухом, захватываемым водяными струями. Водяная завеса смешивает воздух с горючими газами, уменьшая концентрацию газов в ГВС до безопасных концентраций.

Эффективный размер завесы, т.е. размер области, в которой происходит интенсивный захват окружающего

- высота завесы 6–7 м;
- ширина водяной завесы 12–14 м;
- площадь 50–70 м²;
- толщина — 1 м [8].

Применение водяных завес, создаваемых с помощью распылителей, способно снижать интенсивность теплового излучения в 2,8–3 раза.

Механизм снижения теплового излучения водяными завесами основан на частичном отражении и поглощении каплями и струями воды тепловой радиации горящего факела.

Выводы

На объектах хранения, транспортировки, переработки сжиженных и криогенных горючих газов и токсичных веществ, при борьбе с загазованностью, существенно позволит повысить безопасность и эффективность деятельности пожарных применение защитных водяных завес. Но целесообразнее выполнять профилактические меропри-

Таблица 1. Определение интенсивности теплового излучения при горении пролива сжиженного пропана без завесы и при наличии защитной водяной завесы [8].

Интенсивность теплового излучения (без завесы), кВт/м ²	4.2	6.4	6.7	8.3
Интенсивность теплового излучения (при наличии завесы), кВт/м ²	1.4	2.2	2.4	2.8

ятия, направленные на предотвращение образования газо-паровоздушной смеси взрывоопасной концентрации, и ее воспламенения, чтобы предупредить опасность для здоровья и жизни людей и нанесения материального ущерба.

Одним из таких эффективных мероприятий является установка двустенных резервуаров, которые:

- позволяют полезно использовать площади, занимаемой резервуаром;
- нет необходимости в периодическом обслуживании;
- эксплуатационная безопасность;
- срок эксплуатации может достигать пятидесяти и более лет;

– можно устанавливать в местах с плотной застройкой;

– наличие простых датчиков, контролирующих пространство между стенками ёмкости значительно упрощает контроль за состоянием как внешней, так и внутренней оболочки;

– позволяет легко автоматизировать процесс контроля с использованием современной цифровой техники, что в свою очередь позволяет это осуществлять удалённо, с меньшими затратами (нет необходимости в персонале осуществляющим контроль и обслуживание) и исключая, что немаловажно, «человеческий фактор».

Литература:

1. Акатьев, В.А. Основы взрывопожаробезопасности. — М.: Издательство РГСУ, 2008. — 552 с.
2. Бейкер, У., Кокс П., Уэстайн П., Кулеш Дж., Стрелу Р. Взрывные явления. Оценка и последствия. — М.: Мир, 1991. — 319 с.
3. Бесчастнов, М.В. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение. — М.: Химия, 1991. — 164 с.
4. Ларионов, В.И., Акатьев В.А., Александров А.А. Риск аварий на автозаправочных станциях // Безопасность труда в промышленности, 2004. — № 2. — С.44–48.
5. Маршалл, В.М. Основные опасности химических производств. Пер. с англ. — М.: Мир, 1989. — 152 с.
6. Методика прогнозирования и оценки обстановки при выбросах в окружающую среду хлора, аммиака и других аварийно химически опасных веществ // М.: ВНИИ ГОЧС, 1997. — 34 с.
7. Пилюгин, Л.П. Обеспечение взрывоустойчивости зданий с помощью предохранительных конструкций. — М.: Ассоциация «Пожарная безопасность и наука», 2001. — 224 с.
8. Сенчишак, Т.И. Защитные водяные завесы для борьбы с газо-паровоздушными облаками горючих газов и токсичных веществ // Диссертация, 2009. — 136 с.
9. Erown, L. E. Small Scale Test on Control Methods for Some Liquefied Natural Gas Hazards. // Coast Gusrd Report № CG-D-95–76, 1976.
10. Rothe, P.H., Block, J.A. Aerodynamic Behavior of Liquid Spays. // Int. J. Miltiphase Flow, 3, p. 263, 1977.
11. Zalosh, R.G., Alpart, R.L., Heskeetad, G. Dispersal of LNC Vapor Clouda With Water Spray Curtains. // Institution of Chemical Engineera Sympoalum on Containment and Dispersion of Flaimmable and Toxic Cases with Water Sprays. Manchester, England, November II, 1985.
12. Meroney, R. N. Wind Timnel Experiments on Dense Gas Dispersion. // Special Issue, Jour. Hazardous Materials, 6, 1985.
13. Heskestad, G., Kung, B.C., Todtenkopf, N. Air Entrainment Into Water Sprays and Spray Curtains. // ASME Paper No. 76-WAyFE-40, 1976.
14. <http://5fan.ru/> - Оценка экономической эффективности мероприятий по снижению пожарного рис.
15. <http://sbk.ltd.ua/> — Подземные резервуары АЗС: одностенные емкости, двустенные — с двойной защитной стенкой.

Исследование технологических и хлебопекарных свойств зерна пшеницы, обработанного биологическим препаратом нового поколения

Бабарыкин Евгений Владимирович, магистрант;

Дудко Мария Андреевна, магистрант;

Сокол Наталья Викторовна, доктор технических наук, профессор

Кубанский государственный аграрный университет (г. Краснодар)

Важнейшей задачей, определяемой Доктриной продовольственной безопасности, является государственная гарантия качества потребляемых продуктов

питания. Однако нарушение системы государственных закупок, неудовлетворительное состояние современной базы сельскохозяйственного производства, хранения

и переработки зерна привели к сокращению объемов производства и реализации высококачественного зерна. В связи с этим проблема формирования качества зерна повышенной пищевой ценности, продуктов его переработки, в первую очередь хлебобулочных изделий, является актуальной, направленной на обеспечение продовольственной безопасности России [4, с. 14, 5, с.16].

В связи, с чем была определена цель исследований — изучение влияния обработки пшеницы биологическим препаратом нового поколения — биофунгицидом на технологические и хлебопекарные свойства зерна пшеницы.

Растения обрабатывали препаратом в фазу колошения 10.05.2014 г. В опытных посевах использовали зерно озимой мягкой пшеницы сорта Юка, селекции Краснодарского НИИСХ им. П. П. Лукьяненко.

Урожай зерна в опыте с обработкой биофунгицидом на опытном поле в 2014 году составил 59,3 ц/га, в то время как на контрольном поле без обработки урожай зерна был 58,7 ц/га. Следует отметить, что наибольший сбор зерна был отмечен в эксперименте с обработкой биопрепаратом.

Оценку качества зерна, муки и хлеба в опытном и контрольном образцах, проводили в лаборатории технологии и биохимии зерна Краснодарского научно-исследовательского института им. П. П. Лукьяненко.

Качество зерна пшеницы — понятие комплексное [2, с.31]. Оно включает ряд показателей, характеризующих его мукомольные и хлебопекарные свойства. Оценка качества зерна в образцах с обработкой зерна биофунгицидом и контрольном — без обработки препаратом представлена в таблице 1.

Натура зерна один из наиболее распространенных показателей технологических свойств зерна пшеницы, на ее величину влияют: примеси, состояние поверхности зерна, его форма, крупность, плотность, влажность, пленчатость, зрелость и выполненность зерна, масса 1000 зерен, выравненность. Натура служит ориентировочным показателем мукомольной и крупяной оценки зерна. Из высококачественного зерна получают больший выход муки и крупы [1, с.3].

В наших исследованиях натура зерна в контрольном образце без обработки была 795 г/л, в варианте с обработкой биологическим препаратом — 781 г/л. Следует отметить, что и в первом и втором образцах зерно классифицируется как высоко натурное.

Показатель масса 1000 зерен является важной характеристикой структуры урожая. В контрольном образце этот показатель был незначительно выше, на 0,7г по сравнению с опытным образцом.

Стекловидность — также один из важных показателей качества зерна. По стекловидности определяют содержание белка, мукомольные и хлебопекарные свойства пшеницы. Для сильной пшеницы этот показатель должен быть не менее 60%. В стекловидном зерне всегда больше белка, качество клейковины лучше, чем в мучнистом или полустекловидном зерне. Большая стекловидность зерна озимой мягкой пшеницы Юка, отмечена при обработке биофунгицидом — 69%.

Содержание белка в зерне характеризует его биологическую ценность. Нами был определен показатель седиментации, косвенно характеризующий накопление клейковинных белков и показатель содержания белка по Кьельдалю [6, с.111].

В экспериментальном образце с обработкой пшеницы в колошение, содержание белка составило — 15,6%, в контрольном образце — 12,2%, следовательно, можно отметить, что обработка препаратом биофунгицидом положительно сказалась на формировании белкового комплекса.

В муке, полученной из зерна сорта Юка, по двум вариантам опыта определяли количество и качество клейковины (таблица 2).

Клейковине принадлежит главная роль среди факторов, влияющих на технологические свойства зерна, так как она является структурной основой теста и хлеба. По содержанию массовой доли сырой клейковины, в варианте с обработкой пшеницы биофунгицидом муку можно охарактеризовать как к сильную, так как показатель имел значение 29,4% сырой клейковины и показатель качества на приборе ИДК — первой группы. В контрольном варианте содержание клейковины было 21,0% с показателем качества на приборе ИДК — 50 единиц, что соответствует качеству муки общего назначения.

Изучение реологических свойств теста на приборах альвеограф и фаринограф, характеризующих хлебопекарные свойства муки показало, что обработка посевов биофунгицидом положительно сказалась на показателях, характеризующих силу муки [3, с.28].

Результаты изменения структурно-механических свойств теста представлены в таблице 3.

Таблица 1. Сравнительная оценка качества зерна сорта Юка, ур.2014 г.

Показатели качества	Варианты опыта	
	Контроль (без обработки)	обработка биофунгицидом
Натура, г/л	795	781
Масса 1000 зерен, г	35,2	34,2
Стекловидность,%	67	69
SDS седиментация, мл	102	112
Белок,%	12,2	15,6

Таблица 2. Качественные характеристики муки

Показатель	Вариант 1 (контроль)	Вариант 2 (обработка биофунгицидом)
Массовая доля сырой клейковины, %	21,6	29,4
Качество сырой клейковины, ед. пр. ИДК	50	56

Таблица 3. Влияние обработки пшеницы биофунгицидом в фазу колошения на реологические свойства теста

Наименование показателя	Варианты опыта	
	Вариант 1 (контроль)	Вариант 2 (обработка биофунгицидом)
Фаринограф		
Водопоглотительная способность, %	55,1	56,4
Время образования теста, мин	2,5	10,0
Устойчивость теста, мин	13,5	16,5
Разжижение теста, ед. пр.	35	80
Валориметрическая оценка, ед. пр.	56	76
Альвеограф		
Сила муки (W), е. а.	157	269
Упругость теста (P), мм	82	78
Отношение P/L	1,74	0,83

Оценивая влияние обработки пшеницы в период колошения зерна биофунгицидом на изменение реологических свойств теста из муки, полученной из зерна контрольного образца и с применением обработки биопрепаратом, установили, что обработка биопрепаратом улучшает структурно — механические свойства теста. В экспериментальном образце отмечено увеличение водопоглотительной способности теста, времени образования теста с 2,5 минут до 10,0 минут, показателя устойчивости теста и как результат — высокая валориметрическая оценка, которая составила 76 ед. пр. Валориметрическая оценка контрольного образца была 56 ед. прибора.

Обработка посевов пшеницы в колошение биопрепаратом оказала значительное влияние на растяжимость и упругость теста. Отношение P/L в случае обработки пшеницы биофунгицидом было равно 0,83, без обработки препаратом 1,74, откуда следует, что наиболее пластичным в разделке будет тесто с отношением P/L 0,83,

так как оно близко к идеальному варианту, когда P/L стремится к 1. Большая удельная деформация теста сформировалась в экспериментальном образце и была равна 269 е. а., за счет благоприятного соотношения показателей упругости и растяжимости.

Влияние обработки пшеницы биофунгицидом на хлебопекарные свойства пшеничной муки оценивали путем пробной лабораторной выпечки. Результаты хлебопекарной оценки представлены в таблице 4.

Оценка качества хлеба показала, что по таким показателям как средний вес хлеба, объемный выход, форма хлеба и общая хлебопекарная оценка образец, выпеченный из муки, произведенной из зерна пшеницы обработанной биопрепаратом, превосходит контрольный образец.

На основании полученных экспериментальных данных по комплексу показателей качества зерна, муки и хлеба образца, обработанного биофунгицидом в фазу колошения можно сделать вывод, что обработка препаратом

Таблица 4. Влияние обработки пшеницы биофунгицидом на показатели качества хлеба

Наименование показателя	Значение показателя	
	Контроль (без обработки)	Обработка биофунгицидом
Средний вес хлеба, г	128	130
Объемный выход, см3	820	910
Отношение h\`d	0,64	0,64
Цвет мякиша, балл	5,0	5,0
Эластичность, балл	4,0	4,0
Пористость, балл	3,0	2,5
Форма хлеба, балл	4,0	4,7
Общая хлебопекарная оценка, балл	4,3	4,4

положительно повлияла на формирование белкового комплекса зерна, улучшение реологических свойств теста,

объемный выход хлеба, формоустойчивость и общую хлебопекарную оценку.

Литература:

1. Казарцева, А. Т. Систематизация признаков качества зерна в селекции озимой мягкой пшеницы / А. Т. Казарцева, Р. А. Воробьева, Н. В. Сокол // Сельскохозяйственная биология. — 1990. — № 5. — С.3
2. Казарцева, А. Т. Селекционно-генетические исследования признаков качества зерна пшеницы / А. Т. Казарцева, Р. А. Воробьева, Н. В. Сокол, Ф. А. Колесников // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. — 1993. — № 1 — С.31.
3. Сокол, Н. В. Эколого-генетический анализ изменчивости признаков качества зерна / Н. В. Сокол, А. Т. Казарцева, В. А. Драгавцев, Ф. А. Колесников // Селекция и семеноводство. — 1993. — № 4 — С.28.
4. Сокол, Н. В. Применение культуры тритикале и яблочного пектинового экстракта в производстве хлеба функционального назначения / Н. В. Сокол, Л. В. Донченко, Б. В. Мисливский, С. А. Круглякова // Хлебопечение России. — 2003. — № 1. — С.14–15.
5. Сокол, Н. В. Нетрадиционное сырье в производстве хлеба функционального назначения / Н. В. Сокол, Н. С. Храмова, О. П. Гайдукова // Хлебопечение России. — 2011. — № 1. — С.16–18.
6. Щеколдина, Т. В. К вопросу повышения биологической ценности хлеба и хлебобулочных изделий / Т. В. Щеколдина // Молодой учёный. — 2015. — № 5.1 (85.1). — с. 111–113.

Обзор оксо-биоразлагаемых добавок используемых для утилизации упаковочных материалов

Бахаева Анастасия Николаевна, студент;

Ивановский Сергей Константинович, студент

Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова (Челябинская область)

В РФ ежегодно образуется 60 млн. т твердых бытовых отходов, более 80% из которых создается населением, а оставшиеся — предприятиями. Из этого объема только 2,5–3 млн. т идет на переработку, остальное размещается на полигонах и свалках, в том числе несанкционированных.

Федеральная служба в сфере природопользования ведет борьбу с незаконными местами захоронения отходов, проводя регулярные проверки, но улучшение ситуации невозможно без создания дополнительных санкционированных площадок (в 45% регионах страны проектная мощность полигонов не соответствует установленным нормам накопления отходов) и повышения доли отходов, вовлекаемых в переработку.

Переполнение полигонов и свалок объясняется не только устаревшими нормами образования отходов, но и отсутствием подготовки отходов к размещению: сортировки, прессования с использованием современных технологий. Мусор утрамбовывается тракторами-уплотнителями, что обеспечивает низкую эффективность заполнения полигона.

Невысокий процент вовлечения мусора в переработку связан с отсутствием достаточного количества предприятий по утилизации отходов. Затраты на переработку отходов значительно выше затрат на их захоронение. Однако при этом не учитываются экологические потери. [1, 2]

Отходы полимеров, в том числе и упаковочных материалов, подвергаются либо захоронению в земле, либо утилизации, которая осуществляется по одному из трех направлений: сжигание, пиролиз, рециклинг. Из полимерных отходов можно получать композиционные материалы с различными наполнителями [3,4,5], а также использовать вторичные полимеры для получения материалов с разнообразными свойствами [6,7]. Одним из наиболее эффективных способов решения проблемы полимерного мусора является производство биоразлагаемых полимеров, способных разлагаться в природе с образованием безвредных веществ.

Несколько лет тому назад тема биоразлагаемых полимеров и их производство казались совершенно иллюзорными. Резкие скачки цен на углеводороды привели к тому, что биологическое сырье для производства пластика сегодня является вполне конкурентоспособным (цены на сельскохозяйственное сырье и продукты его производства, не столь подвержены мировым колебаниям).

Биоразлагаемые полимеры отличаются от всех других полимеров тем, что могут относительно быстро разлагаться под влиянием химических, биологических или физических воздействий. Биоразлагаемость — это способность материала подвергаться разложению на углекислый газ, метан, воду, неорганические соединения или биомассы, при котором преобладающим механизмом является энзимное действие микроорганизмов [8,9].

Биоразлагаемые пластики делятся на две группы:

1. Оксо-разлагаемые — это ПЭ с добавками солей переходных металлов.

2. Биоразлагаемые пластики — изготовлены из крахмала, полилактида. [10]

Оксоразлагаемые пластики — это полиэтилен с добавками солей переходных металлов: кобальта, никеля, железа. Разложение таких пластиков в естественных условиях происходит в два этапа. На первом этапе под действием света и кислорода происходит распад пластикового изделия на мелкие фрагменты. На втором этапе их судьба не ясна. Несмотря на то, что многие производители утверждают, что эти фрагменты полностью расщепляются микроорганизмами, независимое исследование, проведенное в соответствии с международными стандартами, показало, что за 350 дней лишь 15% оксоразлагаемого полиэтилена разлагается в почве до диоксида углерода [11].

За последние годы в различных странах появились фирмы, предлагающие биоразлагаемые гранулированные добавки (суперконцентраты) для серийных полимерных материалов типа ПЭ, ПП, ПС и др. (табл. 1).

В целом известны биоразлагаемые добавки на основе модифицированного крахмала (Италия, США Бело-

руссия), молочной кислоты, целлюлозы и хитозана. Среди них выделяются оксо — биоразлагаемые добавки (ЕС, США, Канада, Великобритания, Норвегия), представляющие собой соединения, содержащие ионы металлов в форме карбоксилатов, которые действуют в полимерах как ускорители фото- и термического окисления и отличающиеся от биоразлагаемых добавок более высокой эффективностью при низких концентрациях (1–3%) и способностью разлагаться как под действием УФ — света, так и микроорганизмов. По стоимости оксо — биodeградирующие добавки фирмы

Masterbatch (USA) в 10 раз дешевле полилактида.

Процессы биоразложения отходов полимерных материалов в природных условиях являются мало изученными из-за их новизны, сложности и отсутствия быстрой экономической выгоды. Для их более глубокого исследования необходимо разработать теоретические основы механизма регулирования биоразложения и иметь средства для количественной оценки происходящих процессов. Дело в том, что известные на рынке типы биоразлагаемых полимерных материалов и полимерные материалы с оксо-биоразлагаемыми добавками разлагаются по разному не только по скорости, но и по механизму де-струкции [12, 13].

Таблица 1. Торговое название, основные изготовители и характеристика оксо — биоразлагаемых добавок

Торговое название	Компания-изготовитель	Характеристика
PDQ-H	Willow Ridge Plastics Inc.	Добавка, принцип действия которой основан на уменьшении молекулярной массы основного полимера (для улучшения биологического разложения) под действием УФ-излучения и окислительных сред. Разлагается УФ-излучением и микроорганизмами.
ECM	ECM BioFilms, Inc	Добавка разлагается микроорганизмами
Bio-Batch	Bio-Tec Environmental	Добавка разлагается микроорганизмами
TDPA	Environmental Products Inc. (EPI)	Изготавливается по индивидуальным заказам. Помимо полностью биоразлагающих добавок, компания поставляет и экологические полимерные пленки
Renatura	Nor-X Industry AS	Содержит уникальный ингредиент на основе железа (собственная разработка компании) и используется в основном для биоразложения полиолефинов
Reverte	Wells Plastics Ltd.	Добавки и маточные смеси, содержащие продеграданты из ионов металла для придания основному полимеру фото- и терморазлагаемости. Содержат также уникальный усилитель биоразложения второго этапа, на котором используется модификатор скорости реакции для управления иницированием и сроками оксо-биоразложения.
d2w	Symphony Environmental Ltd.	Продеградантные добавки на основе матричного ПЭ, ПП или ПС. Компания поставляет также полностью разлагаемые ПМ.
P-Life	P-Life Japan Inc.	Смесь катализаторов на основе жирных кислот специальной собственной рецептуры компании. Содержание в основном полимере (ПЭ или ПП): от 0,3 до 1%. Возможно смешивание с гранулами ПМ непосредственно на этапе переработки. Имеет регистрацию FDA и соответствует требованиям директивы RoHS.

Технология производства биоразлагаемой полиэтиленовой пленки ничем не отличается от производства обычной полиэтиленовой. Просто в процессе экструзии

в полиэтилен с помощью дозатора добавляется оксо-биоразлагаемая добавка. Физико-механические свойства биоразлагаемой пленки остаются такими же, как у обычной.

Литература:

1. Утилизация и переработка упаковки. / [Электронный ресурс] — режим доступа: [http:// article.unipack.ru/50604/](http://article.unipack.ru/50604/)
2. Чупрова, Л. В., Муллина Э. Р., Мишурина О. В., Ершова О. В. Исследование возможности получения композиционных материалов на основе вторичных полимеров // Современные проблемы науки и образования. — 2014. — № 4. — с. 212; URL: www.science-education.ru/118-14200 (дата обращения: 20.02.2015)
3. Ершова, О. В., Чупрова Л. В., Муллина Э. Р., Мишурина О. В. Исследование зависимости свойств древесно-полимерных композитов от химического состава матрицы // Современные проблемы науки и образования. — 2014. — № 2. с. 26; URL: www.science-education.ru/116-12363 (дата обращения: 20.02.2015).
4. Ершова, О. В., Муллина Э. Р., Чупрова Л. В., Мишурина О. А., Бодьян Л. А. Изучение влияния состава неорганического наполнителя на физико-химические свойства полимерного композиционного материала // Фундаментальные исследования. 2014. № 12–3. с. 487–491.
5. Ивановский, С. К., Гукова В. А., Ершова О. В. Исследование свойств вспененных композитов на основе вторичных полиолефинов и золы уноса // В сборнике: Тенденции формирования науки нового времени Сборник статей Международной научно-практической конференции: В 4 частях. отв. редактор А. А. Сукиасян. г. Уфа, республика Башкортостан, 2014. с. 18–24.
6. Чупрова, Л. В., Муллина Э. Р. Технологические особенности производства упаковки из вторичного полиэтилентерефталата (ПЭТ) // Молодой учёный. — 2013. — № 5. — с. 123–125.
7. Gukova, V. A., Ershova O. V. The development of composite materials based on recycled polypropylene and industrial mineral wastes and study their operational properties// В сборнике: European Conference on Innovations in Technical and Natural Sciences Vienna, 2014. с. 144–151.
8. Бахаева, А. Н., Ивановский С. К. Оксо-биоразлагаемые полимеры как материал для создания современной упаковки//Молодой ученый. — 2015. — № 5 (85). — с. 122–124
9. Ершова, О. В. Шайбакова Ю. А., Пономарев А. П. Исследование факторов влияния окружающей среды на механические свойства биоразлагаемых полимеров: / Десятая Санкт-Петербургская конференция молодых ученых с международным участием; — СПб, 2013–116 с.
10. Ершова, О. В., Пономарев А. П., Бахаева А. Н. Влияние факторов окружающей среды на механические свойства полиэтилена низкого давления с оксо-биоразлагаемой добавкой D2W// Молодой ученый. — 2014. — № 20. с. 125–128
11. Feuilloley, P. et al. Degradation of Polyethylene Designed for Agricultural Purposes // Journal of polymers and Environment. 2005. № 13. P. 349–355.
12. Пономарев, А. Н., Баранов С. Х., Гоготов И. Н. Нужны ли России биоразлагаемые полимерные материалы? / [Электронный ресурс] — режим доступа: <http://www.polymerbranch.com/viewdoc/2009/10/1190.html>
13. Ершова О. В., Бодьян Л. А., Пономарев А. П., Бахаева А. Н. Влияние химической деструкции на изменение физико-механических свойств упаковочных полимерных пленок с добавкой d2w/// Современные проблемы науки и образования. — 2015. — № 1; URL: <http://www.science-education.ru/121-18362> (дата обращения: 08.04.2015).

Плоскорезущие рабочие органы для обработки почвы с оборотом пласта

Белоусов Сергей Витальевич, старший преподаватель, магистр;
Лепшина Анна Игоревна, студент
Кубанский государственный аграрный университет (г. Краснодар)

В данной статье рассмотрены типы плоскорезущих рабочих органов, испытанных во время проводимых исследований. Указана зависимость характеристики почвы и материала из условий налипания почвы на плоскорезущую поверхность.

Ключевые слова: рабочий орган, энергосбережение, нагрузка, рабочая поверхность, плоскорезущий рабочий орган.

Основной задачей сельского хозяйства Российской Федерации является увеличение объема продукции растениеводства и животноводства на всех этапах ее производства. Одним из важных факторов является замещение импортной продукции на рынке сельскохозяйственной техники. Наиболее трудоемкий процесс в сельском хозяйстве является обработка почвы. Обработка почвы — это приёмы механического воздействия на почву, способствующие объёму продукции сельскохозяйственного производства, повышению производительности труда, объединение усилий всех отраслей комплекса для получения высоких конечных результатов повышению её плодородия и созданию лучших условий для роста и развития растений. Обработка почвы придает пахотному слою оптимально рыхлое строение, улучшает водный, воздушный и тепловой режимы в почвенном слое; активизирует микробиологические процессы в ней, очищает поля от сорняков естественным образом, вредителей и возбудителей болезней с. — х. культур, заделывает в почву удобрения.

Выбор приёма обработки почвы обуславливается климатическими условиями, биологическими особенностями возделываемых культур и их назначением. Эффективность обработки почвы во многом зависит от технологических свойств почвы. Одной из наиболее трудоемкой является обработка почвы оборотом пласта. Основные приёмы об-

работки пахотного горизонта с оборотом пласта следующие: оборачивание — перемещение в вертикальном направлении слоев почвы, различающихся по агрономическим свойствам, например, заделка верхнего расплывленного, бесструктурного и выворачивание нижнего, более.

Лемешные плуги общего назначения еще не исчерпали свой потенциал разработок оригинальных конструкций и новых рабочих органов. Несмотря на появление новых технологий обработки почвы отвальная пахота по-прежнему остаётся актуальной и важной операцией, так как она обеспечивает качественную подготовку почвы под посев сельскохозяйственных культур на самых разнообразных фонах и типах почв. Отвальные плуги являются незаменимыми орудиями, способными глубоко заделывать пожнивные остатки, что способствует уничтожению сорняков, мелких вредителей и болезней сельхоз культур без применения гербицидов.

Методы отвальной вспашки непрерывно совершенствуются, неизменным остаётся только принцип работы плужного корпуса отваливание и оборот пласта в открытую соседнюю борозду.

В то же время отвально-лемешные плуги не лишены ряда серьёзных технологических недостатков: высокая энергоёмкость и малая производительность, уплотнённое дно борозды, недостаточное крошение почвы, неудовлетворительная слитность и выравненность пашни после об-



1



2



3



4

Рис. 1. Типы плоскорежущих рабочих органов, испытанных во время проводимых исследований

работки. Наши исследования направлены на решение всех указанных недостатков данной технологической операции.

Плоскорезущий рабочий орган 1 и 2 (рис. 1) выполнен цельнометаллическим при помощи сваривания двух частей, самой полевой доски и плоскорезущего рабочего органа. Конструктивной особенностью, которого является то, что установка плоскорезущей бритвы со стороны полевой обреза под углом $\alpha = 15-45^\circ$ к направлению движения плуга противоположно углу наклона лемеха плуга, обеспечивает зеркальное отображение лемеха плуга и вызывает поперечное сопротивление по знаку противоположное поперечной составляющей сопротивления почвы лемеху и отвалу плуга. Это приводит к уменьшению результирующей поперечных направлению движению сил, а равно и к уменьшению сил сопротивления трению полевой доски о почву стенки борозды. Между собой конструкция 1 и 2 отличаются шириной захвата плоскорезущего рабочего органа (ширина захвата № 1=0,2м; № 2=0,3м.) [1], [2], [3], [4].

Рабочие органы 2 и 3 также выполнены цельнометаллическими, однако плоскорезущий рабочий орган закреплен на полевую доску под углом, тем самым достигается большая площадь контакта взаимодействия рабочего органа с почвой. При таком конструктивном решении появляется дополнительный угол атаки, что приводит к улучшению качественных показателей работы лемешного плуга.

Особый интерес представляет рабочий орган под № 4. Техническим результатом предлагаемой конструкции является плоскорезущий рабочий орган с дополнительным углом атаки, с обоснованными областями размещения по всей площади прорезей, обеспечивающими снижение тягового сопротивления и качества обработки почвы — полноты подрезания почвы и улучшение качественных показателей работы по всей ширине обработки почвы до полного износа плоскорезущего рабочего органа.

Вышеуказанный технический результат достигается тем, что прорези плоскорезущего рабочего органа расположены в области рабочего органа, учитывающей износ детали в процессе ее эксплуатации, и предельно допустимую общую площадь прорезей, при которой сохраняется требуемая прочность конструкции, обеспечивается более высокая устойчивость работы пахотного агрегата. При данном техническом решении улучшаются количественные и качественные показатели обработки пересушенных почв, а при обработке влажных или переувлажненных почв обработка происходит без налипания и как следствие снижение тягового сопротивления пахотного агрегата.

Более подробно сущность конструкции можно объяснить следующим образом: при обработке почвы почвообрабатывающими рабочими органами возникают граничные поверхности между почвой и поверхностью рабочих органов, а конкретней, между почвой и сталью, а именно между прилегающими друг к другу почвенными

телами — между тонким слоем почвы, налипшей на рабочий орган и пластом почвы, поверхности рабочего органа. В общем случае при таких относительных перемещениях возникают напряжения, действующие поперек поверхности раздела двух тел — пласта почвы о материал плоскорезущего рабочего органа, т.е. о сталь и пласта почвы о почву, налипшую на поверхность рабочего органа. Нормальная составляющая этого напряжения вызывает силы трения скольжения, тангенциальная составляющая которой есть напряжение сдвига, обусловленное трением [3], [6], [7].

По заключению А. Кулен и Х. Куиперс зависимость характеристик почвы и материала из условий налипания почвы на диск можно выразить выражением нормальной составляющей σ_n общего напряжения Р.

$$\sigma_i < \frac{a-c}{\operatorname{tg}\varphi-\mu'}, \quad (1)$$

где a — адгезия;

c — когезия;

φ — угол внутреннего трения;

μ' — коэффициент трения почвы о материал плоскорезущего рабочего органа (сталь).

Следовательно, продвижению почвы без налипания будет способствовать возрастание σ_n . Поэтому в этой связи целесообразно применение плоскорезущего рабочего органа с прорезями, которые увеличивают σ_n , так как

$$\sigma_n = \frac{P_n}{S}, \text{ где } S \text{ — общая площадь контакта почвы с по-}$$

верхностью рабочего органа диска, P_n — нормальная составляющая общего напряжения Р.

Трение почвы при скольжении её по рабочей поверхности и прилипание — явления разные, но они проявляются одновременно. Заметим при этом, что, если сопротивление трению скольжения не зависит от площади их прилегания друг к другу т.е. $F = fN$, то сопротивление скольжению от прилипания зависит от площади их контакта S . Вызываемое ими общее сопротивление скольжению T характеризуется следующим уравнением [4].

$$T = F + T_{np} = fN + p_0S + pNS, \quad (2)$$

где F — сопротивление скольжению почвы о сталь (о поверхность плоскорезущего рабочего органа);

T_{np} — сопротивление скольжению от прилипания;

p_0 — коэффициент касательных сил удельного прилипания при отсутствии нормального давления;

f — коэффициент трения скольжения;

S — площадь контакта почвы с поверхностью плоскорезущего рабочего органа;

p — коэффициент касательных сил удельного прилипания, вызываемого нормальным давлением.

Анализ выражения (2) тоже показывает, что общее сопротивление T можно снизить путем уменьшения площади возможного прилипания. Поэтому с точки зрения снижения тягового сопротивления необходимо повы-

шать площадь прорезей поверхности плоскорежущего рабочего органа и при этом пределом увеличения площади выреза может быть только сохранение требуемой прочности поверхности рабочего органа. Расположение прорезей плоскорежущего рабочего органа с рекомендуемыми геометрическими параметрами обеспечит снижение тягового сопротивления пахотного агрегата, повысит его проходимость при обработке почвы, снизит тяговое сопротивление, обеспечит устойчивое движение пласта почвы и подрезание сорняков по всей ширине обработки, то есть обеспечит достижение технического результата [4].

Анализ проделанной работы свидетельствует о том, что разработка дополнительных рабочих органов для совершенствования процесса основной обработки почвы, дает возможность улучшить качественные и количественные показатели данной технологической операции. Данные качества обработки почвы подтвердились при проведении полевых опытов, а основные конструктивные элементы запатентованы. Использование дополнительных органов заявленной конструкции позволяет производить основную обработку почвы с меньшими затратами на ГСМ и как следствие добиваться более качественных показателей по выращиванию сельскохозяйственной продукции [7], [8], [9].

Литература:

1. Белоусов, С. В., Трубилин Е. И., Бледнов В. А. Агротехнический метод защиты растений от вредных организмов. Материалы VI международной научно-практической конференции Краснодар 17–21 июня 2013 года. стр. 125–134
2. Белоусов, С. В., Трубилин Е. И., Бледнов В. А. Разработка инновационных технологий и технических средств для АПК в двух томах Сборник научных трудов 8-й. Международной научно-практической конференции часть I стр. 25–29 Зерноград 2013 год.
3. А. Кулен, Х. Куиперс, Современная земледельческая механика. М., Агропромиздат, 1986, с. 132–133.
4. Трубилин, Е. И. Экономическая эффективность отвальной обработки почвы разработанным комбинированным лемешным плугом / Е. И. Трубилин, С. В. Белоусов, А. И. Лепшина // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. — Краснодар: КубГАУ, 2014. — № 09 (103). с. 654–672. — IDA [article ID]: 1031409040. — Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/09/pdf/40.pdf>, 1,188 у.п.л.
5. Трубилин, Е. И. Результаты экспериментальных исследований определение степени тягового сопротивления лемешного плуга при обработке тяжелых почв / Е. И. Трубилин, С. В. Белоусов, А. И. Лепшина // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. — Краснодар: КубГАУ, 2014. — № 09 (103). с. 673–686. — IDA [article ID]: 1031409041. — Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/09/pdf/41.pdf>, 0,875 у.п.л.
6. Трубилин, Е. И. Основная обработка почвы с оборотом пласта в современных условиях работы и устройства для ее осуществления / Е. И. Трубилин, С. В. Белоусов, А. И. Лепшина // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. — Краснодар: КубГАУ, 2014. — № 10 (104). с. 1863–1883. — IDA [article ID]: 1041410130. — Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/10/pdf/130.pdf>, 1,312 у.п.л.
7. Лепшина, А. И. Способы внесения сухих не органических смесей и устройства для его осуществления [Текст] / А. И. Лепшина, С. В. Белоусов // Молодой ученый. — 2015. — № 6. — с. 342–344.
8. С. В. Белоусов, А. И. Лепшина, М. Е. Трубилин Лемешный плуг для обработки почвы с оборотом пласта Сельский механизатор № 3 2015 год стр. 6–7.
9. Белоусов, С. В. Междурядная обработка почвы инновационным опрыскивателем [Текст] / С. В. Белоусов, А. И. Лепшина, С. В. Скотников // Молодой ученый. — 2015. — № 7. — с. 1081–1086.

Метод конхоидального преобразования плоских кривых

Буранов Исамиддин Фаттиевич, старший преподаватель;

Ражабов Равшан Абдугапарович, студент

Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

Конхоидальным называют такое преобразование кривой линии, при котором радиусы-векторы ее точек, исходящие из заданного полюса, увеличиваются и умень-

шаются на одну и ту же величину. Кривые линии, являющиеся конхоидальным преобразованием других линий, называют, конхоидами (греч. напоминающая раковину).

Всякая конхоида состоит из двух ветвей, которые иногда вырождаются в одну кривую линию. На рис. 1 показаны построения конхоиды кривой линии AB . Через точку O (полюс) проведем пучок лучей, пересекающих кривую AB . На каждом луче от точки базовой кривой откладываем в обе стороны равные отрезки. Геометрическим местом концов этих отрезков является кривая линия — конхоида исходной кривой AB относительно данного полюса O . конхойдой окружности относительно центра будет пара окружностей, концентрических базовой окружности и одинаково удаленных от нее.

На рис. 2 представлены конхоиды окружности относительно полюса, лежащего на самой окружности. Такого рода конхоиды называют улитками Паскаля. Пометим

на базовой окружности радиуса r точку O и примем ее за полюс окружности откладываем отрезки, равные $a=2r$. Концами этих отрезков наметится кривая линия называемая кардиоидой.

Задаваясь отрезками a_1 или a_2 меньшими или большими $2r$, получим конхоиды окружности, которые называют укороченными и удлиненными кардиоидами.

Улитку Паскаля широко применяют в технике при конструировании эксцентриков, кулачков у машин, ряда зубчатых колес. Их также широко используют и в оптической технике.

Конхоиды прямой линии называют конхоидами Никомеда, по имени древнегреческого ученого, изучавшего их. На рис.3 показаны различные конхоиды Никомеда одной и той же прямой линии AB .

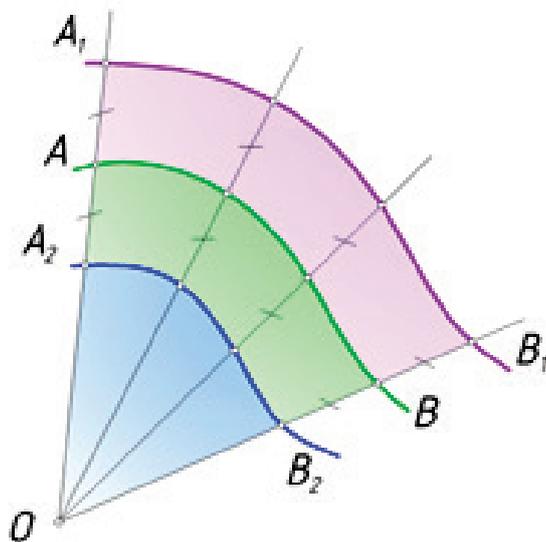


Рис. 1

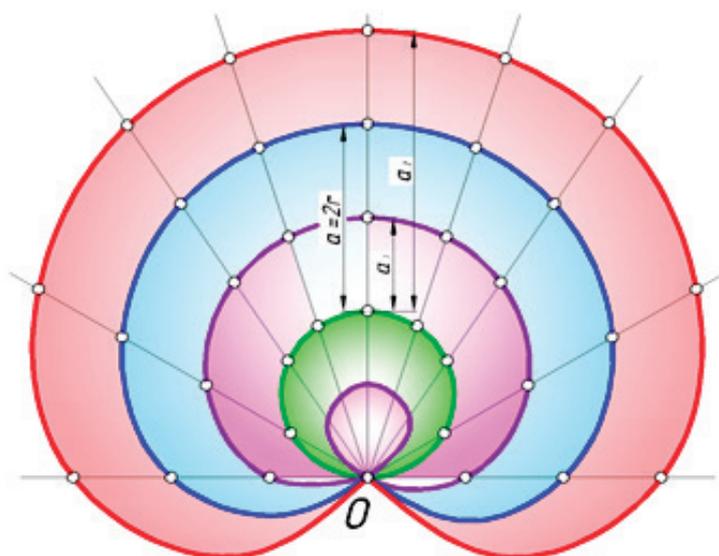


Рис. 2

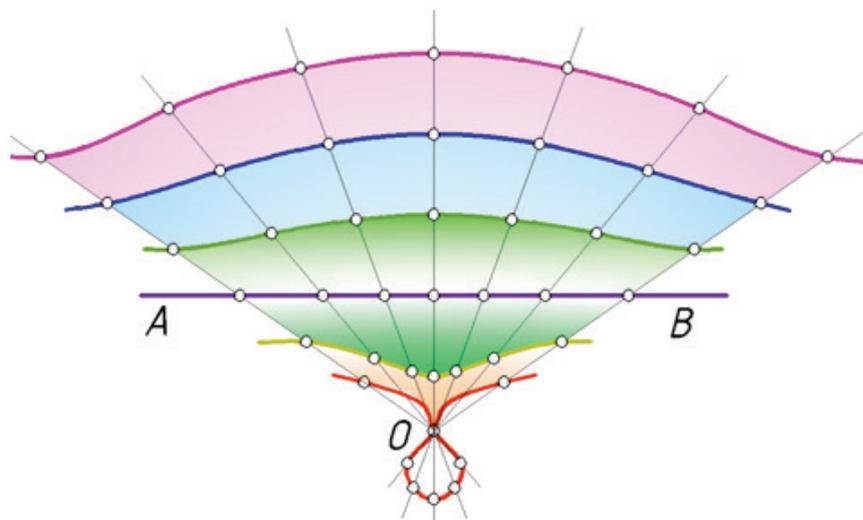


Рис. 3

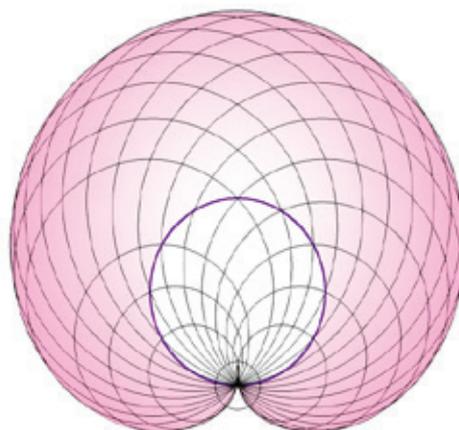


Рис. 4

Имеется очень изящный метод демонстрации кардиоиды к примеру приведенной на рис.4. Она является частным видом эпициклоиды, и при этом радиусы направляющих и движущихся окружностей равны.

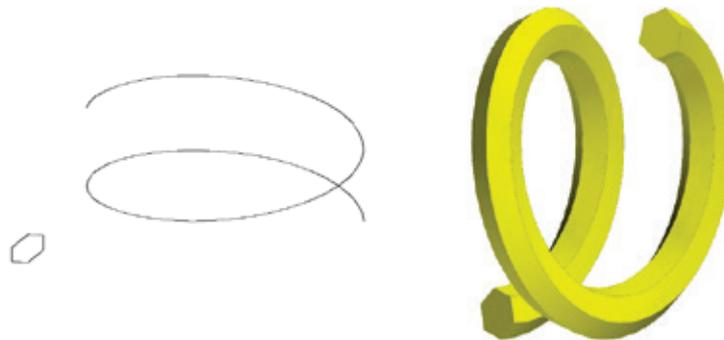
Литература:

1. Бубненко, А. В., Громов М. Я. Начертательная геометрия. — Москва: Высшая школа, 1965.
2. Савелов, А. А. Плоские кривые. — Москва. 1960.
3. Энциклопедический словарь юного математика. — Ташкент. 1992.
4. Атаджанов, Р. К. Методы геометрического построения. — Ташкент: Укитувчи, 1965.
5. Методы преобразования плоских кривых на основе инцидентности. Магистерская диссертации. — Ташкент. 2010.

Создание 3D-тела или поверхности посредством сдвига 2D-кривой вдоль траектории

Буранов Исомиддин Фаттиевич, старший преподаватель
Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

Команда СДВИГ  используется для создания нового тела или поверхности посредством сдвига разомкнутой или замкнутой плоской кривой (профиля) вдоль разомкнутой или замкнутой 2D или 3D траектории. Команда СДВИГ вычерчивает тело или поверхность заданного профиля вдоль указанной траектории. Команду СДВИГ можно использовать сразу для нескольких объектов при условии, что все они находятся в одной плоскости.



При создании тела или поверхности с помощью команды СДВИГ можно использовать следующие объекты и траектории:

Объекты для сдвига	Объекты, используемые в качестве траектории сдвига
Отрезок	Отрезок
Дуга	Дуга
Эллиптическая дуга	Эллиптическая дуга
2D полилиния	2D полилиния
2D сплайн	2D сплайн
Круг	Круг
Эллипс	Эллипс
Плоская 3D грань	3D сплайн
2D тело	3D полилиния
Полоса	Спираль
Область	Кромки тела или поверхности
Плоская поверхность	
Плоские грани тела	

Примечание Для выбора граней и ребер на телах необходимо нажать и удерживать нажатой клавишу CTRL и далее выбирать эти подобъекты.

Системная переменная DELOBJ определяет способ удаления траекторий профилей и сдвига при создании тела или поверхности — автоматически или по запросу.

Объекты для сдвига можно выбрать перед запуском команды.

Текущая плотность каркаса: ISOLINES=4

Выберите объекты для сдвига: *Выбрать объекты любым способом и нажать ENTER по завершении выбора объектов*

Выберите траекторию сдвига или [Выравнивание/Базовая точка/Масштаб/Вращать]: *Выбрать 2D или 3D траекторию сдвига или задать опцию*

Выравнивание

Определяет, будет ли профиль выровнен по нормали к касательной траектории сдвига. По умолчанию профиль выровнен.

Перед сдвигом установить объект сдвига перпендикулярно траектории [Да/Нет] <Да>: *Ввести нет, чтобы профиль не выровнялся, или нажать клавишу ENTER, чтобы выровнять профиль*

Примечание Если кривая профиля не перпендикулярна (не располагается по нормали) к касательной начальной точки криволинейной траектории, то кривая профиля выравнивается автоматически. Введите «Нет» в ответ на запрос о выравнивании, чтобы предотвратить такое действие.

Базовая точка

Указание базовой точки для объектов, подлежащих сдвигу. Если указанная точка не лежит в плоскости выбранных объектов, она проецируется на эту плоскость.

Базовая точка: *Указать базовую точку для набора объектов*

Масштаб

Задание масштабного коэффициента для операции сдвига. Сдвигаемые из начальной в конечную точку траектории объекты масштабируются как единый объект.

Введите масштабный коэффициент или [Опорный отрезок] <1,0000>: *Задать масштабный коэффициент, ввести 0 для опции «Опорный отрезок» или нажать клавишу ENTER, чтобы использовать значение по умолчанию*

Опорный отрезок

Масштабы выбранных объектов основаны на длине опорного отрезка, который задается посредством указания точек или ввода значений.

Начальная длина опорного отрезка <1,0000>: *Ввести начальное значение длины, начиная с которого изменяется масштаб выбранных объектов*

Длина конечного опорного отрезка <1,0000>: *Ввести конечное значение длины, до которого изменяется масштаб выбранных объектов*

Вращать

Задание угла закручивания для объектов, подлежащих сдвигу. Угол закручивания определяет вращение вдоль всей длины траектории сдвига.

Введите угол закручивания или разрешите перекося траектории сдвига [Перекося]: <n>: *Указать значение угла менее 360°, ввести n, чтобы включить перекося, или нажать клавишу ENTER, чтобы задать значение угла по умолчанию*

Выберите траекторию сдвига или [Выравнивание/Базовая точка/Масштаб/Наклон]: *Выбрать траекторию сдвига или задать опцию*

Наклон позволяет включить/отключить естественный наклон (поворот) сдвигаемых кривых вдоль 3D траектории (3D полилинии, 3D сплайна или спирали).

Литература:

1. Соколова, Т. С. Auto CAD 2005 для студента. Популярный самоучитель. СПб.: Питер, 2005.
2. Полещук, Н. Н., Савельева В. А. Самоучитель AutoCAD 2007. — СПб.: БХВ-Петербург, 2006.
3. Журавлев, А. С. AutoCAD для конструкторов. Стандарты ЕСКД в AutoCAD 2009/2010/2011. Практические советы конструктора. — СПб.: Наука и техника, 2010.
4. Омонов, К. К. Создание 3D тела или поверхности путем сечений двумя или более кривыми в Auto CAD // Ежемесячный научный журнал: «Молодой Учёный», — Казань, 2014. № 11 (70) 93–95 с.
5. http://entercad.ru/acad_acr.ru/d0e103998.htm

Технология замороженных полуфабрикатов

Вильц Кристина Рудольфовна, студент;
Нестеренко Антон Алексеевич, кандидат технических наук, старший преподаватель
Кубанский государственный аграрный университет (г. Краснодар)

На современном этапе развития хлебопекарной отрасли находят применение новые направления в технологии хлеба, такие как — замораживание тестовых заготовок [1, 68, 2, 35]. Однако при замораживании хлебных полуфабрикатов происходят нежелательные явления, такие как денатурация и агрегация белков, вызывающие потерю их функциональных свойств, кроме того происходит гибель дрожжевых клеток вследствие образования кристаллов льда и потеря влаги. Поэтому замораживание полуфабрикатов хлебопекарного производства необходимо вести с добавлением различных криопротекторов [2, 50, 3, 60]. Для корректировки и сохранения оптимальных свойств теста и целевого продукта, чаще всего используют криопротекторы — имеющие углеводную природу, такие как фруктоза и сорбит. Пектин также является представителем этой группы. Нами были проведены исследования по изучению возможности его применения как криопротектора в технологии пшеничного хлеба из замороженных полуфабрикатов и в то же время, как улучшителя — анионного действия [4, 149, 5, 1174].

Высокое качество хлеба из замороженных полуфабрикатов может быть достигнуто в результате глубокого и всестороннего анализа процессов, происходящих на различных стадиях технологического процесса [6, 20]. Поэтому нами проводились исследования на приборе фаринограф по изучению влияния фруктозы, сорбита, пектина на реологические свойства теста. В эксперименте использовали пшеничную муку высшего сорта. Изучалось влияние вносимых добавок в количествах 0,5%; 1,0%; 1,5%, 2% (к массе муки). Наилучшие результаты структурно-механических свойств теста были получены при внесении добавок в количестве 1,5%, (таблица 1).

Анализ данных показал, что использование пектина при замесе теста приводит к повышению водопоглотительной способности муки во всех вариантах опытов по сравнению с контролем. Повышение водопоглотительной

способности муки при использовании пектина объясняется образованием белково-полисахаридных комплексов способных связывать влагу. Присутствие пектина фиксирует воду в связанном состоянии, оптимизируя тем самым соотношение свободной и связанной влаги в тесте, при этом клейковинные мембраны становятся тонкими, эластичными, легко растягиваются и не разрываются, что подтверждается высокой валориметрической оценкой, которая характеризует эластичные свойства теста [7, 255, 8, 68].

Исследования по влиянию добавок фруктозы, сорбита и пектина на «силу муки», проводили на приборе Альвеограф фирмы Chopin. Дозировки добавок вносились при замесе теста, как и в предыдущем эксперименте 0,5; 1,0; 1,5%, 2% (к массе муки). Результаты определения «силы муки» показали, что лучшие данные получены в случае внесения 1,5% к массе муки, (таблица 2).

Как показали результаты анализа данных приведенных в таблице 2, внесение фруктозы в тесто приводило к снижению показателя силы муки в сравнении с контролем. В случае добавки сорбита при замесе теста отмечается положительный эффект — увеличение показателя сила муки. Наилучший результат был отмечен, при внесении пектина.

Упруго-эластичные свойства теста характеризуются показателем отношения P/L (P—упругость, L—растяжимость теста). Этот показатель был лучшим при внесении пектина в дозировке 1,5%, в случае внесения фруктозы и сорбита этот показатель был на уровне контроля или ниже [9, 1255].

Основные структурные изменения тестовой заготовки в процессе замораживания и размораживания, являются следствием низкотемпературного воздействия на белково-протеиназный, углеводно-амилазный комплекс пшеничного теста и изменения состояния дрожжевых клеток [10, 93, 11, 94].

Таблица 1. Показатели структурно-механических свойств теста при добавлении различных криопротекторов

Образец	Фаринограф				
	Водопоглотительная способность, %	Время образования теста, мин.	Устойчивость теста, мин.	Разжижение теста, Е.Ф. (единиц фаринографа)	Валориметрическая оценка
Контроль	64,7	8,5	11,5	85	68
Контроль + Пектин 1,5%	69,8	10,0	12,5	75	76
Контроль + Фруктоза 1,5%	64,8	7,0	12,0	70	62
Контроль + Сорбит 1,5%	65,0	8,5	13,0	80	68

Таблица 2. Изменение показателей силы муки при внесении крипротекторов

Альвеограф			
Образец	Сила муки	Максимальное избыточное давление, мм	Отношение P/L
Контроль	227	71	0,70
Контроль + Пектин 1,5%	245	95	1,40
Контроль + Фруктоза 1,5%	225	65	0,57
Контроль + Сорбит 1,5%	230	67	0,62

На основании выше изложенного следует, что размораживание и расстойка полуфабрикатов хлебобулочных изделий имеют свои особенности. Процесс может проходить в различных температурно-временных условиях. В исследовании по определению оптимальных условий размораживания нами сравнивались два режима: первый

размораживание и расстойка в условиях цеха при температуре 22–25 оС, второй — размораживание и расстойка в СВЧ. Объектами исследования были образцы дрожжевого теста с различными крипротекторами, которые вносились при замесе теста в количестве 1,5% от массы муки, рисунок 1.



Рис. 1. Влияние размораживания на качество полуфабрикатов (размораживание в СВЧ: 1 — с добавлением пектина, 2 — с добавлением сорбита, 3 — с добавлением фруктозы, 4 — контрольный образец; размораживание в условиях цеха: 5 — с добавлением пектина, 6 — с добавлением сорбита, 7 — с добавлением фруктозы, 8 — контрольный образец)

Следует отметить, что при размораживании в условиях СВЧ процесс брожения теста с пектином был интенсивнее и протекал значительно быстрее, по сравнению с другими вариантами опыта. В условиях цеха процесс размораживания и расстойки тестовых заготовок с пектином, также проходил активнее по сравнению с другими образцами.

Продолжительность расстойки замороженных тестовых заготовок после размораживания удлиняется, по сравнению с традиционным способом. Это связано с более низкой температурой размороженных заготовок, помещаемых в расстойный шкаф, определенным снижением газодерживающей способности теста и активностью дрожжей под влиянием процесса замора-

живания [12, 152, 13, 188]. Результаты исследований показали, что причиной неравномерного брожения, может быть большой температурный градиент в тесте для хлебобулочных изделий.

Расстойка замороженных полуфабрикатов, размороженных в СВЧ, составляла 35–40 минут, в условиях цеха время расстойки было 85–90 минут. Расстоявшиеся тестовые заготовки выпекали при температуре 210°С.

В готовых изделиях определялись физико-химические показатели качества (таблица 3).

Таким образом, проведенные исследования дают основания сделать заключение, что пектин можно использовать в качестве крипротектора в технологии хлеба из замороженных полуфабрикатов. Внесение пектина улуч-

Таблица 3. Физико-химические показатели качества хлеба из замороженных полуфабрикатов

Наименование показателя	Размораживание в СВЧ				Размораживание в условиях цеха			
	Контроль	С пектином	С сорбитом	С фруктозой	Контроль	С пектином	С сорбитом	С фруктозой
Влажность мякиша, %	42,4	43,0	43,5	42,3	41,6	40,0	40,5	41,5
Кислотность мякиша, град	1,6	1,6	1,4	1,6	1,6	1,4	1,6	1,6
Пористость мякиша, %	77,1	81,4	78,6	77,0	77,4	78,2	73,8	74,8

шает газообразующую и газодерживающую способность теста и благотворно влияет на распределение свободной влаги в тесте, что помогает избежать образования

грубых кристаллов льда, нарушающих структуру клейковины и как следствие, получить готовый продукт высокого качества.

Литература:

1. Kenijz, N.V. Pectic substances and their functional role in bread-making from frozen semi-finished products / N.V. Kenijz, N.V. Sokol // European Online Journal of Natural and Social Sciences. — 2013. — Т. 2. № 2. — с. 253–261.
2. Кенийз, Н.В. Разработка технологии хлебобулочных полуфабрикатов с применением криопротектора / Н.В. Кенийз, Н.В. Сокол // Новые технологии. — 2013. — № 1. — с. 19–24.
3. Кенийз, Н.В. Влияние пектина как криопротектора на водопоглотительную способность теста и дрожжевые клетки / Н.В. Кенийз // Вестник Казанского государственного аграрного университета. — 2013. — Т. 3. № 29. — с. 67–69.
4. Кенийз, Н.В. Технология производства хлеба из замороженных полуфабрикатов с использованием пектина в качестве криопротектора / Н.В. Кенийз, Н.В. Сокол // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. — 2011. — № 2–2. — с. 92–94.
5. Кенийз, Н.В. Влияние дефростации в технологии хлеба из замороженных полуфабрикатов на качество готового продукта / Н.В. Кенийз, Н.В. Сокол // Вестник НГИЭИ. — 2011. — Т. 2. № 2 (3). — с. 92–101.
6. Кенийз, Н.В. Влияние различных криопротекторов на реологию теста для полуфабрикатов [Текст] / Н.В. Кенийз, Н.В. Сокол // Молодой ученый. — 2014. — № 10. — с. 147–150.
7. Кенийз, Н.В. Изучение состояния влаги в тесте с криопротекторами, методом ядерно-магнитного резонанса / Н.В. Кенийз, Н.В. Сокол // Науч. журн. КубГАУ [Электронный ресурс]. — Краснодар: КубГАУ, 2014. — № 04 (098). с. 1254–1260. — Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/04/pdf/90.pdf>.
8. Кенийз, Н.В. Определение содержания свободной и связанной влаги в тесте с добавлением криопротекторов [Текст] / Н.В. Кенийз // Молодой ученый. — 2014. — № 4. — с. 187–189.
9. Кенийз, Н.В. Процесс замораживания хлебобулочных полуфабрикатов с добавлением криопротекторов и его влияние на структуру замороженных полуфабрикатов [Текст] / Н.В. Кенийз, Н.В. Сокол // Молодой ученый. — 2014. — № 5. — с. 67–70.
10. Кенийз, Н.В. Технология замороженных полуфабрикатов с применением криопротекторов / Н.В. Кенийз, Н.В. Сокол. — Саарбрюккен: Palmarium Academic Publishing, 2014. — 129 с.
11. Кенийз, Н.В. Влияние криопротекторов на активность дрожжевых клеток при замораживании хлебобулочных полуфабрикатов / Н.В. Кенийз, А.А. Пархоменко // Науч. журн. КубГАУ [Электронный ресурс]. — Краснодар: КубГАУ, 2014. — № 07 (101). с. 1172–1179. — Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/07/pdf/76.pdf>.
12. Кенийз, Н.В. Разработка технологии хлеба из замороженных полуфабрикатов с использованием пектина в качестве криопротектора: дис... канд. техн. наук: 05.18.01 / Кенийз Надежда Викторовна. — Воронеж, 2013. — 163 с.
13. Кенийз, Н.В. Влияние технологических параметров на производство хлебобулочных полуфабрикатов [Текст] / Н.В. Кенийз // Молодой ученый. — 2014. — № 10. — с. 150–153.
14. Kenijz, N.V. La technologie de fabrication des produits semifinis congeles avec l'introduction d'additifs / N.V. Kenijz // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. — 2014. — № 6 (11–12). — pp. 59–62.
15. Кенийз, Н.В. Виды криопротекторов, используемых при замораживании хлебобулочных полуфабрикатов [Текст] / Н.В. Кенийз // Молодой ученый. — 2014. — № 18. — с. 236–238.

16. Кенийз, Н. В. Использование криопротекторов в хлебопекарной отрасли / Н. В. Кенийз, В. П. Шледевиц // Науч. журн. КубГАУ [Электронный ресурс]. — Краснодар: КубГАУ, 2015. — № 01 (105). с. 541–565. — Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2015/01/pdf/31.pdf>.
17. Кенийз, Н. В. Научно-практические аспекты применения пектина в качестве криопротектора в производстве замороженных полуфабрикатов хлебопекарного производства: монография / Н. В. Кенийз, Н. В. Сокол, А. А. Нестеренко. — Краснодар: КубГАУ, 2015. — 141 с.
18. Кенийз, Н. В. Изучение влияния криопротекторов на реологию теста / Н. В. Кенийз // Инновационная наука. — 2015. — № 1–2. — с. 34–37.
19. Кенийз, Н. В. Выбор оптимальных технологических параметров при производстве хлебобулочных полуфабрикатов / Н. В. Кенийз // Инновационная наука. — 2015. — № 1–2. — с. 37–40.
20. Кенийз, Н. В. Влияние криопротекторов на водопоглотельную и водосвязывающую способность теста / Н. В. Кенийз // Инновационная наука. — 2015. — № 1–2. — с. 41–44.
21. Кенийз, Н. В. Функциональная роль пектина в технологии хлебобулочных изделий / Н. В. Кенийз // Наука и мир. — 2015. — Т 2 — № 3 — с. 41–43.
22. Нагарокова, Д. К. Анализ российского рынка полуфабрикатов [Текст] / Д. К. Нагарокова, А. А. Нестеренко // Молодой ученый. — 2015. — № 2. — с. 175–178.
23. Нестеренко, А. А. Модульный цех — перспектива для фермера / А. А. Нестеренко, Н. В. Кенийз, Д. К. Нагарокова // Науч. журн. КубГАУ [Электронный ресурс]. — Краснодар: КубГАУ, 2015. — № 03 (107). с. 763–778. — IDA [article ID]: 1071503053. — Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2015/03/pdf/53.pdf>, 1 у.п.л.
24. Кенийз, Н. В. Анализ рынка полуфабрикатов в России / Н. В. Кенийз, А. А. Нестеренко, С. С. Сыроваткина // Науч. журн. КубГАУ [Электронный ресурс]. — Краснодар: КубГАУ, 2015. — № 01 (105). с. 566–580. — Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2015/01/pdf/32.pdf>.

Воздействие элементов фильтрации на биоэлектрический сигнал

Григорьев Михаил Георгиевич, инженер;

Бабич Людмила Николаевна, студент

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

В сфере медицинской обработки данных, фильтрация полезного сигнала от шума, вызванного линиями электропередач, электромагнитными наводками, помехами от движения тела и т.д. является весомой проблемой кардиографии. На сегодняшний день, для очистки сигнала от ненужных частотных диапазонов используются различные виды цифровых фильтров. В этой работе представлены результаты моделирования фильтров в пакете MATLAB.

Ключевые слова: сигнал ЭКГ, электрокардиография, моделирование, фильтр нижних частот.

Введение. В настоящее время в связи с развитием микропроцессорной техники изобретаются портативные диагностические устройства, которые успешно могут использоваться в быту. Одними из важнейших задач являются установка истинного диагноза, обнаружение патологий на ранней стадии болезни и профилактика сердечно-сосудистых заболеваний.

Электрокардиография (ЭКГ) это один из основополагающих методов исследования сердечно-сосудистой системы, который, до сих пор, остается наиболее доступным и распространенным для широкого применения.

Регистрация ЭКГ сигналов высокого разрешения, с присутствующими фоновыми помехами, остается важным аспектом для проведения исследований. Результатом этих исследований будет улучшенный сигнала ЭКГ. Для облегчения интерпретации ЭКГ сигнала необходимо отделить некоторые компоненты сигнала от ненужных артефактов.

Все устройства записи, как аналоговые, так и цифровые, обладают свойствами, которые делают их восприимчивыми к шуму. Шум может быть случайным и не когерентным, то есть не связанный с самим сигналом, или когерентным, вносимый устройствами записи и алгоритмами обработки [1].

Шум — беспорядочные колебания различной физической природы, отличающиеся сложностью временной и спектральной структуры [2].

Приём сигнала на фоне шума описывается в виде процедуры фильтрации сигнала посредством фильтра, при этом ставится задача максимально ослабить шумы и помехи, и минимально исказить принимаемый сигнал [3].

Фильтр (от лат. *Filtum* «войлок») — понятия, устройства, механизмы, выделяющие (или удаляющие) из исходного объекта некоторую часть с заданными свойствами [4].

Проблема выделения полезного сигнала на фоне целого комплекса помех и искажений является одной из основных при проведении современных электрокардиологических исследований. Наличие артефактов в электрокардиологическом сигнале (ЭКС) существенно затрудняет его анализ и выявление диагностических признаков. При решении данной задачи сложность заключается в выборе методов фильтрации для устранения определенного типа артефактов, а так же критериев оптимизации используемых алгоритмов [5].

Стандарт на кардиографическое оборудование не регламентирует использование фильтров для электрокардиографа, также как и их характеристики в определенных моделях кардиографов. Во многих источниках сообщается о весьма сильном влиянии элементов фильтрации на ЭКГ сигнал. В современных кардиографах применяются несколько типов фильтров, использующихся для решения различных задач, а каждый из них может быть реализован несколькими вариантами. Такой подход создает большое количество всевозможных комбинаций фильтров. Например:

- фильтр сетевых наводок;
- фильтр высоких частот, ограничивающий сигнал ниже частоты среза;
- фильтр нижних частот, ограничивающий сигнал выше частоты среза.

В различных электрокардиографах используются различные виды фильтров и, следовательно, они будут по-разному влиять на сигнал ЭКГ. Именно различным влиянием фильтров на ЭКГ можно объяснить расхождение в показаниях различных электрокардиографов. В зависимости от параметров фильтрации сигнала могут наблюдаться достаточно заметные изменения [6].

Ход и результаты исследования. Были проведены исследования влияния фильтра на сигнал, в нашем случае была создана модель сигнала ЭКГ. В пакете MatLab была спроектирована схема, которая содержит фильтр нижних частот (ФНЧ)

Первоначально сигнал был построен в программе для работы с электронными таблицами Microsoft Excel. (Рис 1.)

Перед нами встала задача экспорта данных в Matlab. Существует несколько путей, но все они направлены на то чтобы просто перенести данные в Workspace. На рис. 2, представлен результат работы стандартного способа экспорта данных.

На рисунке видно, что данные переносятся простым массивом, это обусловлено тем, что зачастую этого достаточно для дальнейших операций в командной строке. Но нам необходимо, использовать экспортированные данные в Simulink и этого недостаточно, это связано с тем, что

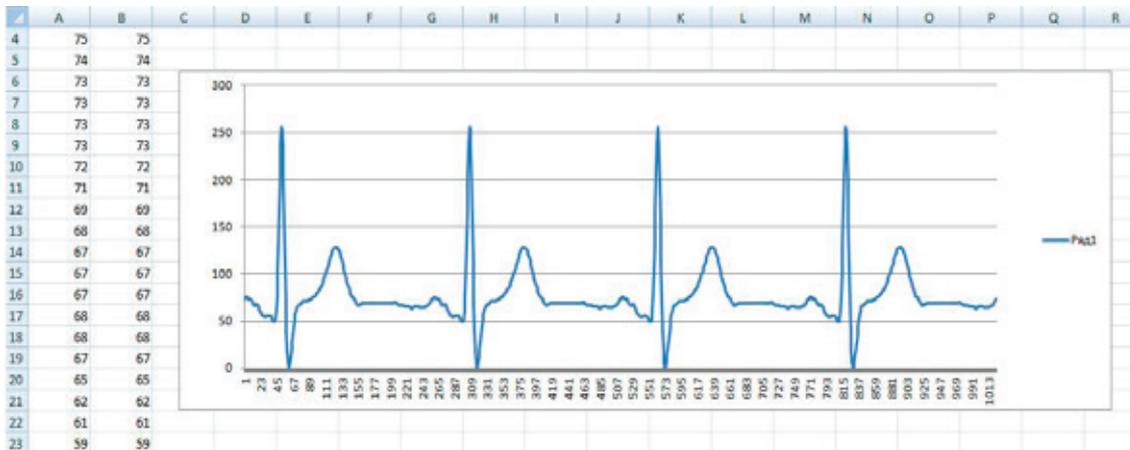


Рис. 1. Фрагмент данных и модель сигнала ЭКГ в программе Microsoft Excel

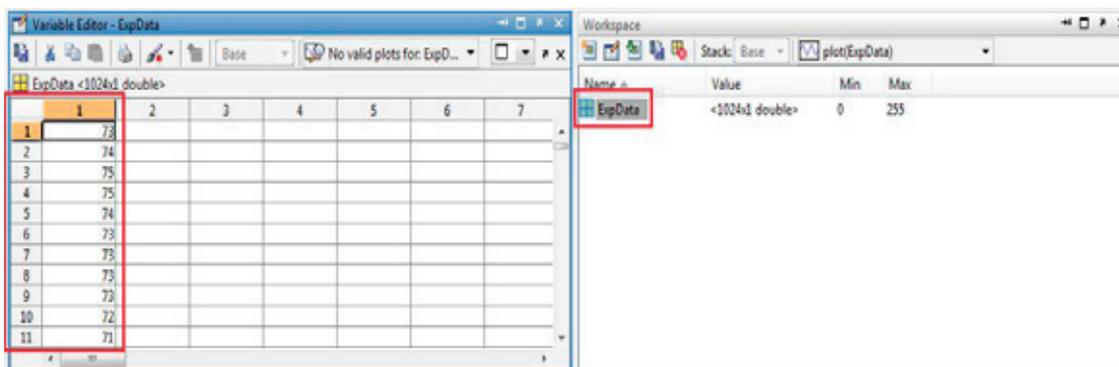


Рис. 2. Результат экспорта данных стандартным способом

данные передаваемые из Matlab в Simulink требуют специального форматирования.

Для передачи данных из Matlab в Simulink применяем способ, реализуемый через компонент simin (рис. 3).

Компонент simin (From Workspace) получает данные из Workspace и передает их в Simulink. Для корректной работы компонента ему необходимо передать ряд параметров, но самые главные из них это название переменной из которой необходимо извлечь данные и корректное их форматирование в ней.

Для того чтобы отформатировать экспортированные данные необходимо выполнить ряд команд в командной строке:

```
var.time = [1: length(ExpData)];
var.signals.values = ExpData;
```

Результатом будет структура соответствующая требованиям компонента simin (From Workspace) (рис. 4).

Вся необходимая работа с сигналом была произведена, после чего стало возможным его использование в системе Matlab. Смоделированная схема для исследования влияния фильтров представлена на рисунке 5.

Данная схема содержит: блок (From Workspace), фильтр нижних частот (Filter Lowpass), мультиплекс (Mux), блок (MultiPlot Graph).

На вход схемы подается смоделированный сигнал ЭКГ, на выходе установлен MultiPlot Graph — это блок для построения графиков, позволяет графически наблюдать влияние фильтра на ЭКГ — сигнал в пакете MatLab [7]. С целью объединения графиков входного и выходного сигналов, для более удобного анализа, используем мультиплекс (Mux). Входной сигнал представлен на рис. 6. Результат влияния фильтра нижних частот представлен на рис. 7–9.

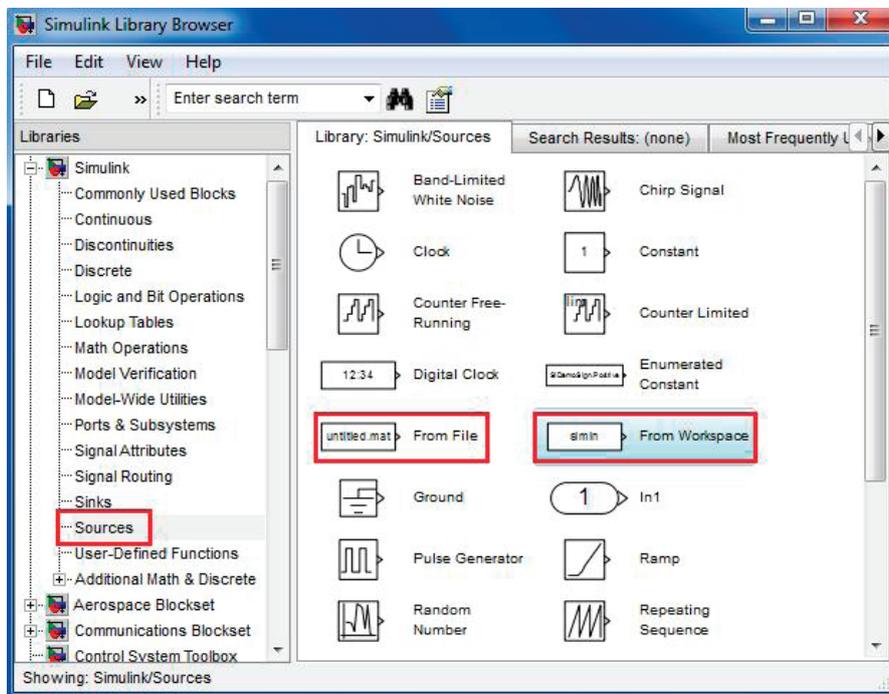


Рис. 3. Элементы для передачи данных

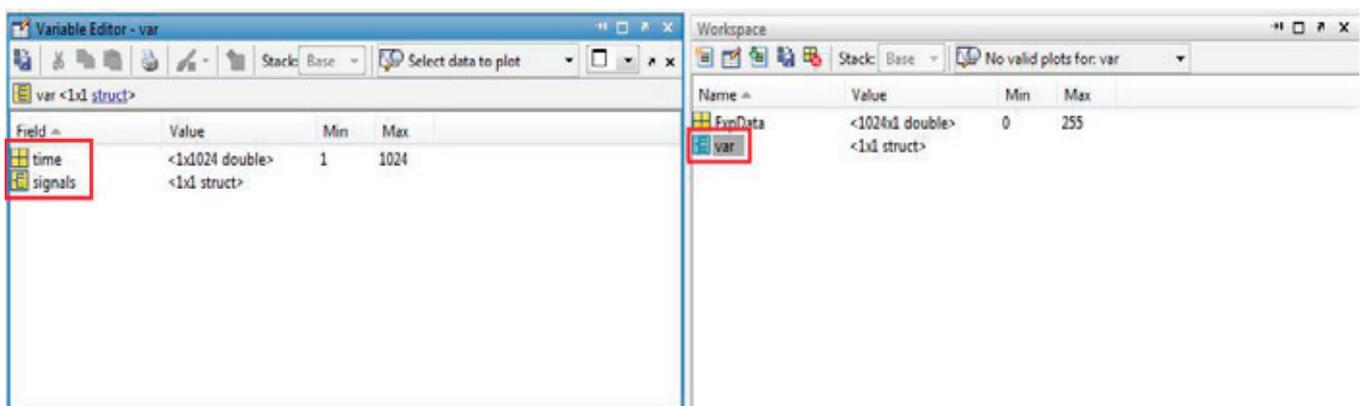


Рис. 4. Структура «var»

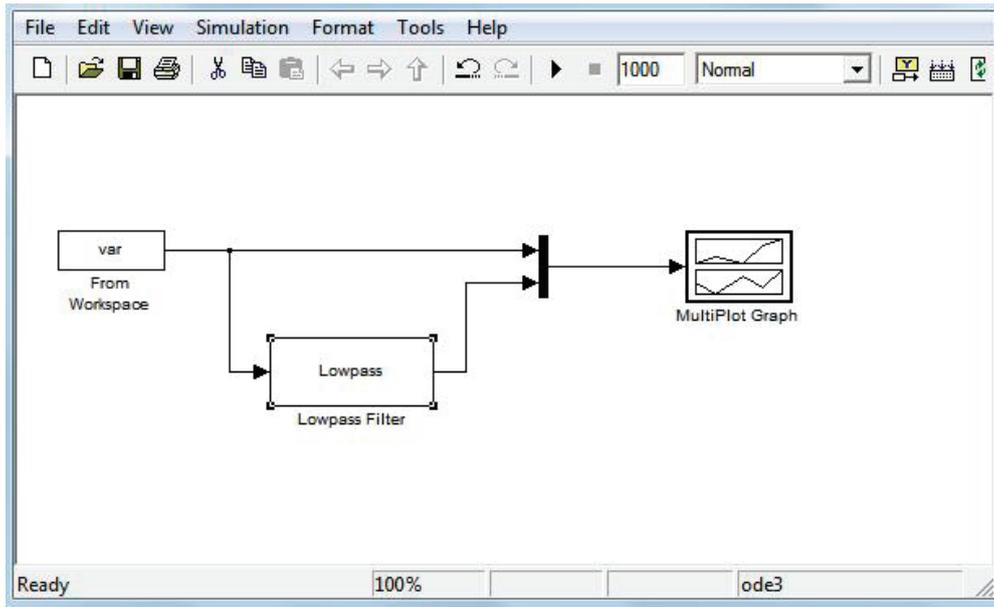


Рис. 5. Схема для исследования влияния фильтров

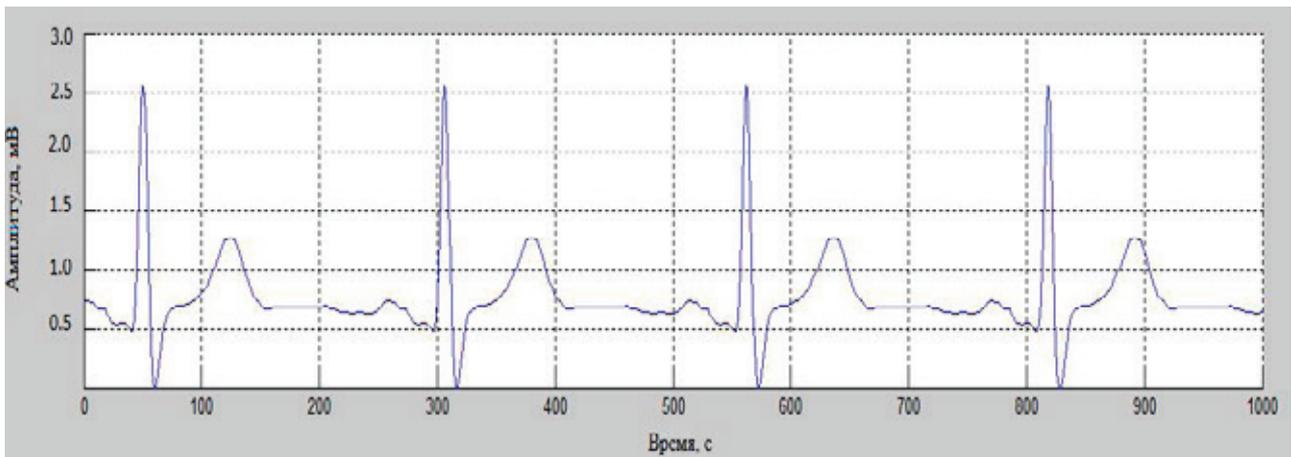


Рис. 6. Входной сигнал

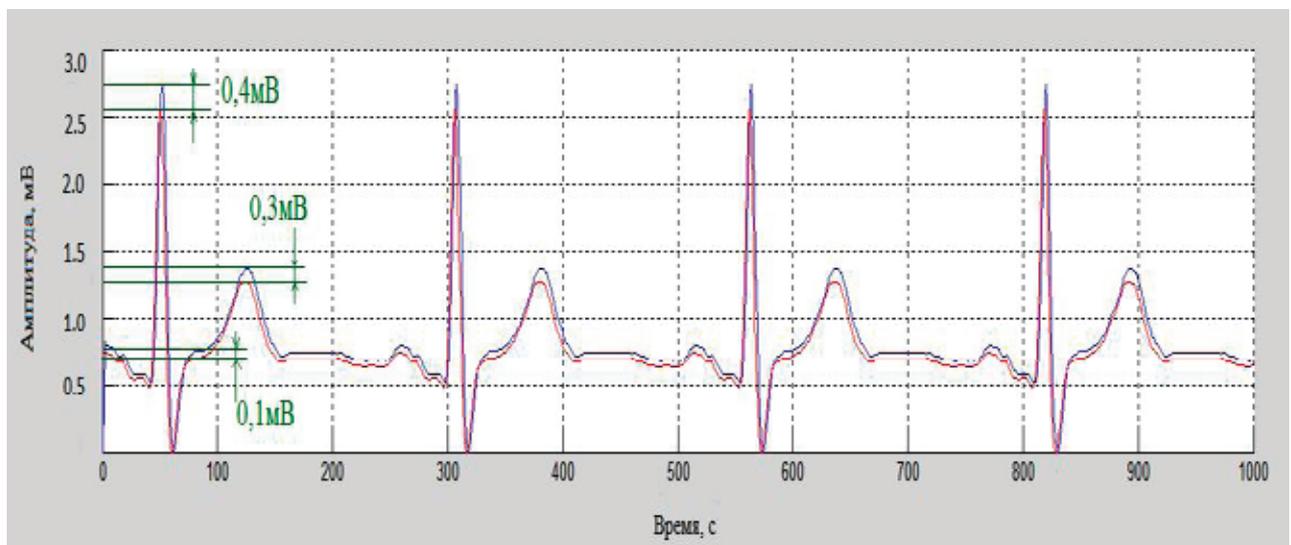


Рис. 7. Сигнал на выходе ФНЧ с частотой среза 40 Гц (Красным цветом — обозначен входной сигнал, синим — выходной сигнал)

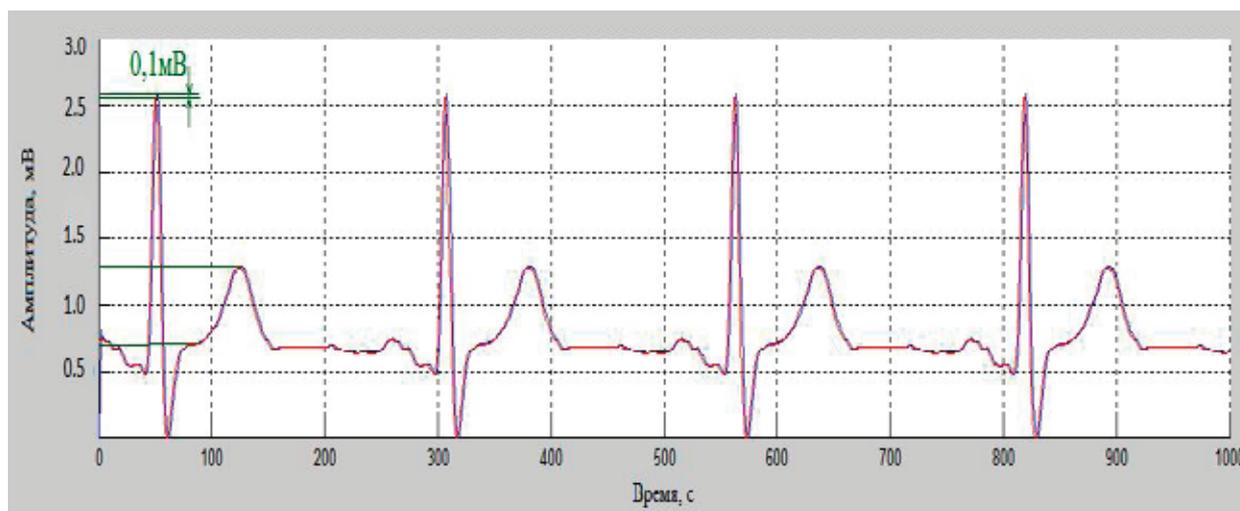


Рис 8. Сигнал на выходе ФНЧ с частотой среза 100 Гц (Синим цветом обозначен — входной сигнал, красным — выходной сигнал)

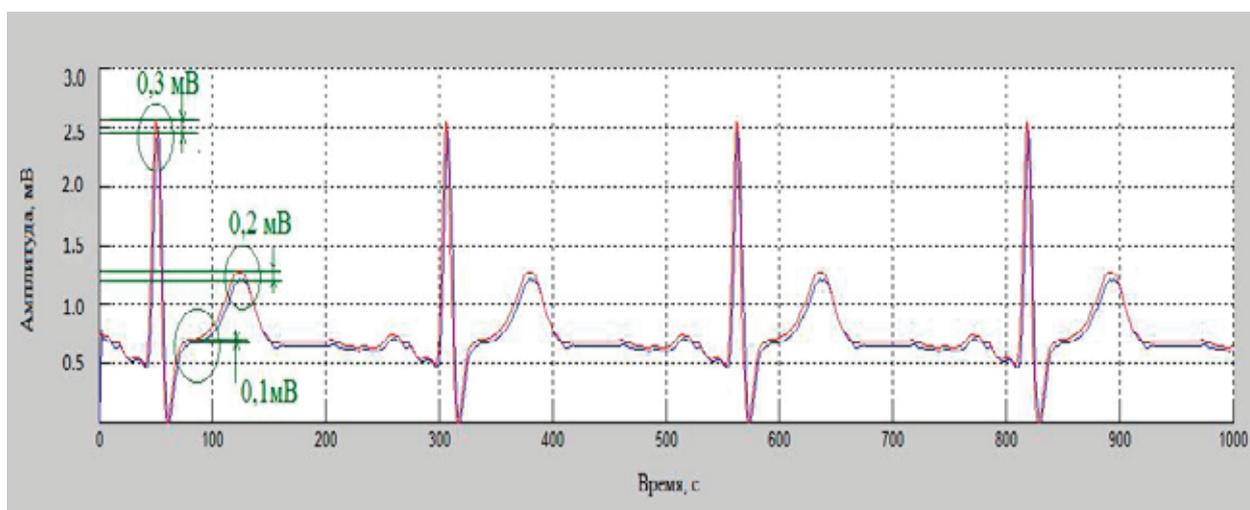


Рис. 9. Сигнал на выходе ФНЧ с частотой среза 150 Гц (Синим цветом обозначен — входной сигнал, красным — выходной сигнал)

Заключение. В результате мы можем наглядно увидеть, как фильтры влияют на сигнал. При интерпретации электрокардиограммы, полученные нами данные, являются существенным отклонением, что непременно приводит к ошибочной постановке диагноза и следовательно увеличивается риск нанесения вреда здоровью человека.

Для того чтобы зарегистрировать неискаженный фильтрами сигнал высокого разрешения по уровню, необходимо стандартизировать использование фильтров в электрокардиографах и разработать электрокардиографическую аппаратуру нового поколения.

Литература:

1. Шумопонижение // Википедия URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A8%D1%83%D0%BC%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5> (дата обращения: 03.05.2015).
2. Колмыкова, М. В. Формирование и развитие миссии системы менеджмента качества промышленного предприятия: автореф. дис... канд. экон наук: 08.00.05. — Тамбов, 2012. — 22 с.
3. Обработка сигналов // Википедия URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%BA%D0%B0_%D1%81%D0%B8%D0%B3%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B2 (дата обращения: 03.05.2015).

4. Фильтр // Академик URL: http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_geolog/5302 (дата обращения: 03.05.2015).
5. Савостин, А. А. Преимущества методов оптимальной фильтрации при электрокардиологических исследованиях // Автоматизированные системы управления на производстве. — Белгород: ООО Белкнига, 2010. — с. 186—190.
6. Лежнина, И. А. Электрокардиограф на нанозлектродах: автореф. дис... канд. тех наук: 05.11.17. — Томск, 2010. — 22 с.
7. Авдеева, Д. К., Балоханова М. В., Демьянов С. В., Лежнина И. А., Рыбалка С. А., Уваров А. А., Южаков М. М. Моделирование влияния фильтров на сигнал экг в системе matlab // Современные проблемы науки и образования. — 2012. — № 3.

Визуализация состояния сердца с помощью аппаратно-программного комплекса, основанного на кардиографической аппаратуре на наносенсорах

Григорьев Михаил Георгиевич, инженер;

Бабич Людмила Николаевна, студент

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Один из основных векторов развития современного оборудования в сфере медицинского приборостроения заключено в создании и совершенствовании сверхточных методов и приборов для диагностики сердечно-сосудистых заболеваний. Однако, сегодня не существует мало габаритных комплексов, позволяющих осуществлять диагностику сердца без внутреннего вмешательства в тело и с очень высокой точностью. В данной работе отображены проблемы связанные с сердечно-сосудистыми заболеваниями (ССЗ) и представлены некоторые результаты работы электрокардиографа на наносенсорах. Была рассмотрена модель Fitz Hugh — Nagito и представлен примерный алгоритм визуализации сердца. Ориентированно направление работ по разработке и проектированию аппаратно-программного комплекса базирующегося на входных данных с электрокардиографа на наносенсорах.

Ключевые слова: функциональная диагностика, электрокардиография, сердечно-сосудистая система, трансмембранный потенциал.

Введение. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) опубликовала отчет о неинфекционных заболеваниях, которыми подвержено человечество. В основе этого отчета были статистические данные ставшие результатом проведенных исследований служб здравоохранения 193 стран. По данным ВОЗ, сердечно — сосудистые заболевания (ССЗ) являются виновниками 48% смертей, различные виды рака — 21%, хронические болезни дыхательных путей убивают 12% людей, а сахарный диабет — 3%. Из 58 млн. смертей в 2008 году 36 млн. были вызваны этими болезнями. Статистика указывает на то, что сердечно — сосудистые заболевания стремительно молодеют. Уже после 35 лет болезни сердца диагностируются у 10% населения. Более 5 млн. человек погибших от ССЗ умерли в достаточно молодом возрасте. Среди них 22% были мужчины и 35% составили женщины в экономически отсталых странах, а также 8% мужчин и 10% женщин из экономически развитых стран. В России, 1232182 человека погибли от сердечно — сосудистых заболеваний в 2008 году (рис. 1) [1—3].

Электрокардиография — набор методов и способов регистрации и исследования электрических полей, создаваемых сердцем во время его работы. Электрокардиография это не дорогой, но ценный метод диагностики в кардиологии. Прямым результатом электрокардио-

графии является электрокардиограмма (ЭКГ). ЭКГ — графическая реализация разности потенциалов образующихся в результате работы сердца и проецирующихся на поверхности тела. Возникающие, в определенный момент работы сердца, вектора потенциалов действия усредняются и отражаются на ЭКГ. Первым кто провел исследования в области кардиографии, был Александр Мьюхэд, который проводил эксперименты в конце XIX века [4, 5].

Электрическая активность сердца. В современном мире для улучшения диагностики ССЗ, в том числе и для диагностики сердца плода, младенцев и детей является разработка новейшего поколения наносенсоров и компьютерной ЭКГ — аппаратуры с высоким разрешением для использования в отделениях функциональной диагностики, стационарах, отделениях кардиологии, санитарных частях и поликлиниках, в машинах скорой помощи, а также у частнопрактикующих врачей, в домашних условиях, в постоянно носимых аппаратах. Для выполнения поставленной задачи необходимо провести исследование математической модели возбуждения, распространяющееся по поверхности сердца. Для различных отделов сердца скорость распространения возбуждения по сердечной ткани заметно отличается (рис. 2) [6].

Математическая симуляция. Для того чтобы симулировать процесс распространения возбуждения была пред-

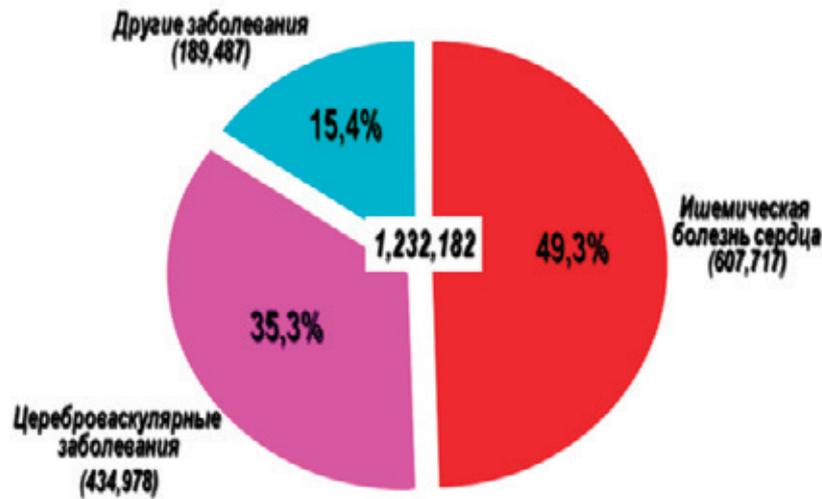


Рис 1. Данные из отчета за 2008 г.

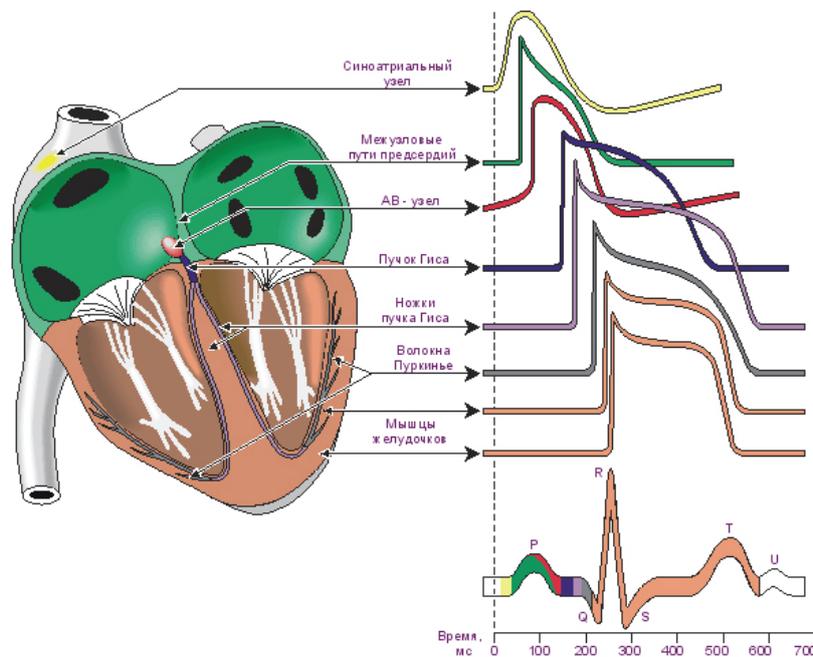


Рис. 2. Соответствие кривых, регистрируемых при ЭКГ и участков проведения импульса по проводящей системе сердца

ложена одна из моделей возбудимой среды [7], двухкомпонентная модель Fitz Hugh — Nagumo, которая содержит быструю переменную u , равную мембранному потенциалу в модели, и медленную переменную v .

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C\epsilon^{-1} \cdot \left(u - \frac{u^3}{3} - v \right) + \Delta u,$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = \epsilon \cdot (u + \beta - \gamma),$$

где $C, \epsilon, \beta, \lambda$ — параметры модели, причем параметр ϵ предполагается малым: $\epsilon \ll 1$. Однако, межклеточные связи сердечной мышцы описаны диффузионными чле-

нами данных уравнений, а динамика отдельно взятой клетки — нелинейными реакционными членами уравнений. После ряда экспериментов, были определены параметрические характеристики модели, при наличии которых, система наиболее адекватно соответствует свойствам сердца: $C = 1,0, \epsilon = 0,1, \beta = 0,004, \lambda = 0,03$.

Электрокардиограф. В применении к кардиологии законы преобразования не могут быть получены сразу на большое количество циклов, так как сердце является очень капризным «элементом». Признаки брадикардии или тахикардии могут проявиться неожиданно из-за воздействия самых различных факторов. Благодаря этому для первоначального вычисления момента физического

времени t для запуска стробирующего сигнала к системе регистрации соответственно закону $t = t(\tau)$ на каждом периоде проводится корректировка по принципу обратной связи с учетом результатов измеренных параметров кардиограммы на некоторых предыдущих периодах. Это определенно накладывает некоторые требования к качеству электрокардиографических данных. В основном, электрокардиографы обладают чувствительностью по уровню сигнала — 20 мм, 10 мм, 5 мм на 1 мВ и весьма узкий частотный диапазон: 0,05–150 Гц в обычных электрокардиографических аппаратах и 0,05–250 Гц в электрокардиографических аппаратах высокого разрешения, это не позволяет определить значение амплитудно-временного параметра некоторых зубцов кардиограммы. На основе лаборатории медицинского приборостроения Института Неразрушающего Контроля Томского Политехнического Университета, разработан электрокардиограф на наносенсорах позволяющий увидеть и описать микропотенциалы на зубах кардиограммы, по времени и по уровню. Этот электрокардиограф позволяет измерять фрагменты кардиограммы, в один микровольт, менее одного микровольта или равными нескольким микровольтам в широком частотном диапазоне: DC — AC (10000 Гц) с разрешением по уровню 20 нВ.

Для примера можно привести запись кардиограммы пациента после перенесенного инфаркта (рис.3).

На рис.3 (а) можно наблюдать, что зубцы Р и U имеют уровень 15 мкВ и 5 мкВ соответственно. На рис. 3 (б) показано, что низкоамплитудные колебания составляют сотни нановольт.

Аппаратно-программный комплекс. В основе выбранного способа оценки состояния обследуемого лежит совместное пользование способов анализа, моделирования и последующей визуализации объекта на основе кардиографической информации, объединяющее решения прямой и обратной задач кардиографии в рамках одного исследования. Основное преимущество такого объединения заключено в возможности пользования результатов модели для анализа состояния обследуемого. Для реализации процесса моделирования распространения возбуждения по сердцу, предполагается разработка некоторых аппаратных и программных средств. На рисунке 4 представлен примерный алгоритм визуализации.

Проанализировав алгоритм можно сделать вывод что он включает в себя 3 этапа:

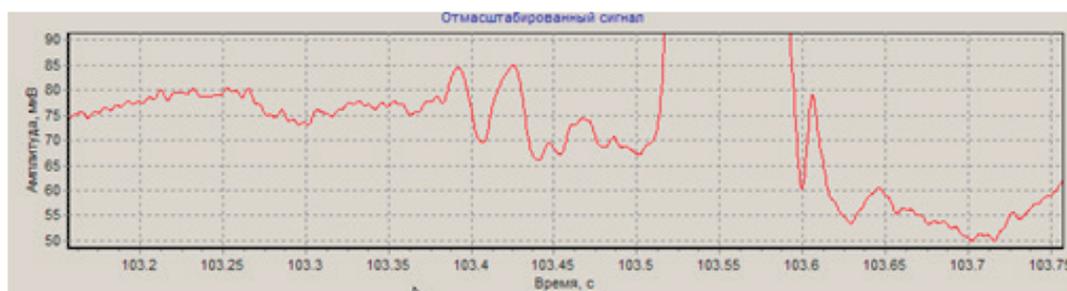
- анализ данных с электрокардиографа;
- моделирование состояния сердечной мышцы;
- визуализация состояния сердечной мышцы.

Полагаясь на результаты моделирования, определяются параметры и производится графическое представление распространения возбуждения по сердцу.

Заключение. Модель электрической активности сердца позволяет определить «электро-портрет» сердца человека в течении кардиоцикла, и это дает возможность получить диагностические признаки патологий анализируя косвенные параметры, которые определяются, основываясь на моделировании электрических процессов в сердечной мышце и поступающих данных с электрокардиографа в котором, в качестве первичных преобразователей используются наносенсоры.



а)



б)

Рис. 3. Запись кардиограммы с высоким разрешением: а — низкоамплитудные зубцы Р и U; б — фрагмент записи на 103 с.

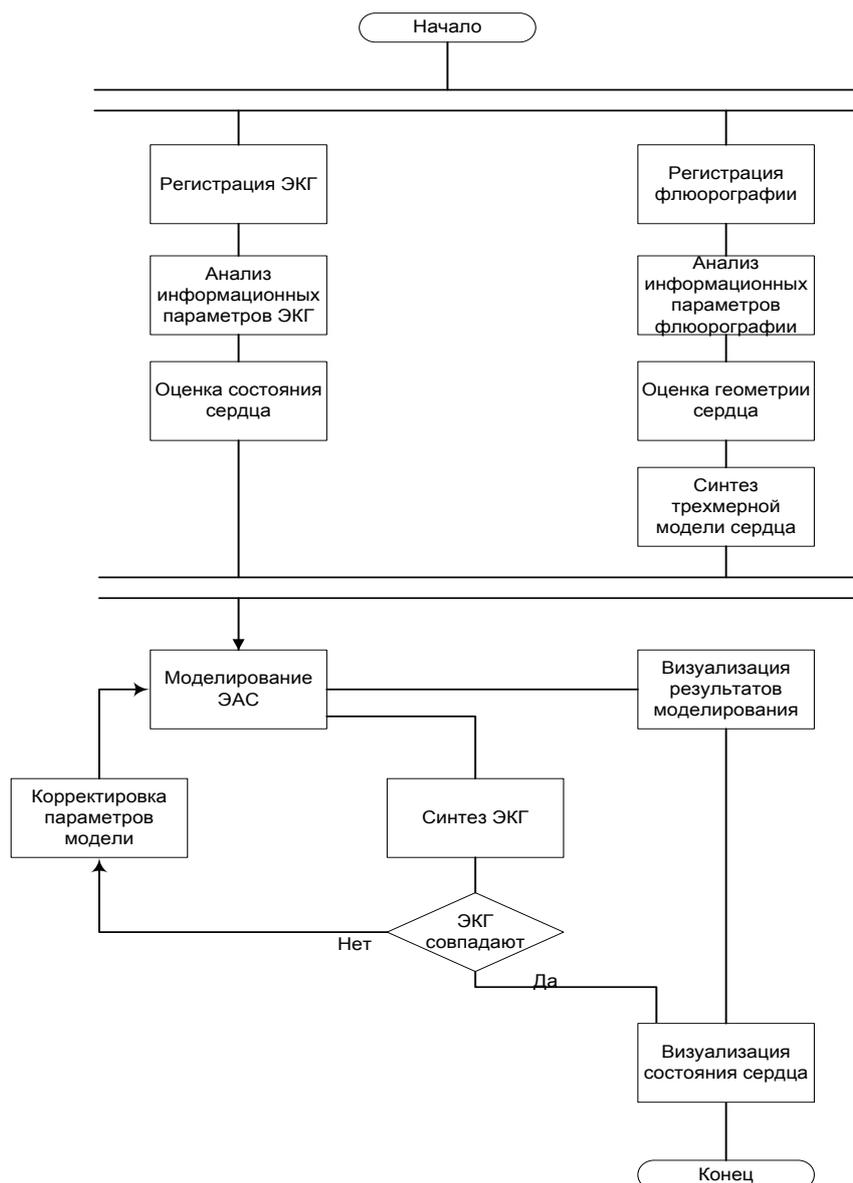


Рис. 4. Алгоритм процесса визуализации состояния сердечной мышцы

Безусловно, для успешного внедрения принципиально нового подхода к диагностике состояния сердца человека требуются глубокие фундаментальные и прикладные исследования широкого класса математических способов

анализа и обработки данных, поступающих с электрокардиографа, моделирование и визуализация состояния сердца, а также клиническое подтверждение работоспособности этой методики.

Литература:

1. Сердечно-сосудистые заболевания. Информационный бюллетень N°317. Всемирная организация здравоохранения [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs317/ru/index.html>, свободный (дата обращения: 02.04.2015)
2. Болезни, которые убивают [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.medicus.ru/fphysician/patient/bolezni-kotorye-ubivayut-34765.phtml>, свободный (дата обращения: 02.02.2015)
3. Структурный подход к обратным задачам вычислительной диагностики в кардиологии / В. А. Баранов, Д. К. Авдеева, П. Г. Пеньков, М. М. Южаков, И. В. Максимов, М. В. Балахонова, М. Г. Григорьев // Современные проблемы науки и образования. — 2013. № 6. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.science-education.ru/113-11343>, свободный (дата обращения: 03.02.2015)
4. Kavcic, B. Electrodynamics of human heart, Seminar 1b-1. year, II. cycle program, University of Ljubljana Faculty of Mathematics and Physics, 2013

- Alexander Muirhead [Электронный ресурс].— Режим доступа: http://en.wikipedia.org/wiki/Alexander_Muirhead, свободный (дата обращения: 11.02.2015)
- Блокады сердца — что это? [Электронный ресурс].— Режим доступа: <http://www.kardi.ru/ru/index/Article?&ViewType=view&Id=43>, свободный (дата обращения: 05.02.2015)
- Простейшие модели возбудимых сред. Mathematical Cell: [Электронный ресурс].— Режим доступа: http://www.mathcell.ru/ru/obzors/obzor_Elkin2, свободный (дата обращения: 21.04.2015).

Модель возбуждения пейсмекерных кардиомиоцитов проводящей системы сердца

Григорьев Михаил Георгиевич, инженер;

Бабич Людмила Николаевна, студент

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

В статье описаны модели пассивных механических свойств кардиомиоцитов, модели их активного механического поведения, а также и модель электрической активности миоцитов. Графический ход распространения импульса возбуждения по мышце сердца более точно раскрывает понимание механизма возникновения аритмий. Перечисленные модели обладают способностью визуализировать сущность динамики возбуждения.

Ключевые слова: *типичные и атипичные кардиомиоциты, пейсмекеры, электрическая и сократительная функция кардиомиоцитов, интегративная математическая модель.*

Введение. К важнейшим особенностям миокарда относятся автоматия, возбудимость, а также проводимость сократимость и рефрактерность. Автоматия сердца заключается в способности к ритмическому сокращению миоцитов под влиянием импульсов, возникающих в самом сердце. В состав миокарда входят типичные и атипичные кардиомиоциты пейсмекеры, которые формируют проводящую систему сердца. Последняя обеспечивает автоматизм сердечных сокращений, а также и координацию сократительной функции миокарда предсердий и желудочков. Первый синусно-предсердный узел этой системы является главным центром автоматизма, т.е. пейсмекером первого порядка. От синусно-предсердного узла возбуждение передается на клетки. От предсердий по специальным проводящим пучкам достигает атриоventрикулярного узла (узел второго порядка). Предсердно-желудочковый узел сам может генерировать импульсы. Возбуждение из предсердно-желудочкового узла в условиях нормы возможно лишь в одном направлении. Ретроградное направление импульсов невозможно. Узел третьего порядка обеспечивает ритмичный автоматизм деятельности сердца. Он располагается в пучке Гиса и волокнах Пуркинью. Центры автоматизма, расположенные в проводящей системе желудочков, носят название пейсмекеров третьего порядка. Частота активности миокарда сердца в целом определяется синусно-предсердным узлом. Ему подчиняются все дальнейшие образования системы, которым он задает ритм [1, 2].

Важнейшим условием обеспечения работы кардиомиоцитов является анатомическая целостность всей проводящей системы. В случаях, когда в пейсмекере первого порядка возбудимость по каким-либо причинам не возникает

или же блокируется его передача, то водителем ритма становится пейсмекер второго порядка. При нарушениях передачи возбудимости к желудочкам, они начинают функционировать в ритме пейсмекеров третьего порядка. В случаях поперечной блокады предсердия и желудочки начинают сокращаться каждый в своем ритме. При повреждении водителей ритма наступает полная остановка сердца [3]. Возбудимость миокарда возникает под влиянием различных раздражителей: химических, электрических, термических и др. которые обуславливают способность перехода в состояние возбуждения. Основопологающим этого феномена является отрицательный электропотенциал, который возникает в первоначально возбужденном участке. В возбужденной ткани, мембрана кардиомиоцитов поляризована. Сверху она имеет положительный заряд, а внутри отрицательный. Такое состояние обусловлено разной концентрацией Na^+ и K^+ по обе стороны мембраны. Определенную роль играет разная проницаемость мембраны клеток для этих ионов. В покое через мембрану клеток сердца не проникают ионы Na^+ . Ионы калия проникают лишь частично. Диффузия ионов K^+ , выходящих из клетки, увеличивает положительный заряд. Внутренняя же сторона становится отрицательно заряженной. Под влиянием любого раздражителя в клетку поступают ионы натрия. В это время на поверхности мембраны кардиомиоцита возникает отрицательный заряд и обеспечивается реверсия потенциала. Амплитуда потенциала действия кардиомиоцитов составляет порядка 100 мВ и более. Этот потенциал в свою очередь деполяризует мембраны соседних клеток. В результате в них появляются свои потенциалы действия, то есть по клеткам миокарда распространяется возбуждение. Потенциал действия рабочего кардиомиоцита во много раз продолжи-

тельнее, нежели чем в скелетной мускулатуре. В период развития потенциала действия, клетки миокарда не возбуждаются на следующие очередные стимулы. Такая особенность является важнейшей для функции сердца как органа. Это связано с тем, что миокард способен выдавать лишь один потенциал действия, а также и одно сокращение на его повторные раздражения. Выше обозначенные явления обеспечивают условия для ритмического сокращения сердца [4, 5].

Проводимость миокарда связана с тем, что волны возбуждения по его волокнам проходят с неодинаковой скоростью. Возбуждение по предсердиям распространяется со скоростью около 0.8–1.0 м/с, по желудочкам — 0.8–0.9 м/с. В то же время по специальной ткани сердца со скоростью 2.0–4.2 м/с. Сократимость кардиомиоцитов обусловлена особенностями своего строения. В начале сокращаются миоциты предсердий, впоследствии сосочковые мышцы с субэндокардиальным слоем мышц желудочков. Затем процесс сокращения охватывает и внутренний слой желудочков, и тем самым обеспечивается кровотоку из полости желудочков до аорты и до легочного ствола. Все изменения силы сокращения миоцитов сердца, которые возникают периодически, обусловлены двумя механизмами саморегуляции гетерометрическим и гомеометрическим. В сущности гетерометрического механизма лежат изменения исходных размеров длины волокон сердечной мышцы. Они возникают при изменениях притока венозной крови. При этом, чем сильнее расширено сердце в диастолу, тем сильнее последующее сокращение во время систолы закон Франка — Старлинга. Это связано с тем, что сердечное волокно состоит из сократительной и эластической частей. При возбуждении первая сокращается, а вторая в этот момент растягивается в зависимости от имеющейся нагрузки.

Механизм гомеометрического типа обусловлен непосредственным действием биологических аминов типа адреналина на метаболизм кардиомиоцитов и на выработку энергии в них. Адреналин и норадреналин повышают вход ионов кальция в клетку при развитии потенциала действия и тем самым вызывают усиление сокращения кардиомиоцитов. Рефрактерность кардиомиоцитов характеризуется снижением возбудимости ткани на всем промежутке ее активности. Различается относительный и абсолютный рефракторный периоды. При электрическом раздражении в абсолютном рефракторном периоде сердце не отвечает на воздействие раздражением и сокращением. При этом рефрактерность продолжается столько же времени, сколько и систола. При относительном рефракторном периоде возбудимость кардиомиоцитов постепенно возвращается к исходному уровню. Однако при этом кардиомиоциты могут ответить на воздействие сокращением сильнее, чем пороговое. Относительный рефракторный период наблюдается при диастоле предсердий и желудочков. За фазой относительной рефрактерности развивается период повышенной возбудимости. При этом он совпадает по времени с диастолическим расслаблением. Он

характеризуется ответом кардиомиоцитов вспышкой возбуждения даже на импульсы весьма небольшой силы [6].

Обзор. Графический ход распространения импульса возбуждения по мышце сердца более точно позволяет понимание механизма возникновения аритмий и возможность предопределения возможных изменений после проведения воздействия. На сегодняшний день создан ряд программно аппаратных комплексов, позволяющих наблюдать реконструкцию анатомического строения предсердий и визуализировать динамику возбуждения: 1) CARTO BiosenseWebster (США); 2) EnSite Endocardial Solutions (США); 3) Bhotok3D научно-производственное объединение (Томск); 4) Элкарт II Навигатор МПК «Электропульс (Томск).

Перечисленные модели обладают способностью визуализировать сущность динамики возбуждения. Однако они не обладают должной прогностической функцией оценки результата. Тем не менее, при определенных ситуациях только одной визуализации бывает весьма недостаточно. Современные исследования по моделированию динамики возбуждения (всего сердца в целом, и отдельных отделов) направлены или на научное исследование сердца как объекта исследования, или на моделирование свойства активной среды с отдельными характерными для нее эффектами. В клинической практике эти технологии не используются широко в связи с их сложностью. Также и за счет большой затратной стоимости создания индивидуальной модели. Причем возможность использования готовых шаблонных решений невозможна вследствие уникальности каждого из них [7, 8].

С позиции механики сердечная мышца является сложной многоуровневой системой. Ее поведение предопределено двумя компонентами. Пассивным, который связан с упругими и вязкими свойствами кардиомиоцитов, определяемых как композитный материал. Также и активным, который позволяет кардиомиоцитам выполнить свою функцию обеспечения сосудистого кровотока. При этом механическая активность мышцы осуществляется на уровне миоцитов и состоит из процесса сокращения. Силогенерация (укорочение) на молекулярном уровне обусловлена процессом прикрепления/открепления поперечных мостиков, который сопровождается гидролизом АТФ. При этом мостики поворачиваются, генерируя напряжение и/или сдвиг актиновых и миозиновых нитей саркомеров, относительно друг друга. Регуляция сокращения состоит из активации актиновых нитей. Она обусловлена и определена изменением содержания цитозольного кальция. В свою очередь, это регулируется электронной активацией клетки. При этом развивается потенциал действия, который деполяризует клеточную мембрану. Потенциал действия возникающий в миокарде на внешний электрический импульс и обусловлен участием ряда трансмембранных ионных токов. Включая натриевые, кальциевые и калиевые токи. Весь этот каскад процессов весьма сложен и весьма значимо усложняется наличием целого ряда обратных связей. Механические условия сокращения, а также процесс циклирования поперечных мо-

стиков может оказывать существенное влияние на кальциевую и электрическую активацию клеток [9, 10].

Таким образом, кардиомиоциты представляют весьма сложно организованную контрактильную «машину». Принципы организации и ее поведение можно предсказать лишь с помощью комплексного математического моделирования. В настоящее время имеются определенные разработки и разрабатываются различные математические модели, которые с разной степенью детализации описывают подсистемы миокарда/кардиомиоцитов. Описаны модели пассивных механических свойств кардиомиоцитов, модели их активного механического поведения, а также и модель электрической активности миоцитов. Однако до сих пор имеется ощутимый недостаток интегративных моделей, которые описывают имеющиеся подсистемы с учетом прямых и обратных связей, имеющих между ними. Интегративная математическая модель позволяет не только глубже исследовать общие законы активного поведения миокарда, а также позволяет выяснить механизм нарушения электрической и сократительной функции кардиомиоцитов, которые сопровождаются различными сердечными патологиями, а также разрабатывать и внедрять новые методы коррекции различных нарушений. Возможности интегративных методов для клинической практики продемонстрировано на примерах анализа механизма и методов коррекции аритмии, которые возникают при кальциевой перегрузке кардиомиоцитов, что происходит при многих заболеваниях сердца. Такая модель позволяет предсказать роль обратных механических и электрических связей в патогенезе нарушения ритма сердца [11].

Развитая комплексная интегративная модель кардиомиоцитов предоставляет возможность построения одно-, двух- и трехмерных моделей миокарда, в которых электрическое возбуждение и механические взаимодействия сегментов сопрягаются с развитием потенциалов действия и напряжения в клетках, учитывая прямые и обратные связи на внутриклеточном и на тканевом уровнях [12].

В современной мышечной биомеханике накоплены условия сокращения, которые модулируют сократительную активность кардиомиоцитов. Сдвиги и наклоны нормированных изометрических кривых, снятых при сокращении сердечной мышцы при разных концентрациях постоянной кальциевой активации, подвергались изменениям в прямой зависимости от степени изначального растяжения исследуемого кардиомиоцитарного препарата. Результаты многократно получены многими авторами на кардиомиоцитах различных животных. Отмечено, что для кардиомиоцита (в отличие от скелетного) сокращение при постоянной активации является искусственным экспериментальным режимом, который требует ее скинирования (демембранизирования). Более естественным препаратом являются эксперименты с ответом на электрический импульс. В цитозоле кардиомиоцитов происходит процесс кальциевый переход. Это быстрое возрастание концентрации кальция, которое сменяется ее спадом.

В экспериментальных режимах обнаружены эффекты, указывающие на то, что изначальные механические условия сокращения влияют впоследствии на его последующий ход. Эффект короткой циклической деформации наблюдается, когда в момент хода изометрического цикла, миоцит подвергается резкому изменению длины (укорочению или удлинению) на определенный процент, а потом через несколько миллисекунд его возвращают на первоначальную длину. После этого процесс развития изометрического напряжения на этой длине протекает по иному, чем в случаях отсутствия их деформации. При этом происходит инактивация сокращения, обусловленная тем, что после деформации уровень силы становится меньше и цикл сокращения-расслабления заканчивается быстрее. Инактивация протекает тем быстрее, чем позднее по ходу цикла он деформируется. Этот эффект особенно выражен при деформации в фазу расслабления. Наиболее важным эффектом, демонстрирующим влияние механических воздействий на развитие цикла сокращения/расслабления, является грузозависимое расслабление. Суть такого феномена заключается в том, что изотонический цикл завершается значительно быстрее изометрического. Отмечена прямая зависимость от груза: чем он меньше, тем больше различия между длительностью изометрического и изотонического цикла. Это обусловлено парадоксальными свойствами изотонических циклов. Чем меньше груз, тем с большей скоростью миоциты растягиваются под этим грузом в стадию расслабления. Кроме указанных циклических деформаций и грузозависимости существуют другие особенности, зависящие от различных модификаций механических условий [13, 14].

Объяснение такого рода явлений кроется в предположении о модулирующем воздействии механических условий на процессы кальциевой активации сократительных белков. Они влияют на сродство тропонина С к кальцию, так как кальцийтропониновые комплексы (CaTnC) выполняют ключевую роль в регуляции механической активности кардиомиоцитов. Образование комплексов CaTnC сопровождается конформацией нити тропомиозина в пределах функциональной группы. Последняя состоит из фрагмента актиновых нитей (по 7 мономеров), тропомиозиновых нитей, которые закрывают центр прикрепления миозиновой головки на актине, а также и из тропонина, который располагается на тропомиозине.

В результате конформационного тропомиозина раскрываются центры связывания на актиновой нити. Это создает необходимое условие для образования поперечного мостика. Поперечный мостик претерпевает несколько специфических стадий существования, которые связаны с утилизацией энергии АТФ. Наиболее важными с точки зрения механической функции являются: силогенерирующий поворот, который является источником активного напряжения и движения актиновых, относительно миозиновых нитей (т.е. укорочения); отсоединение миозиновой головки от актима, т.е. открепление мостика.

В кардиомиоцитах имеются обратные связи между механическими условиями и их кальциевой активацией. Механоэлектрические обратные связи объясняются тем, что они являются последствием ионных токов посредством механочувствительных каналов. В исследованиях, в которых при сокращении проводилась регистрация свободного внутриклеточного кальция и потенциала действия (ПД), выявлена, зависимость изменения всех параметров длительности ПД в результате изменения механических условий (активное укорочение, деформация, изменение нагрузки) происходит одновременно с изменением формы и длительности кальциевого перехода. Такая согласованность концептуализирует влияние механических условий на процесс возбуждения клеток. Их электрическая активность протекает опосредованно через механическую модуляцию кинетики внутриклеточного кальция. В сложных и многоуровневых системах, каким является миокард, весьма трудным представляется определение роли различных механизмов, отвечающих за механокальциевые и механоэлектрические обратные связи. Это раскрывается при использовании математического моделирования [15, 16, 17].

Модели ионных токов, ответственных за формирование ПД в кардиомиоцитах активно разрабатывались многими исследователями. Вместе с моделями DenisNoble известны модели Luo&Rudy и ее различные модификации, модель группы Winslow, ряд континуальных моделей макроуровня, относительно процессов механического взаимодействия или проведения электрического возбуждения в сегментах сердечной ткани, модели электромеханического сопряжения в многоклеточном сегменте. Несмотря на наличие большого количества моделей, во всех макроскопических моделях описание активации кардиомиоцитов предельно упрощена. Внутриклеточные механизмы, которые отвечают за обратные связи электрической и механической активности вообще не рассматриваются. Модели электромеханических сопряжений в кардиомиоцитах, основанные на моделях механической активности и на моделях электрической активности 'Noble 98', применяются для анализа проблем сердца, связанных с нарушением сердечного ритма в случаях кальциевой перегрузки кардиомиоцита, а также для разработки адекватных способов коррекции.

Результаты моделирования сопоставляются с данными реальных физиологических экспериментов. Электромеханические свойства кардиомиоцитов описываются с помощью системы простых дифференциальных уравнений. Однако их количество слишком велико и поэтому возможность качественного анализа крайне ограничена. Вследствие этого наиболее приемлемым методом исследования считается численное интегрирование. С учетом жесткости системы, при описании электромеханической активности сердечной мышцы, выбираются методы численного интегрирования: использование явного неявного метода, учитывающего специфическую структуру уравнений модели, или использование метода Эйлера с при-

менением шага интегрирования, который обеспечивает достаточную точность проводимых расчетов. Однако величина размерности системы не всегда позволяет провести строгую математическую идентификацию параметров. Основные зависимости, которые были заложены в уравнения, установлены в экспериментальных исследованиях на мышечном белке или на пассивном миокарде. Определен спектр возможных соответствующих параметров. Адекватность выбора параметров из этой линейки в рамках интегративной модели проверялась в различных компьютеризированных исследованиях, симулирующих активное поведение миокарда.

Термин «Механическая неоднородность» обозначает отличие механических характеристик различных взаимодействующих сегментов миокарда. Такими сегментами могут быть отдельные кардиомиоциты, саркомеры или большие секторы стенок камер сердца. В определенной степени организованная неоднородность является свойством нормального миокарда. Большинство кардиологической патологии сопровождается деструкцией неоднородности структуры с ростом дисперсии механических характеристик стенки желудочек. Механическая гетерогенность присутствует и на молекулярном уровне. Она проявляется изменением соотношения различных изоформ миозина (V1 и V3) в кардиомиоцитах в зависимости от их расположения. При нормальных условиях соотношение V1/V3 постепенно нарастает в направлении от эндо к эпикардиальному слою. В неоднородной миокардиальной системе условия механического сокращения клеток непосредственно зависят от механических свойств взаимодействующих с ним других кардиомиоцитов. Цепь обратных механокальциевых и механоэлектрических связей влияет на ход развития данной клетки (напряжения и/или укорочение). Это, в свою очередь, влияет на механическое условие сокращения для клеток-соседей. Образующаяся цепь обратных связей обуславливает изменения механического поведения. За этим снова изменяются механические условия (поля напряжений и деформаций), созданные взаимодействием кардиомиоцитов. В процессе непрерывного взаимодействия динамически модифицируются механические условия сокращения каждого из элементов системы, зависящей от динамических изменений свойств остальных элементов. Процесс непрерывного подстраивания элементов системы друг под друга усложняет предсказание поведения каждой составляющей и всей системы в целом. Вследствие этого для исследования феномена механической неоднородности необходимы более упрощенные экспериментальные и теоретические модели, которые предоставляют возможность выявления и анализа существенных свойств механического взаимодействия элементов гетерогенной системы.

Методы мышечных дуплетов представляют двойку последовательно или параллельно соединенных и имеющих механическое взаимодействие друг с другом мышечных волокон или кардиомиоцитов.

В различных вариантах виртуальных и гибридных дуэтов виртуальные элементы были представлены разными версиями математических моделей при помощи моделей активного механического поведения миокарда и с помощью версий моделей электромеханического сопряжения Екатеринбург-Оксфорд (E 02003 и E 02006). Одной из разновидностей мышечного дуэта является виртуальный последовательный дуэт, который построен на базе модели E 02006. Он используется для теоретических исследований влияния механических условий в возникновение аритмии при перегрузке кардиомиоцитов ионами кальция. По принципу минимальной достаточности, каждое следующее расширение позволяет имитировать модели другие новые явления, а также выяснить роль дополнительно включенных параметров в модель процесса и реализации явлений. Математические модели механической активности миокарда полноценно воспроизводит все основные закономерности цикла сокращения-расслабления кардиомиоцитов в изотоническом, изометрическом и физиологическом режиме. Он позволил найти механизм, который обеспечивает действие механического условия сокращения на протекание кальциевой активации миоцитов. Основой этого влияния является кооперативное взаимодействие регуляторных субстанций, сократительных белков. Также и зависимость вероятности образования мостиков от имеющейся длины саркомера. При выраженной гипертрофии миокарда снижение грузозависимости до полного исчезновения обусловлено замедлением процессов поглощения кальция в саркоплазматический ретикулум (СР). Это связано с усилением блокировки кальциевой АТ фазы в СР. Влияние величины скорости кальциевого насоса в СР на грузозависимость неоднозначно. Грузозависимость снижается в результате снижения функции насоса за счет усиления его блокады, также и за счет ее повышения из-за роста скорости переноса Ca^{2+} молекулами кальциевой АТ фазы в СР. Вязкость миокарда воздействует на механическую активность миокарда. Вязкость концевых участков модулей из миокарда обуславливает рассогласование между временным ростом изометрического напряжения и укорочением саркомеров. Вязкость глубоких участков препаратов значительно модулирует расслабление. Оказывает воздействие на скорость этого процесса. Объединение модели механической активности и электрической активности «Noble98», позволяет получить новый контур механоэлектрической обратной связи. Он возникает вследствие взаимодействия $NaCa$ обменного тока в миокарде. Также вследствие кооперативного действия поперечных мостиков на реци-

процность тропонина С к ионам кальция. Модель позволяет предсказать способность обратной связи выполнять функцию триггера для возникновения острой сердечной недостаточности при возникновении кальциевых перегрузок кардиомиоцитов. В рамках указанной модели возможны пути коррекции этой патологии [18, 19, 20, 21].

Заключение. Анализ современной литературы показал, что фрагментарно изучены латеральные области предсердно-желудочкового соединения; большинство исследований выполнено на его центральном участке, предсердно-желудочковом узле, и ограничено, в основном вопросами распространения возбуждения, в меньшей степени изучены его пейсмекерные свойства. Представляется актуальной постановка вопроса о пейсмекерной организации предсердно-желудочкового соединения. Представления об автоматической активности клеток в створках предсердножелудочковых клапанов сложились лишь на основании работ, выполненных на сердце млекопитающих. Процессы, лежащие в основе диастолической деполаризации у клеток вспомогательных пейсмекеров в предсердиях, изучены гораздо меньше. Проблема точной локализации предсердных пейсмекеров требует новых экспериментальных исследований, необходима ревизия данных по их топографии. Очевидно, что эти сведения важны не только в теоретическом, но и клиническом плане, поскольку пейсмекерные клетки, в частности располагающиеся в области предсердно-желудочковых клапанов, представляют собой потенциальный источник образования эктопических импульсов, которые могут вызвать аритмии суправентрикулярного происхождения. Сравнительные аспекты этой проблемы — разработаны недостаточно. Анализ становления предсердно-желудочкового соединения в ходе филогенеза позвоночных также не проводился в достаточном объеме. Пейсмекерные свойства клеток предсердно-желудочковой области сердца рыб, рептилий и птиц практически не исследованы. Отсутствуют сведения об онтогенетических изменениях пейсмекерной функции предсердно-желудочкового соединения [7, 22, 23, 24].

Таким образом, в настоящее время нет полного понимания топографии пейсмекеров и ионных механизмов, лежащих в основе функциональных свойств клеток, образующих эту чрезвычайно важную область сердца. Существует необходимость в развитии направления математического моделирования и сравнительных исследований электрофизиологической организации клеток предсердно-желудочкового соединения и желудочковой проводящей системы.

Литература:

1. Никитина, Л. В., Копылова Г. В., Щепкин Д. В., Кацнельсон Л. Б. Исследование взаимодействия сократительных и регуляторных белков миокарда кролика методом искусственных подвижных систем // Биохимия, 2008. Т. 73, N 2. — С. 219227.
2. Bradd, A. D., Al Abed A., Guo T., Lovell N. H., Dokos S. Study of cardiac pacemaker excitation using generic ionic models and realistic cell distribution // Conf. Proc. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. 2012. P.195198.

3. Cloherty, S.L., Dokos S., Lovell N.H. A comparison of 1D models of cardiac pacemaker heterogeneity // IEEE Trans. Biomed. Eng. 2006. N 53 (2). P.164177.
4. Викулова, Н. А. Математическая модель сопряжения электрических и механических явлений в клетках сердечной мышцы: дисс. ... канд. физ.мат. Наук.М., 2005.
5. Hannes, T., Halbach M., Nazzari R. et al. Biological pacemakers: characterization in an in vitro coculture model // J. Electrocardiol. 2008. N 41 (6). P.562566.
6. Копылова, Г. В., Кацнельсон Л. Б., Овсянников Д. А., Бершицкий С. Ю., Никитина Л. В. Применение метода in vitro подвижных систем для исследования кальциймеханической связи в скелетной и сердечной мышцах // Биофизика, 2006. Т. 51, N 5. — с. 781785.
7. Андреев, С. Ю. Моделирование динамики возбуждения предсердий в задачах восстановления ритма сердца: дисс. ... канд. Тех. Наук. Томск, 2006.
8. Yaniv, Y., Spurgeon H.A., Lyashkov A.E. et al. Crosstalk between mitochondrial and sarcoplasmic reticulum Ca²⁺ cycling modulates cardiac pacemaker cell automaticity // PLoS One. 2012. N 7 (5): e37582. doi: 10.1371.
9. Соловьева, О. Э. Исследование электромеханических явлений в миокарде при помощи математических моделей: дисс. ... д-ра, физ.мат. Наук. Пушино, 2006.
10. Maltsev, A.V., Maltsev V.A., Mikheev M. et al. Synchronization of stochastic Ca²⁺ (+) release units creates a rhythmic Ca²⁺ (+) clock in cardiac pacemaker cells // Biophys.J. 2011. N 19;100 (2). P. 271283.
11. HerreraValdez, M. A., Lega J. Reduced models for the pacemaker dynamics of cardiac cells // J. Theor. Biol. 2011. N 7;270 (1). P. 164176.
12. Artebrant, R., Tveito A., Lines G. T. A method for analyzing the stability of the resting state for a model of pacemaker cells surrounded by stable cells // Math. Biosci. Eng. 2010. N 7 (3). P. 505526.
13. Шапкин, А. С. Морфофункциональные изменения проводящей системы сердца при хронической сердечной недостаточности: дисс. ... канд. Мед. Наук. Харьков, 2010.
14. Kurata, Y., Matsuda H., Hisatome I., Shibamoto T. Effects of pacemaker currents on creation and modulation of human ventricular pacemaker: theoretical study with application to biological pacemaker engineering // Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol. 2007. N 292 (1). P. H701718.
15. Рощевский, М. П., Бартусевич Е. В., Гуляева А. С., Рощевская И. М. Левый желудочек сердца копытных животных: морфофункциональные характеристики и ориентация мышечных волокон // Докл. АН. — 2011. — Т. 437, N 3. — с. 416418.
16. Сулягин, П. В., Камкин А. Г., Гурина О. Ю. Основные закономерности взаиморасположения разных типов клетководителей ритма в синуснопредсердном узле сердца крыс. // Бюл. эксперим. биологии и медицины, 2009, Т. 148, № 9, с. 343–346.
17. Viswanathan, P. C., Coles J.A. Jr., Sharma V., Sigg D.C. Recreating an artificial biological pacemaker: insights from a theoretical model // Heart Rhythm. 2006. N 3 (7). P. 824831.
18. Кацнельсон, Л. Б. Математическое моделирование регуляции сокращений сердечной мышцы в норме и при патологии: дисс. ... д-ра физ. Мат. Наук. М., 2008.
19. Загидуллин, Н. Ш. Характеристика и регуляция кардиального пейсмекерного канала If/HCN, разработка научных подходов к созданию биологических пейсмекеров: дисс. ... д-ра мед. Наук. СПб., 2008.
20. Fuchs, F. Lengthdependent Ca²⁺ activation in cardiac muscle: some remaining questions / Fuchs F., D.A. Martyn // J Muscle Res Cell Motil, 2005. Vol. 26, N 45. P. 199212.
21. Kurata, Y., Hisatome I., Matsuda H., Shibamoto T. Dynamical mechanisms of pacemaker generation in IK1downregulated human ventricular myocytes: insights from bifurcation analyses of a mathematical model // Biophys J. 2005. N 89 (4). P.28652887.
22. Рощевская, И. М. Кардиоэлектрическое поле теплокровных животных и человека. СПб.: Наука, 2008. — 250 с.
23. Maltsev, V.A., Lakatta E. G. Synergism of coupled subsarcolemmal Ca²⁺ clocks and sarcolemmal voltage clocks confers robust and flexible pacemaker function in a novel pacemaker cell model // Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol. 2009. N 296 (3). P. H594615.
24. Verkerk, A. O., van Borren M.M., Peters R.J. et al. Single cells isolated from human sinoatrial node: action potentials and numerical reconstruction of pacemaker current // Conf. Proc. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. 2007. N2007. P.904907.

Анализ методов неинвазивного исследования сердца для решения обратной задачи электрокардиографии

Григорьев Михаил Георгиевич, инженер;

Бабич Людмила Николаевна, студент

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

В статье представлены основные неинвазивные методы исследования электрической активности сердца, теоретические основы решения обратной задачи электрокардиографии, применение различных способов исследования сердца в клинической практике, обобщены достижения в этой области в мировом опыте.

Ключевые слова: диагностика, обратная задача ЭКГ, неинвазивное картирование

Введение. На данный момент, сфера функциональной диагностики располагает самыми разными способами исследования, как инвазивными, так и неинвазивными. Самым распространенным и доступным методом исследования сердца является электрокардиография (ЭКГ). Несмотря на преимущественное использование в кардиологии, электрокардиография успешно применяется и при обследовании больных с болезнями почек, легких, печени, системы крови, эндокринных желез, а также в педиатрии, онкологии, и т.д.

Используя ЭКГ можно:

- узнать частоту сокращения сердца и таким образом, вовремя выявлять какие-либо нарушения ритма;
- обнаружить нарушения электропроводимости сердца, которые приводят к снижению его возможности перекачивать кровь и даже к полному прекращению этой деятельности;
- выявлять повреждения или дефекты в сердце, вызванные хроническими или острыми заболеваниями.

Несмотря на доступность и информативность, в реальных лабораториях, записи ЭКГ — сигнала подвержены воздействию внутренних и внешних флуктуаций, которые изменяют форму некоторых информативных параметров и тем самым вызывают дополнительные проблемы в процессе создания компьютерных систем для анализа ЭКГ. Более того, для решения простой задачи разделения ЭКГ — сигнала на отдельные циклы приходится использовать весьма сложные алгоритмы нахождения QRS-комплексов.

Существенное влияние на амплитуду электрокардиографических зубцов оказывает правильная техника выполнения записи, а также расстояние от источника тока до электрода. Размер зубцов обратно пропорционален квадрату расстояния от источника тока до электрода. Выходит, чем дальше размещен электрод, тем ниже амплитуда зубцов. А при размещении электродов на 100 мм и более от сердца последующие изменения амплитуды зубцов становится ничтожным.

Методы и технологии. Электрокардиографический метод имеет и принципиальные ограничения. Активность определенных отделов миокарда незначительно отражается в электрокардиографических сигналах, зарегистри-

рованных в стандартных отведениях. Примером является трудность ЭКГ-диагностики инфаркта миокарда заднебазальных отделов левого желудочка. Кроме того, согласно принципу суперпозиции в электродинамике, электрокардиограмма является суммой электрических потенциалов, возникающих от источников во множестве точек миокарда. Так как электрофизиологические процессы в различных участках сердечной мышцы протекают одновременно, по стандартным ЭКГ-отведениям весьма сложно определить локальную электрическую активность миокарда. Например, волна реполяризации предсердий у человека в условиях нормального ритма не выявляется на ЭКГ, так как она «скрыта» высокоамплитудным комплексом QRS, отражающим деполяризацию желудочков. Аналогичными ограничениями характеризуется и метод вектор электрокардиографии [6].

Более широкими возможностями обладает метод поверхностного электрокардиографического картирования грудной клетки. Метод заключается в синхронной регистрации множества (от 40 до 250 и более) однополюсных ЭКГ-отведений с поверхности грудной клетки и построении путем интерполяции для каждого момента времени кардиоцикла карт распределения электрического потенциала на поверхности грудной клетки.

Однако указанный метод не позволяет точно определять локальную электрическую активность миокарда. Если электрод расположен на поверхности грудной клетки, вклады в ЭКГ-сигнал от ближайшего и наиболее удаленного по отношению к регистрирующему электроду сегмента миокарда отличаются примерно на один порядок. Для электрода, помещенного на поверхность сердца, это различие составляет три порядка. В связи с этим для выявления локальной электрической активности сердца используют методы инвазивной регистрации ЭКГ, стремясь максимально приблизить электроды к поверхности сердца.

Чреспищеводное электрофизиологическое исследование сердца основано на введении зонда с регистрирующими электродами в полость пищевода. Пищевод на определенном участке достаточно плотно прилежит к задней стенке левого предсердия и задней стенке левого желудочка, поэтому внутрипищеводные ЭКГ-сигналы изби-

рательно регистрируют активность этих отделов сердца. Внутрипищеводная электрокардиография применяется, в частности, для дифференциальной диагностики наджелудочковых и желудочковых аритмий.

Однако указанный метод позволяет выявить локальную электрическую активность лишь отдельных сердечных структур.

Для комплексной оценки электрофизиологических процессов сердца и топической диагностики нарушений ритма сердца используется электрофизиологическое (инвазивное) исследование сердца, основанное на прямой регистрации комплекса электрограмм с эпикардиальной или эндокардиальной поверхности сердца. Указанные методы могут применяться на «открытом сердце» в условиях торакотомии, а также на основе интервенционных технологий введения регистрирующих устройств (катетеров) в полости сердца чрессосудистым доступом или в полость перикарда путем его чрескожной пункции под флюороскопическим контролем.

Современные реализации указанных методов предусматривают точное определение трехмерных координат регистрирующих электродов нефлюороскопическими методами и визуализацию результатов в виде изопотенциальных и изохронных карт на моделях отделов сердца средствами компьютерной графики. Компьютерные модели отделов сердца строятся по множеству точек регистрации электрограмм с известными координатами, а также на основе данных компьютерной (КТ) или магнитно-резонансной (МРТ) томографии сердца.

К этой же группе относятся способы бесконтактного эндокардиального картирования, основанные на введении в полости сердца «плавающего» баллонного катетера, регистрации комплекса электрограмм на его поверхности и реконструкции вычислительным путем по полученным данным эндокардиальных электрограмм.

Недостатком указанных способов, преодолеваемым в настоящем изобретении, является их инвазивный характер.

Аналогами изобретения являются способы реконструкции электрокардиограмм во внутренних областях грудной клетки математическим способом по данным синхронной регистрации комплекса ЭКГ на поверхности грудной клетки. Указанные способы основаны на решении обратной задачи электрокардиографии. Обратная задача ЭКГ с математической точки зрения является задачей гармонического продолжения потенциала в сторону источников, т.е. задачей Коши для уравнения Лапласа. Расчетной областью, в которой задается уравнение Лапласа, является часть грудной клетки, ограниченная внешней поверхностью сердца, поверхностью грудной клетки, на которой доступна регистрация ЭКГ и воображаемыми поперечными сечениями грудной клетки на уровне диафрагмы и ключиц.

На части поверхности грудной клетки, где доступна регистрация ЭКГ, задаются полученные в результате ЭКГ-картирования значения электрического потенциала,

а также условие равенства нулю нормальной производной потенциала. Эти данные составляют условия Коши. Задача Коши заключается в нахождении потенциала электрического поля в указанной области и его следа на поверхности сердца и поперечных сечениях грудной клетки таким образом, чтобы потенциал в расчетной области удовлетворял уравнению Лапласа, а на поверхности торса, где доступна регистрация ЭКГ — условиям Коши.

Один из способов решения обратной задачи электрокардиографии — метод реконструкции электрического поля на «квазиэпикарде» — условной сферической поверхности, окружающей сердце. С математической точки зрения метод основан на представлении потенциала электрического поля сердца в виде гармонического полинома (сферической функции), коэффициенты которого находятся из условия равенства (или минимума среднеквадратичного отклонения) значений полинома и значений ЭКГ-сигнала в точках его регистрации с учетом равенства нулю нормальной производной потенциала на поверхности грудной клетки. Для обеспечения устойчивости решения используется полином не выше 4 степени. Способ обладает существенным недостатком: при уменьшении радиуса сферы, т.е. по мере приближения поверхности «квазиэпикарда» к реальной поверхности сердца точность реконструкции потенциала резко падает. При приближении поверхности квазиэпикарда к поверхности грудной клетки снижается разрешающая способность метода в плане выявления локальной электрической активности миокарда.

Для решения граничных задач для уравнения Лапласа широко используются методы интегральных уравнений теории потенциала, в англоязычной литературе более известные как методы граничных элементов. Указанные методы, в частности, предполагают представление поверхностей сердца и торса в виде полигональных поверхностей, т.е. разбиение граничных поверхностей на множество треугольных элементов.

Наиболее близким к заявляемому способу (прототип) является методика неинвазивного электрокардиографического картирования (Noninvasive Electrocardiographic Imaging, ECGI), где поверхностное картирование осуществляется с использованием 224 однополярных электродов, размещенных на специальном жилете, который надевается на пациента во время исследования. Поверхности торса и сердца определяются на основе компьютерной или МРТ-томографии грудной клетки. Алгоритм реконструкции основан на решении обратной задачи электрокардиографии методом граничных элементов. Поверхности сердца и торса в приближенно представляются в виде полигональных поверхностей. Для решения обратной задачи ЭКГ также используется система матрично-векторных уравнений, которая путем элементарных преобразований сводится к системе линейных алгебраических уравнений. Способ применялся для выявления локализации Дополнительных проводящих путей (ДПП) при манифестирующем синдроме WPW, эктопических источников при желудочковой экстрасистолии и тахикардии,

реконструкции динамики активации миокарда при трепетании предсердий.

Существенным недостатком рассмотренного способа является использование модели грудной клетки с постоянным коэффициентом удельной электропроводности. Удельная электропроводность различных органов и тканей грудной клетки существенно различается. Переменный коэффициент электропроводности биологических тканей оказывает достаточно большое влияние на электрическое поле сердца в грудной клетке, что подтверждается данными экспериментальных исследований. Наибольшую роль играет различие электропроводности легких и окружающих мягких тканей (в 4–5 раз). Потенциалы электрического поля сердца модельных источников, рассчитанные для однородной и неоднородной моделей грудной клетки, различаются на 15%–20%. Таким образом, пренебрежение электрической неоднородностью тканей грудной клетки приводит к большим погрешностям реконструкции электрического поля сердца [6].

Для решения обратной задачи ЭКГ так же используется метод регуляризации Тихонова А. Н. [9], в основе которого лежат следующие утверждения:

1. Состояние сердца определяет его электрическую активность (ЭАС).

2. Количество, расположение и выбор точек модели сердца пациента задают максимальное разрешение для исследования электрических процессов, происходящих в сердце.

3. Точки модели сердца пациента являются элементарными сердечными диполями, для каждого из которых в системе координат сердца заданы местоположение, ориентация и изменение во времени его величины, и определяют ЭАС пациента.

4. Согласно электрокардиографическому представлению значение потенциала, генерируемого сердцем и регистрируемое на торсе пациента (прямая задача электрокардиографии), определяется по формуле, включающей значение электрического потенциала в j -й точке стандартного отведения ($j = 1, \dots, 12$); среднее удельное электрическое сопротивление торса и коэффициент пропорциональности, основанный на характеристике электрической активности области на поверхности модели сердца пациента [7].

Решение обратной задачи электрокардиографии впервые было предложено еще в 70-е года прошлого века (В. Taccardi, R. Barr, R. Plonsey). Первый работоспособный алгоритм решения обратной задачи электрокардиографии был разработан в 1981 г. В. В. Шакиным. Первые клинические испытания неинвазивной электрофизиологической методики, основанной на решении обратной задачи ЭКГ проводились в 1985–87 г. в НЦССХ им. А. Н. Бакулева (Л. А. Бокерия, В. В. Шакин, Г. В. Мирский, А. Ш. Ревивили, И. П. Полякова). Результаты клинических испытаний показали потенциальную перспективность данной методики, однако уровень развития вычислительной и медицинской техники того времени не

позволил в полной мере внедрить ее в клиническую практику. Впервые удалось реализовать все этапы методики неинвазивного эпикардального картирования научному коллективу, возглавляемому проф. Y. Rudy (США), предложившему в 2004 г. вариант методики, названный авторами Noninvasive Electrocardiographic Imaging, которая предусматривает помимо поверхностного ЭКГ-картирования проведение КТ или МРТ грудной клетки и сердца. В 2006 г. на базе отделения хирургического лечения тахикардий НЦ ССХ им. А. Н. Бакулева под руководством А. Ш. Ревивили был разработан современный программно-аппаратный комплекс для неинвазивного электрофизиологического исследования сердца, основанный на решении обратной задачи электрокардиографии. Вычислительное неинвазивное активационное картирование включало несколько этапов:

1. Проведение многоканальной регистрации электрокардиограмм с поверхности грудной клетки в 80 или 240 однополюсных отведений с использованием различных систем поверхностного ЭКГ-картирования.

2. Пациентам с уже наложенными поверхностными электродами проводилась спиральная компьютерная томография грудной клетки с внутривенным контрастированием. Использовался различный шаг спирали: 5–7 мм для сканирования всей грудной клетки и шаг спирали 3 мм для сканирования области сердца.

3. По данным компьютерной томографии определялись границы поверхностей грудной клетки, эпикардальной и эндокардиальной поверхности сердца и строились реалистичные трехмерные воксельные модели торса и сердца [10].

Таким образом, продолжается прогресс в этой области. В последние годы были созданы эффективные алгоритмы решения обратных задач электрокардиографии [3–5], а все необходимые технические средства уже давно и широко используются в клинической практике (компьютерная томография и электрокардиотопография с регистрацией многоканальных ЭКГ на поверхности тела). Продолжается разработка специальных программно-аппаратных комплексов для электрофизиологического исследования сердца на основе решения обратных задач электрокардиографии. Были созданы многие десятки компьютерных электрокардиографических баз данных с сотнями и тысячами хорошо аннотированных ЭКГ в стандартных, ортогональных и других малоканальных отведениях, а также обширные библиотеки внутрисердечных электрокардиограмм. Многие из них являются, по сути, компьютерными реализациями атласов — предшественников баз данных. Некоторые базы данных, например, “The Common Standards for Electrocardiography (CSE) Database” (база данных для выработки общих стандартов в электрокардиографии) [5] и “The Physikalisches-Technische Bundesanstalt (PTB) Diagnostic ECG Database” (диагностическая ЭКГ база данных Физико-технического института) сыграли существенную роль в становлении современной компьютерной

электрокардиографии. Все алгоритмы предварительной обработки ЭКГ, фильтрации, выделения изолинии, разметки кардиоциклов, автоматической диагностики, и др., входящие теперь в программное обеспечение электрокардиографов, разрабатывались и верифицировались с помощью этих баз данных [1,2].

Были созданы и активно развиваются базы данных трехмерных медицинских изображений, полученных с использованием томографических или других методов интроскопии. Например, в рамках проекта "The Cardiac Atlas Project (CAP)" создана и постоянно расширяется большая база данных, содержащая результаты неинвазивных интроскопических исследований нормальных и патологических сердец, предназначенная для клинических, научно-исследовательских и образовательных целей.

Однако нет баз данных, содержащих все необходимые элементы для верификации и совершенствования методов и алгоритмов, применяемых при решении обратной задачи электрокардиографии. В интернете можно найти лишь отдельные случаи, содержащие одновременно многоканальные ЭКГ, измеренные на поверхности грудной клетки, и численное описание формы торса и сердца.

Синхронизированная база, объединяющая данные одновременно проводимых электрофизиологических и томографических клинических исследований, могла бы стать основой для совершенствования методов и алгоритмов, применяемых при решении обратной электрокардиографической задачи, и для их всесторонней экспериментальной проверки. Более того, такая база данных была бы полезна также при решении целого ряда других проблем, сдерживающих развитие неинвазивной электрокардиографии. Во многих научных центрах проводятся интенсивные комплексные исследования механизмов деятельности сердца: моделирование структурно-функциональных соотношений на разных уровнях (биомолекулы, миоциты, ткани миокарда, все сердце и все тело) и моделирование электрофизиологических, механических и биофизических процессов (обмен веществ и кровообращение). Важным и полезным результатом этой работы являются пакеты программ с открытым кодом для многомасштабного моделирования электрофизиологических процессов: SCIRun, CHASTE (Cancer, Heart and Soft Tissue Environment) и CARP (Cardiac Arrhythmia Research Package).

В клинике используются несколько различных систем электроанатомического картирования, которые позволяют с помощью катетеров провести картирование процесса активации на эндокарде. При одновременном картировании (регистрации) электрического потенциала на поверхности тела и реконструкции потенциалов на поверхности сердца появляется возможность сравнить полученные результаты с реальными измерениями.

Первый способ верификации локации зоны начальной активации миокарда — это сопоставление результатов решения обратной электрокардиографической задачи с данными, полученными в процессе инвазивных катетерных

операций, поиска и устранения эктопических источников возбуждения. Поиск эктопических источников предполагает непосредственное измерение электрических потенциалов на эпикарде при операциях на открытом сердце или эндокарде в процессе инвазивного катетерного электроанатомического исследования сердца. При этом перед проведением оперативного вмешательства проводится неинвазивное электрокардиотопографическое исследование (записывается многоэлектродная поверхностная электрокардиограмма), а также выполняется томография (КТ или МРТ) для получения детального описания анатомии торса и точного положения поверхностных электродов. Эти данные необходимы для решения обратной электрокардиологической задачи и определения хода волны возбуждения. После выполнения операции по удалению эктопического источника координаты выявленных эктопических источников возбуждения сопоставляются с результатами восстановления траектории фронта волны возбуждения, полученными при решении обратной задачи [1].

Второй способ верификации — это одновременное проведение электрокардиотопографического исследования (записи поверхностных электрокардиограмм) и стимуляции (навязывания ритма сердца путем периодической электрической стимуляции определенных точек возбудимого миокарда с помощью электродов кардиостимулятора или с использованием специального активного катетерного электрода в процессе выполнения инвазивного катетерного электроанатомического исследования). Точное положение стимулирующих электродов в сердце регистрируется с помощью томографического исследования (в случае использования постоянного кардиостимулятора) или в процессе проведения инвазивного катетерного электроанатомического исследования сердца, как, например, при использовании системы CARTO XP [1].

Заключение. Исходя из вышесказанного, для решения прямой задачи (вычисление потенциала на поверхности тела по заданным параметрам электрического генератора) и обратной задачи (неинвазивная реконструкция электрического поля сердца по ЭКГ на поверхности тела) необходимы следующие данные:

- синхронно регистрируемые электрокардиосигналы (ЭКС) во множестве точек на поверхности грудной клетки;
- синхронизированная с ЭКС численная трехмерная модель грудной клетки и внутренних органов пациента;
- координаты точек на поверхности грудной клетки, в которых были расположены электроды, синхронизированная с ЭКС численная трехмерная модель сердца и его внутренних камер и данные об электропроводности внутренних органов, миокарда и внутриполостной крови;
- параметры биофизической модели миокарда как возбудимой среды и положение точек стимуляции и электрические параметры стимуляции.

Таким образом, численное решение обратной задачи электрокардиографии с анатомической точностью, обеспечивающей возможность безошибочного хирургиче-

ского вмешательства, — это комплексная задача, включающая разработку, совершенствование и обеспечение необходимого быстрого действия алгоритмов на всех этапах: начиная с воксельных моделей распределения плотности тканей, полученных при КТ или МРТ, локализации электродов на поверхности тела, до визуализации физиологических процессов в миокарде и формирования обоснованного диагностического заключения.

В последние годы за рубежом появилось большое количество систем неинвазивного картирования — комплекс ИРМ-7100 производителя FUKUDA DENSHI (Япония) и комплекс CARDIAC-112 производителя ZPA (Чехия). Эти системы реализованы в виде стационарных блоков, при этом исследуемый человек связан с ними

большим количеством проводов. Также существует необходимость в изучении организма и при разных видах деятельности, и при физ. нагрузках. Принимая во внимание эти обстоятельства, появляется необходимость в разработке диагностических многоканальных электрокардиографических систем с телеметрическими каналами связи.

В целом, информативность, как и диагностическая ценность выше обозначенных методов весьма различна, а значимость отдельного метода — относительна. Тем не менее, представленные подходы к формированию информационных технологий в области обработки ЭКГ — сигнала для решения задачи обнаружения опасных патологий сердца обеспечивают осуществление своевременной диагностики, и как следствие, оказание соответствующего лечения.

Литература:

1. Калинин, В. В. Способ неинвазивного электрофизиологического исследования сердца / В. В. Калинин, А. Ш. Ревитшвили, А. В. Калинин Патент на изобретение. <http://www.findpatent.ru/patent/241/2417051.html>.
2. Ревитшвили, А. Ш. Неинвазивная диагностика и результаты интервенционного лечения аритмий сердца с использованием новой системы неинвазивного поверхностного картирования «Амикард 01К» / А. Ш. Ревитшвили [и др.] // *Анналы аритмологии*. — 2012. — № 3. — с. 39–47.
3. Машенко, Т. Г., Трубочанова Н. В. Оценка методов обработки кардосигналов / Т. Г. Машенко, Н. В. Трубочанова // *Сборник научных трудов «Вестник НТУ «ХПИ»: Автоматика та приладобудування № 20 — Вестник НТУ «ХПИ»*, 2010. http://www.kpi.kharkov.ua/archive/Наукова_періодика/vestnik/Автоматика_та_приладобудування/2010/20/vesnik18.pdf
4. Фетисова, Е. А. Результаты применения нового метода вычислительного активационного картирования для топической диагностики синдрома WPW // Е. А. Фетисова автореф канд мед наук, Москва, 2011. — 24 с.
5. Денисов, А. М. Применение метода регуляризации Тихонова для решения обратной задачи электрокардиографии / А. М. Денисов [и др.] // *Вестник МГУ. Серия 15. Вычислительная математика и кибернетика*. — 2008. — № 2. — с. 5–10.
6. Денисов, А. М. Численные методы решения некоторых обратных задач электрофизиологии сердца / А. М. Денисов [и др.] // *Дифференциальные уравнения*. — 2009. — Т. 45, № 7. — с. 1014–1022.
7. Денисов, А. М. Численное решение обратной задачи электрокардиографии для среды с кусочно-постоянным коэффициентом электропроводности / А. М. Денисов [и др.] // *ЖВМ и МВ*. — 2010. — Т. 50, № 7. — с. 1233–1239.
8. Айду, Э. А. — И., Трунов В. Г. Принципы формирования базы данных для верификации систем неинвазивной электрокардиографии *in silico* и *in vivo* // *Информационные процессы*. — 2012. — Том 1, № 12. — с. 438–446.
9. Бокерия, Л. А. Неинвазивное эндокардиальное картирование желудочков сердца на основе решения обратной задачи электрокардиографии / Л. А. Бокерия [и др.] // *Вестник аритмологии*. — 2009. — № 57. — с. 24–28.

Микропроцессорный измеритель коэффициента температуропроводности материалов

Григорьев Михаил Георгиевич, инженер;

Бабич Людмила Николаевна, студент

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

В работе представлены краткие теоретические сведения о применяемом датчике и представлена принципиальная схема модуля обработки информации на основе микроконтроллера фирмы Microchip Technology Inc. PIC18F4550. Показана возможность применения данного микроконтроллера для разработки измерителя коэффициента температуропроводности.

Ключевые слова: коэффициент температуропроводности, микроконтроллер, пироприемник.

Температуропроводность (коэффициент температуропроводности) — физическая величина, характеризующая скорость изменения (выравнивания) температуры вещества в неравновесных тепловых процессах. Численно равна отношению теплопроводности к объёмной теплоёмкости при постоянном давлении, в системе СИ измеряется в м²/с [1].

В основу измерения температуропроводности твердых тел положен метод Паркера. В классической работе У. Паркера и др., опубликованной в 1961 г. [2], предложен импульсный способ определения ТФХ. Метод Паркера в его различных воплощениях доминирует в мировых исследованиях по температуропроводности, в особенности, при анализе высокотеплопроводных материалов и тонких пленок. Модификация метода включают учет теплоотдачи на поверхностях изделия, конечных размеров образцов и конечной длительности реальных импульсов нагрева.

Этот метод заключается в том, что тонкий образец облучают короткими импульсами лучистой энергии, которая поглощается в тонком слое фронтальной поверхности образца. Вызванное облучением возмущение температуры тыльной поверхности образца регистрируется прецизионным температурным датчиком с очень малым временем термической реакции. По зависимости температуры обратной поверхности образца от времени определяют температуропроводность (коэффициент термической диффузии). Полученная в этом случае информация содержит данные, связанные с коэффициентом температуропроводности (термической диффузии), теплоемкостью и теплопроводностью образца.

В общем виде уравнение преобразования имеет вид:

$$T(l, t) = T_{max} \left[1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \exp\left(-\frac{n^2 \pi^2 a t}{l^2}\right) \right]$$

где $a = \frac{1.388 \cdot l^2}{\pi^2 \tau_{1/2}} = 0.139 \cdot \frac{l^2}{\tau_{1/2}}$ температуропроводность тела.

Оригинальный метод Паркера применяется при следующих допущениях (идеальная модель):

- Адиабатный, изотропный, гомогенный образец;
- Однородный импульсный нагрев;
- Стремящаяся к нулю длительность импульса.

Методы. Достаточно долго в «НИИ интроскопии» ведутся работы связанные с внедрением методов и оборудования теплового контроля статуса вращающихся печей для обжига, используемых, например, в изготовлении цемента. Представленный метод Паркера применялся для идентификации ТФХ обмазки, образующейся на поверхности внутри печи в процессе работы [3]. Идентификация свойств обмазки необходима для создания модели тепловых процессов, протекающих в печах и разработки ряда управляющих влияний на печи. Одна из основных проблем в осуществлении метода Паркера — необходимость создания образцов с плоскопараллельной поверхностью.

Образец нагревали с помощью галогенной лампы КГ220/1000, температуру измеряли на задней поверхности с помощью тепловизора Thermovision570 (диапазон длин волн 7...13 мкм, температурное разрешение

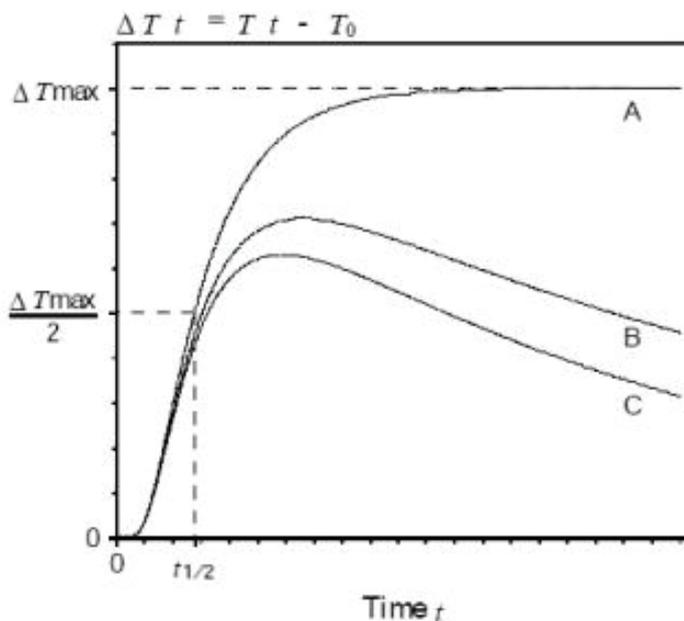


Рис. 1. Термограмма тыльной поверхности образца. А — идеальная кривая; В, С — реальные кривые

0,1°C, формат кадра 320×240, частота кадров 25 Гц). Записывали до 50 термограмм с интервалом 3 с. Обработку изображений проводили с использованием программы ThermoFit Pro, включая первичную фильтрацию данных по пространству и во времени, вычисление времени и определение температуропроводности.

Во время измерения коэффициента температуропроводности материалов с высоким коэффициентом теплопроводности наблюдается быстрый отклик от тыльной поверхности образца (металла), поэтому было предложено разработать устройство, измеряющее коэффициент температуропроводности на базе пироприемника компании Murata Manufacturing Co., Ltd — IRA-E700. Данный тип пироприемников применяется в системах охранных сигнализаций в качестве индикаторов дыма, равно как и в автоматизированных системах освещения.

PIR (PassiveInfraRed) — детекторы или пассивные инфракрасные пироприемники, предназначены для определения перемещения тепловой зоны на постоянном фоне. Во всех случаях пироприемник используется совместно с внешней оптической системой, осуществляющей разделение пространства на прозрачные и непрозрачные температурные секторы и фокусировку инфракрасного излучения с контролируемого объема на чувствительный элемент. Основой пироэлектрического датчика является фотоэлемент, чувствительный к инфракрасному излучению, который вырабатывает электрический сигнал пропорциональный величине излучения. Для согласования фотоэлемента со схемой и первоначального усиления сигнала используется полевой транзистор. В варианте в котором датчик будет построен лишь на одном

фотоэлементе, то он сработает не только от движущихся объектов, но и просто от внешней температуры, солнечных лучей, от радиаторов отопления и изменения температуры самого датчика, точнее его корпуса.

Как отмечалось выше, в разрабатываемом приборе используется пироприемник IRA-E700, поэтому для построения принципиальной схемы необходимо ознакомиться с технической документацией и типовой схемой включения данного типа пироприемника [4].

Сигнал с пироприемника чрезвычайно мал для оперирования с ним, благодаря этому он протекает через два ОУ и на выходе может варьироваться от 0 до 5В. Данную часть схемы мы можем подключить к схеме с аналогово-цифровым преобразователем (АЦП), обрабатывающим и оцифровывающим данный сигнал. Поскольку зависимость напряжения на выходе пироприемника от входящего на него потока инфракрасного излучения линейная, то разность потоков в процессе срабатывания индикатора прямо пропорциональна спаду напряжения на выходе ОУ.

Данную аналоговую часть приборной схемы будем подключать к АЦП в составе микросхемы фирмы Microchip — PIC18F4550 [5]. Внутри данной микросхемы мы имеем модуль сопряжения с ПК по USB2.0. PIC18F4550 имеет 32 Кбайта FLASH-памяти. Портов ввода/вывода для PIC18F4550—35. Важным достоинством можно считать наличие 10-разрядных АЦП, которых также в избытке: 13 АЦП. Аналогово-цифровые преобразователи преобразовывают аналоговый сигнал в цифровой вид. В нашем случае от 0 до 5 В. Не сложно подсчитать, что разрешение такого 10-разрядного АЦП будет $5/1023=0,0049$ В.

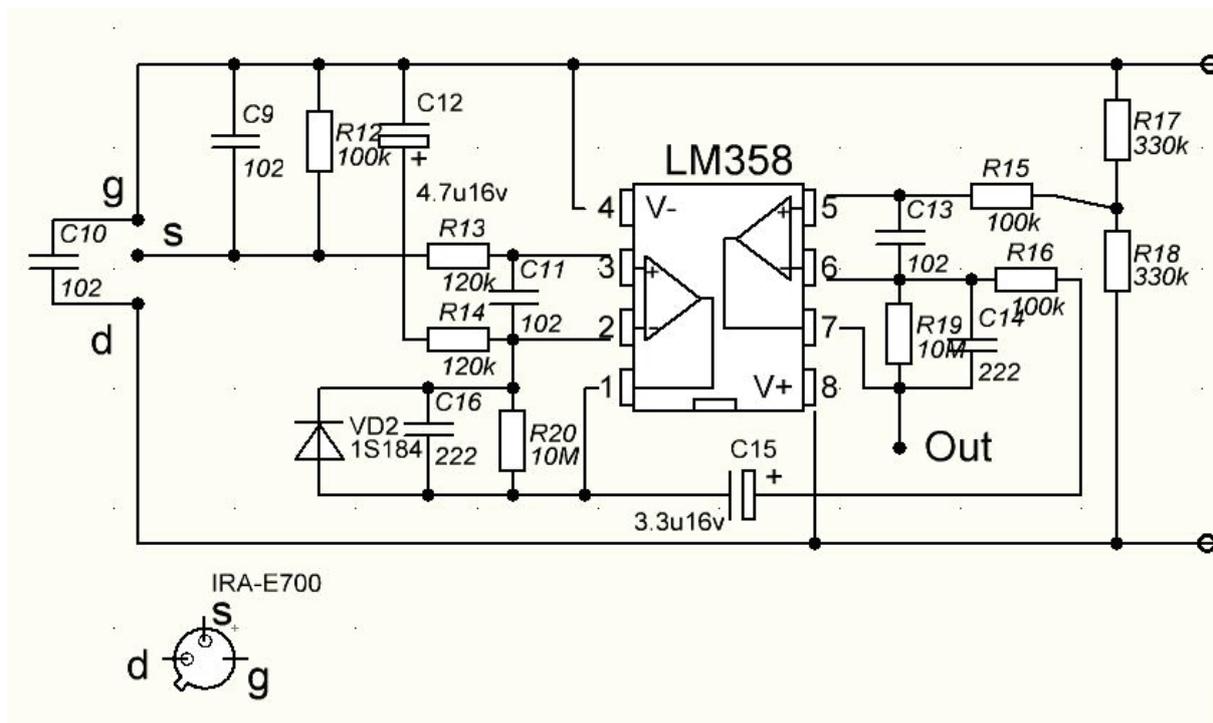


Рис. 2. Схема включения пироприемника IRA-E700

Литература:

1. Температуропроводность // Википедия URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Температуропроводность> (дата обращения: 10.05.2015).
2. Parker, W. J., Jenkins R. J., Butler C. P., Abbot G. L. Flash method of determining thermal diffusivity, heat capacity and thermal conductivity//J.Appl.Physics. — 1961. — V.32 — № 9. — P.1679–1684.
3. Torgunakov, V., Vavilov V. Inspecting rotating kilns used in cement production: line scanners and data processing//Thermosense XXV: Proc. SPIE. — 2003. — V. 5073. — P. 385–494.
4. Pyroelectric Infrared Sensors IRA-E700 Series Data Sheet [электронный ресурс]. — режим доступа: <http://www.murata.com/>. — Загл. с экрана.
5. PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet [электронный ресурс]. — режим доступа: www.microchip.com. — Загл. с экрана.
6. Сервер радиолюбителей Беларуси|AMATAR.BY Belarus hamradio site. [электронный ресурс]. — режим доступа: <http://amatar.by/index.html> — Загл. с экрана.

Новые растительные сорбенты для очистки водоемов от аварийных разливов нефти и продуктов на ее основе

Громыко Никита Владимирович, магистрант
Башкирский государственный университет

Получены новые сорбционные материалы на основе лузги подсолнечника и шелухи гречихи. Исследована адсорбционная способность данных растительных сорбентов по отношению к легким и средним фракциям нефтепродуктов. Показано, что наибольшей эффективностью обладает материал из шелухи гречихи, последовательно обработанный концентрированной соляной кислотой и 33-процентным раствором едкого натра. Данный модифицированный препарат по своим адсорбционным свойствам в отношении нефтепродуктов не уступает современным промышленным сорбентам.

Ключевые слова: *лузга подсолнечника, шелуха гречихи, модификация полисахаридной матрицы, нефтепродукты, экология водных ресурсов, адсорбционная способность.*

Одним из наиболее опасных экологических катастроф являются разливы нефти и продуктов на ее основе. Аварии на действующем нефтепроводе, автомобильном, железнодорожном, водном транспорте, а также на заводах сопровождаются попаданием нефти в почвы и водоемы, а также в подземные объекты [1, с. 31–32]. В связи с расширением областей применения нефти и нефтепродуктов все большее количество попадает в океаны, моря, реки, озера. Существуют различные способы ликвидации разливов нефтепродуктов: с помощью механических средств, сорбционными, рассеивание пленок из нефтепродуктов химическими или биологическими препаратами, сжиганием на поверхности водоемов и др. [2, с. 10].

Сорбционный метод является одним из наиболее рациональных и эффективных методов, применяемых для ликвидации нефтяных разливов. Он позволяет быстро и эффективно удалять загрязнения чрезвычайно широкой природы практически до любой остаточной концентрации независимо от их химической устойчивости [3, с. 107].

В последнее время широкое распространение получило использование растительных сорбентов, полученных

из древесных опилок, листового опада, скорлупы орехов, шелухи крупяных культур [4]. Каждый регион в зависимости от специфики промышленности, географического положения, климатических условий имеет крупные запасы того или иного растительного отхода, который в большинстве случаев сжигается (что ухудшает экологическое состояние атмосферного воздуха). В республике Башкортостан таким многотоннажным сырьем являются отходы переработки подсолнечника и гречихи, общее количество которых составляет более 600 т / год. Использование данных отходов для получения сорбентов для удаления нефтепродуктов позволит не только получить эффективные материалы, но и одновременно связать их экологически безопасную ликвидацию с рациональным применением [5, с. 32–6, с. 12].

В данной работе исследована возможность применения сорбционных материалов на основе растительного сырья (лузга подсолнечника, шелуха гречихи), полученные путем кислотно-щелочной и низкотемпературной обработки. В зависимости от условий модификации исходного сырья были получены различные материалы, с различными сорбционными характеристиками.

Экспериментальная часть

Для получения различных сорбционных материалов исходное сырье промывалось с целью удаления растворимых полисахаридов, липидов и красящих веществ водным раствором этанола (1:1) и горячей дистиллированной водой. В дальнейшем проводилось замачивание в концентрированной соляной кислоте с последующей обработкой концентрированным раствором едкого натра (кислотно-щелочной сорбент), либо кипячением в 4-% растворе гидроксида натрия, после чего производили заморозку материала при -20°C с последующей дефростацией острым паром (низкотемпературный сорбент).

Полученные препараты впоследствии тщательно промывали дистиллированной водой, высушивали в сушильном шкафу при температуре $+100^{\circ}\text{C}$ до постоянной массы. Высушенный материал измельчался до частиц размером 1–2 мм. Сорбционную активность образцов лужги

подсолнечника и шелухи гречихи по отношению к растворенным загрязнителям исследовали фотокolorиметрическим методом.

Обсуждение результатов

Для изучения сорбции растворимых нефтепродуктов были использованы полученные материалы образцы с различными характеристиками и определены параметры сорбции. Сорбция нефтепродуктов проводилась путем контактирования 50 мл раствора нефтепродуктов легкой и тяжелой фракций (бензин, керосин, дизельное топливо) с сорбентами (0,5 г) в конических колбах. Содержание нефтепродуктов в растворе анализировали до и после сорбции колориметрическим методом [2]. Модельные растворы готовили путем взбалтывания в делительной воронке дистиллированной воды с избытком нефтепродукта с последующим отстаиванием и отделением



Рис.1. Способы получения сорбентов на основе лужги подсолнечника и плодовых оболочек гречихи

водной фазы. Полученные результаты эксперимента позволили рассчитать величину статической емкости сорбентов (СОЕ), степень извлечения загрязнителя из воды (Е) и коэффициент распределения (К) [7].

Статическая обменная емкость вычисляли по формуле:

$$COE = \frac{(C_{исх} - C_{равн}) \cdot V}{g}, \text{ г}_{\text{элемента}} / \text{г} \quad (1)$$

Степень извлечения загрязнителя из воды:

$$E = \frac{C_{исх} - C_{равн}}{C_{исх}} 100, \% \quad (2)$$

Коэффициент распределения (К), т.е. отношение концентрации нефтепродукта, содержащегося в сорбенте, к его концентрации в растворе

$$K_d = \frac{(C_{исх} - C_{равн}) \cdot V}{C_{равн} \cdot g}, \text{ л/г} \quad (3)$$

где СОЕ — статическая обменная емкость, мг/г;

g — масса сухого сорбента, г;

V — объем приливаемой к сорбенту воды, л;

C_{исх.} — концентрация в исходной воде, г/г;

C_{равн.} — равновесная (остаточная) концентрация в фильтрате, устанавливающаяся в воде

Таблица 1. Сорбционные характеристики полученных образцов

№	Сорбция керосина			Сорбция бензина			Сорбция дизельного топлива		
	Е, %	СОЕ	К	Е, %	СОЕ, мг/г	К	Е, %	СОЕ, мг/г	К
1	57.6	3.7	0.132	51.4	5.7	0.106	66.4	16.2	0.197
2	60.0	3.9	0.150	67.6	7.5	0.208	66.0	16.0	0.194
3	73.8	4.8	0.282	77.5	9.3	0.342	85.7	20.9	0.297
4	65.7	4.2	0.244	57.1	6.6	0.147	61.9	15.1	0.162
5	18.5	1.2	0.023	23.4	2.6	0.031	52.1	12.7	0.109
6	58.4	3.8	0.141	56.2	6.3	0.135	68.1	17.0	0.212

Примечание:

1. Лузга подсолнечника, подвергнутая кислотно-щелочной обработке
2. Лузга подсолнечника, подвергнутая низкотемпературной обработке
3. Шелуха гречихи, подвергнутая кислотно-щелочной обработке
4. Шелуха гречихи, подвергнутая низкотемпературной обработке
5. Уголь активированный медицинский марки БАУ (для сравнения)
6. Сорбент торфяной «Сорбонафт»

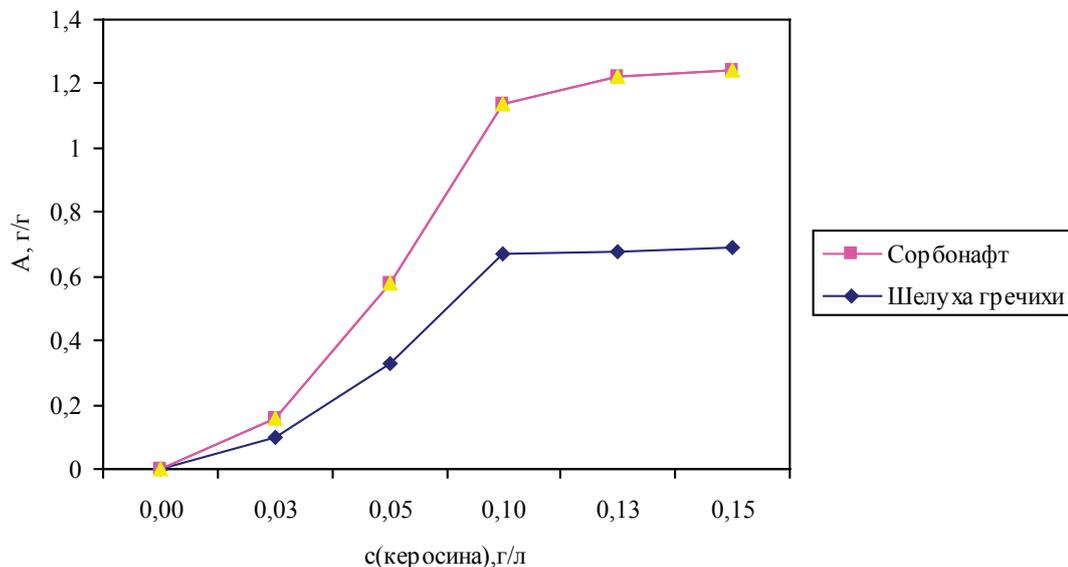


Рис. 2. Изотерма сорбции керосина шелухой гречихи, подвергнутой низкотемпературной обработке и торфяного сорбента «Сорбонафт»

На основе изучения кинетики сорбции нефтепродуктов в статических условиях установлено, что наибольшей сорбционной емкостью обладает сорбент, полученный на основе шелухи гречихи, подвергнутой низкотемпературной обработке, который превосходит по сорбции нефтепродуктов промышленный торфяной сорбционный материал «Сорбонафт» в среднем на 30%. При этом нами был сделан вывод, что на процесс сорбции влияют вид исходного сырья и структура пор сорбента, которая определяется, главным образом, условиями модификации. Изотермы сорбции нефтепродуктов (керосина), полученные в статических условиях, свидетельствуют о высокой со-

рбционной способности кислотно-щелочной гречишной шелухи.

Таким образом, исследования сорбционной способности модифицированных лузги подсолнечника и шелухи гречихи, показали, что наибольшей эффективностью обладает шелуха гречихи, подвергнутая кислотно-щелочной обработке. Данный образец имеет наибольшие параметры адсорбции нефтепродуктов, превосходящие таковые для промышленного сорбента «Сорбонафт» на 30%. Это дает широкие возможности для получения дешевых экологически чистых сорбентов из отходов переработки растительных культур.

Литература:

1. Карелин, Я. А., Попова И. А., Евсеева Л. А. и др. Очистка сточных вод нефтеперерабатывающих заводов — М.: Стройиздат, 1982.
2. Роев, Г. А., Юфин В. А. Очистка сточных вод и вторичное использование нефтепродуктов — М.: Недра, 1987.
3. Стахов, Е. А. Очистка нефтесодержащих сточных вод предприятий хранения и транспорта нефтепродуктов — Л.: Недра, 1983.
4. Роев, Г. А. Очистные сооружения. Охрана окружающей среды — М.: Недра, 1993.
5. Родионов, А. И., Клушин В. П., Торочешников И. С. Техника защиты окружающей среды. Учебник для вузов — М.: Химия, 1989.
6. Очистка производственных сточных вод: учебное пособие для вузов/ Под. ред. Яковлева С. В. — М: Стройиздат, 1985.

Программа генерализации результатов дешифрирования аэрокосмических снимков леса с переменным шагом

Гусев Иван Сергеевич, магистрант;
 Степанов Игорь Михайлович, кандидат технических наук, профессор
 Московский государственный университет леса

В статье описывается разработанная программа генерализации результатов дешифрирования аэрокосмических снимков Земли, а также рассматривается пример обработки изображения с разным шагом генерализации [1].

Ключевые слова: дешифрирование, аэрокосмический снимок, шаг генерализации.

Keywords: decoding, aerospace picture, step of generalization.

Генерализация является одним из этапов при дешифрировании аэрокосмических снимков Земли. Она заключается в объединении отдельных элементарных участков земной поверхности в выделы. Объединяются однородные элементарные участки местности, примыкающие друг к другу, в результате образуются единые однородные по виду растительности топологические группы.

Для обработки изображения на этапе генерализация разработана программа, которая позволяет пользователям обрабатывать аэрокосмические снимки с целью выделения различных областей лесных пород и их концентрации. Такого рода программы крайне необходимы для

устойчивого эффективного управления лесами и для получения необходимой объективной информации о состоянии и динамике лесных экосистем.

В программе учтена возможность изменения исходных данных обработки, таких, как выбор обрабатываемого изображения и качество его обработки, а также выбор шага генерализации. Пользователю нужно загрузить исходный снимок, задать необходимые параметры и выполнить обработку изображения (рис. 1).

Шагом генерализации назван размер окна (выраженный в числе пикселей), с помощью которого сканируют изображение.

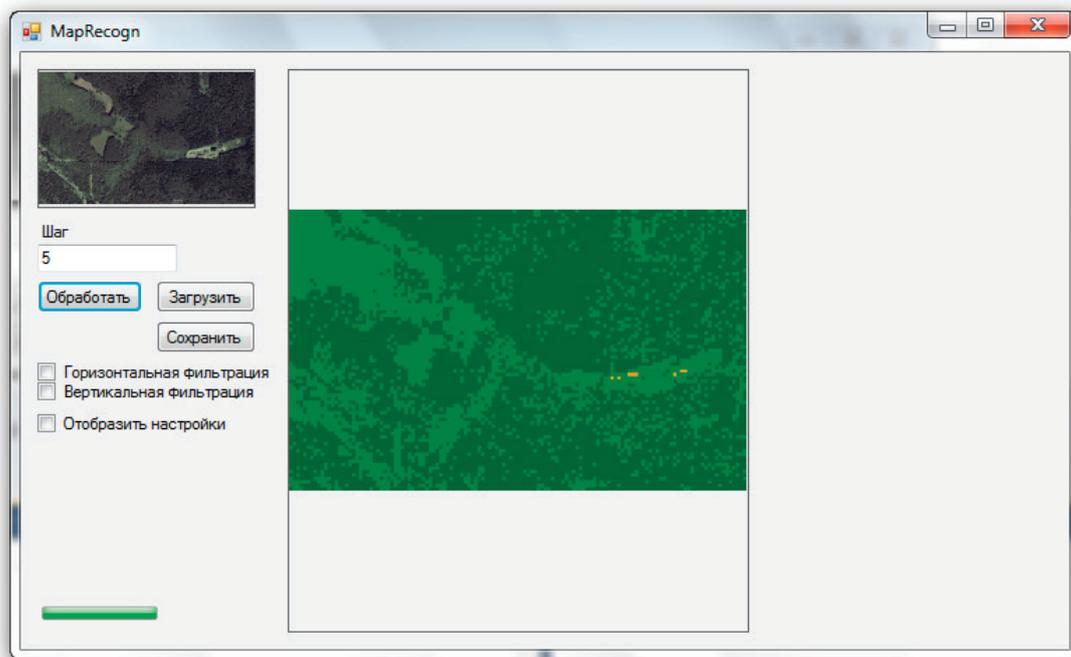


Рис. 1. Общий вид программы

На рис. 2 представлен пример обработки снимка с разными шагами генерализации. Изображение разделено на 4 участка А, Б, В, Г, каждый был обработан с шагом генерализации 1, 3, 5 и 15 соответственно. Тёмно-зелёным цветом показаны лесные массивы, а светло-зелёным показана остальная площадь.

А) Изображение обработано с шагом генерализации 1. По сути изображение прошло только этап классификации без этапа сегментации. Для полного прохождения процедуры генерализации этого недостаточно.

Б) Изображение обработано с шагом генерализации 3. Как видно из рисунка, генерализация прошла не очень

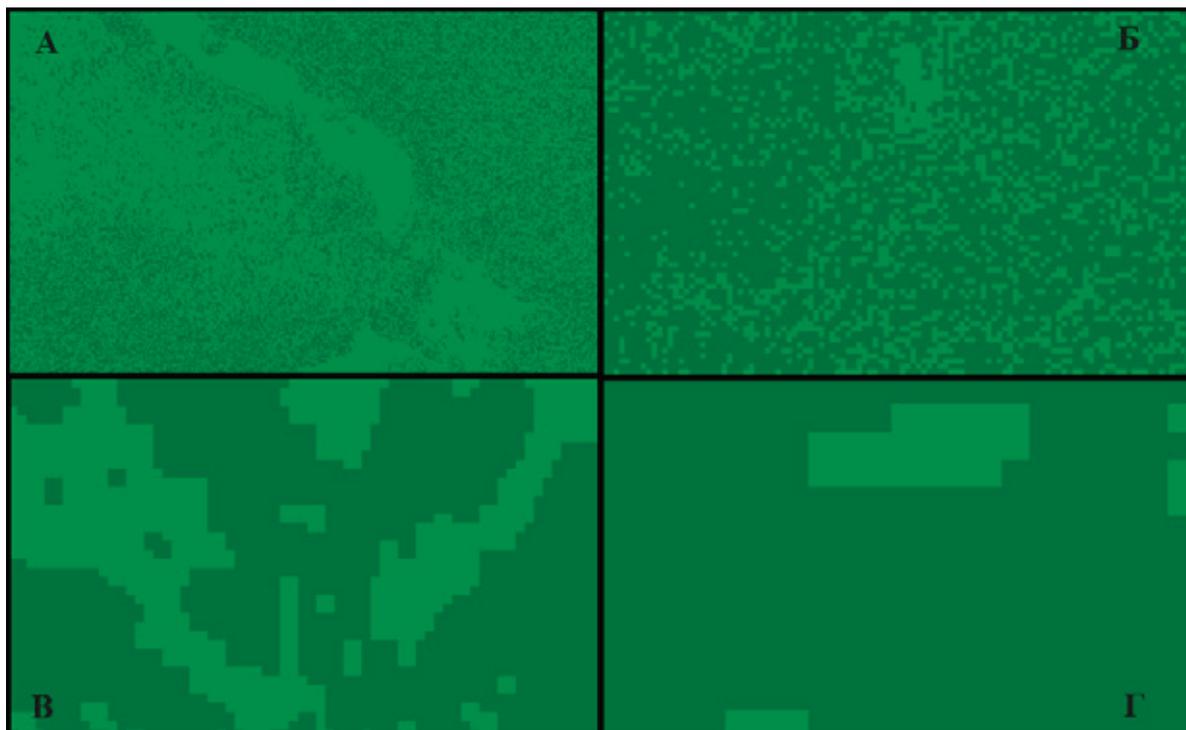


Рис. 2. Результат обработки изображения с разным шагом генерализации

успешно, т.к. сегменты леса выделены не очевидно. По этому изображению трудно определить, какие сегменты с лесными массивами.

В) Изображение обработано с шагом генерализации 5. Как видно из рисунка, генерализация прошла успешно. Можно легко отличить, где находятся лесные массивы.

Литература:

1. В.И. Сухих. Аэрокосмические методы в лесном хозяйстве и ландшафтном строительстве: Учебник. — Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005.
2. Кашкин, В.Б., Сухинин А.И. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений. — М.: Логос, 2001.
3. Материалы кафедры ВТ МГУЛ.

Г) Изображение обработано с шагом генерализации 15. Как видно из рисунка, лесные массивы заняли почти весь рисунок. Чётко выделить сегменты не удалось. Генерализация прошла неудачно.

Проанализировав все 4 варианта обработки изображения, можно сделать вывод, что шаг 5 является оптимальным для заданного снимка.

Анализ причин обрушения покрытий общественных зданий

Джамбулатов Ринат Галимович, студент
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

В статье проанализированы причины наиболее значительных обрушений покрытий общественных зданий. Даны рекомендации по организации комплексного контроля технического состояния зданий для минимизации риска возникновения аварийных ситуаций.

Ключевые слова: контроль состояния, обрушение, безопасность зданий.

Обеспечение надежности и безопасности зданий всегда имело огромное значение. Возникновение различных аварийных ситуаций может нанести вред жизни и здоровью граждан, имуществу и окружающей среде. На территории Российской Федерации безопасность зданий и сооружений регулируется федеральным законом от 30 декабря 2009 г. N 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [1].

Особому контролю следует подвергать общественные здания, предназначенные для пребывания большого количества людей, например, административные, спортивные и торговые здания, здания для проведения культурно-массовых мероприятий. Часто такие здания имеют технологически сложные большепролетные вантовые, купольные или ферменные перекрытия, перекрытия-оболочки. Ошибки при проектировании и возведении таких конструкций могут приводить к частичному или полному обрушению кровли и впоследствии разрушению всего здания. Далее будут приведены наиболее значительные случаи обрушения кровли, произошедшие за последние десятилетия, как на территории Российской Федерации, так и за рубежом, и рассмотрены причины аварий. В статье рассматриваются обрушения, произошедшие вследствие человеческого фактора; не подлежат рассмотрению аварии, вызванные природными катаклизмами и террористическими актами. То есть будут проанализированы те случаи, когда трагедии можно было бы

избежать при должном контроле технического состояния здания.

14 февраля 2004 года произошло обрушение купола спортивно-развлекательного комплекса «Трансвааль-парк» в Москве (введен в эксплуатацию в июне 2002 г.) (см. рисунок 1), жертвами трагедии стали 28 человек. Следствие пришло к заключению о виновности главного конструктора проекта аквапарка Нодара Канчели [2]. 23 февраля 2006 года обрушилось здание Басманного рынка в Москве (построен в 1974 году), погибло 68 человек. Обрушение произошло вследствие обрыва одного из тросов, удерживающих покрытие здания. Причиной обрыва стали нарушения при эксплуатации здания и ненадлежащий контроль над техническим состоянием конструкций, приведший к значительной коррозии вантовых конструкций [3]. Типом перекрытия обоих зданий являлась железобетонная оболочка.

4 декабря 2005 г. обрушились металлические конструкции и крыша бассейна «Дельфин» в городе Чусовой Пермского края (построен в 1993 году), погибло 14 человек. Причинами стали факты утяжеления при проектировании и строительстве несущей кровли почти в два раза и 50-процентное коррозионное повреждение ферм, а также нарушение правил технического обслуживания и эксплуатации здания бассейна [4].

23 мая 2004 года, менее чем через год после открытия, произошло обрушение части перекрытия терминала аэ-

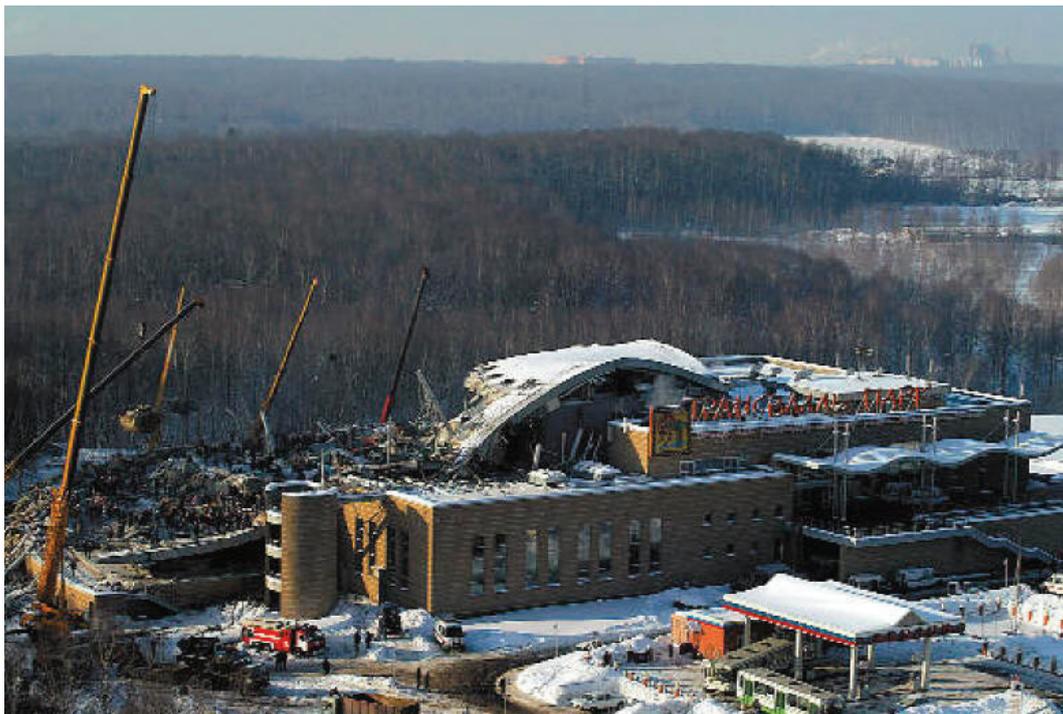


Рис. 1. Последствия обрушения развлекательного комплекса «Трансвааль-парк», Москва

ропорта Шарль-де-Голль в Париже, приведшее к гибели четырех человек [5]. Произошло разрушение горизонтальной железобетонной балки, что привело к пробитию покрытия колоннами. По результатам экспертизы причиной стали ошибки в проектировании и недостаточное качество бетона, использовавшегося при строительстве [6].

15 человек погибло при обрушении крыши ледового катка в Германии (построен в 1971 году) в январе 2006 года, произошедшего вследствие обильного снегопада и неверной оценки количества снега на крыше [7].

28 января 2006 года обрушилась крыша торгового зала на Международной ярмарке в Катовице, Польша (построен в 2000 году). Причиной трагедии, унесшей жизни 65 человек, названы ошибки в проектировании, а именно, недостаточная несущая способность ферм покрытия и возникновение значительных горизонтальных сил, приведших к опрокидыванию колонн [8]. Также влияние оказало превышение расчетного значения снеговой нагрузки вследствие обильного снегопада.

Обрушение кровли гипермаркета «О 'Кей» в Санкт-Петербурге в январе 2011 года было вызвано обильным снегопадом и непроектными изменениями, внесенными в конструкцию при изготовлении на заводе [9]. Обрушение торгового центра «Maxima» в Риге, произошедшее в ноябре 2013 года, привело к гибели 54 человек [10]. Причиной аварии являются ошибки при проектировании.

Обрушение торгового центра Samroong (открыт в 1990 году) 29 июня 1995 года в Сеуле (см. рисунок 2) унесло жизни 502 человек и уступает по количеству жертв только разрушению башен Всемирного торгового

центра в Нью-Йорке (2977 человек) и административного здания в Саваре, Бангладеш (1127 человек). Причиной обрушения торгового центра стал целый набор обстоятельств [11]:

1) Ошибки при строительстве и отступление от проектных решений. А именно, вместо колонн диаметром 80 см использовались колонны диаметром 40 см. Также неправильно было выполнено армирование узлов примыкания плит перекрытий к колоннам, что привело к уменьшению их прочности на 50%.

2) Для повышения пожарной безопасности были установлены огнестойкие экраны, которые были врезаны в колонны, что привело к еще большему уменьшению их поперечного сечения.

3) Фактором, ставшим спусковым механизмом разрушения, стали повреждения, нанесенные покрытию при транспортировке по крыше здания системы кондиционирования в 1993 году.

Об образовании трещин в несущих конструкциях здания было известно задолго до катастрофы, однако, не велся надлежащий контроль скорости их роста, и не была произведена приостановка эксплуатации здания и своевременная эвакуация людей, что в конечном итоге привело к огромным жертвам.

Анализ наиболее значительных обрушений покрытий зданий за последние двадцать лет показал, что все аварии, не зависимо от географического положения объекта, произошли по схожим причинам, а именно:

- 1) Грубые ошибки при проектировании зданий;
- 2) Внесение непроектных изменений при строительстве, ненадлежащее качество выполнения работ и использованных материалов;



Рис. 2. Последствия обрушения торгового центра Samroong, Сеул

3) Повреждение несущих конструкций при реконструкции здания и проведении различных работ;

4) Недостаточный контроль технического состояния конструкций;

5) Нарушение правил технического обслуживания зданий, в том числе несвоевременная уборка снега с кровли.

Следует отметить большое количество проявлений «детских болезней», т.е. обрушений конструкций в течение первых лет после введения в эксплуатацию. Причинами таких ранних аварий являются ошибки при проектировании и строительстве, которые должны быть выявлены на этапе экспертизы проекта и введения здания в эксплуатацию.

Механизм разрушения вследствие старения зданий, то есть появления и накопления дефектов, коррозионных и усталостных разрушений, деградации свойств материалов, изменений условий эксплуатации, требует постоянного контроля состояния конструкций. Для уменьшения рисков аварийных ситуаций важно обеспечить проведение своевременных экспертиз зданий и наличие конкретного должностного лица, ответственного за безопасность здания, его техническое обслуживание и контроль состояния.

Особое внимание должно быть уделено уникальным, наиболее ответственным сооружениям с большепролетными конструкциями. Часто обычный мониторинг таких сооружений затруднен в связи с большой трудоемкостью и длительностью его проведения во времени.

Объединение новейших достижений в технологии сенсоров, обмена и обработки данных позволяет вести непрерывный автоматизированный мониторинг состояния как новых, так и старых зданий [12]. Отслеживание перемещений и ускорений конструкций, температурного и влажностного режима, скорости ветра позволяет точно оценивать техническое состояние конструкций, обнаруживать особенности поведения конструкции, не заложенные в проект, и на ранних этапах выявлять образование трещин и других дефектов.

Например, подобный мониторинг ведется за состоянием спортивного комплекса «Олимпийский» в Москве. Информационно-вычислительная система мониторинга решает задачу проведения долговременного системного контроля перемещений и деформаций ответственных элементов металлоконструкций под действием климатических и технологических нагрузок с целью установления соответствия фактического напряженно-деформированного состояния конструкций расчетным данным и упреждающего обнаружения критических и предаварийных состояний металлоконструкций перекрытия и подвесных путей [13].

Таким образом, для минимизации рисков возникновения аварийных ситуаций вследствие обрушения покрытий и других несущих конструкций общественных зданий должна использоваться комплексная система контроля и выявления ошибок на всех этапах жизненного цикла сооружения.

Литература:

1. Федеральный закон Российской Федерации от 30 декабря 2009 г. N 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»

2. Заключение эксперта № 340–343/19–825.03.2005 г. по уголовному делу № 323806
3. Столяров, С., Макряшина А. Басманный рынок упал по совокупности // Газета.ру. — 2006. — 30 апр.
4. Эксперты выяснили причины обрушения крыши бассейна «Дельфин» // РБК. — 2005. — 15 дек.
5. 'Fresh cracks' at Paris airport // BBC News. — 2004. — 24 мая
6. Wassim Raphael, Rafic Faddoul, Roy Feghaly, Alaa Chateaneuf, Analysis of Roissy Airport Terminal 2E collapse using deterministic and reliability assessments // Engineering Failure Analysis. — Volume 20, March 2012, Pages 1–8
7. Pressing questions over rink tragedy // BBC News. — 2006. — 3 янв.
8. Biegus, A., Rykaluk K. Collapse of Katowice fair building // Engineering Failure Analysis. — 16 (5), 1643–1654.
9. Закрыто дело по факту обрушения кровли в гипермаркете О'кей // Деловой Петербург. — 2012. — 25 янв.
10. At least 54 dead after Latvia mall collapse // RT/ — 2013/ — 24 ноя.
11. N. J. Gardner, Jungsuck Huh, Lan Chung. Lessons from the Sampoong department store collapse // Cement and Concrete Composites. — Volume 24, Issue 6, December 2002, Pages 523–529
12. Nuno Martins, Elsa Caetano, Sandro Diord, Filipe Magalhães, Alvaro Cunha. Dynamic monitoring of a stadium suspension roof: Wind and temperature influence on modal parameters and structural response // Engineering Structures. — 59 (2014). — 80–94
13. Веб сайт разработчика системы ЗАО «ИНКОММЕТ» <http://www.inkommet.ru/drupal/olimp>
14. Гарькин, И. Н., Гарькина И. А. Системные исследования при технической экспертизе строительных конструкций зданий и сооружений // Современные проблемы науки и образования. — 2014. — № 3

Исследование скорости удаления метаболитов из отработанного диализата

Дорофеева Наталия Ивановна, студент

Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники» (г. Зеленоград, Московская обл.)

Искусственное очищение крови — это совокупность лечебных мероприятий по выведению из организмов токсинов и продуктов жизнедеятельности человека путем экстракорпорального воздействия на него управляющей средой.

В отсутствии донорской почки искусственной очищение крови является единственным способ поддержания жизнедеятельности пациента с хронической почечной недостаточностью. Существует несколько видов искусственного очищения крови, при этом чаще всего используются гемодиализ и гемодиализации [1].

Гемодиализ — метод внепочечного очищения крови при острой и хронической почечной недостаточности. Во время гемодиализа происходит удаление из организма токсических продуктов обмена веществ, нормализация нарушений водного и электролитного балансов.

Одной из альтернативных методик искусственного очищения крови является гемодиализ с регенерацией диализата. Успешный опыт клинического использования гемодиализной аппаратуры с регенерацией диализирующего раствора открывает потенциальную возможность изготовления носимой аппаратуры для искусственного очищения организма человека [2].

Регенерация диализата позволяет кардинально повысить физиологичность и автономность аппарата для гемодиализа, существенно уменьшить (со 120–150 л до 3–5 л) объем диализата, взаимодействующий с организмом пациента.

При этом регенерирующее устройство должно обеспечивать удаление из отработанного диализата в процессе гемодиализа длительностью 4–5 ч: 40–50 г мочевины, 4–5 г мочевой кислоты, 4–5 г креатинина, 0,8–1,0 г неорганического фосфора и до 5 г калия при условии сохранения первоначального ионного состава диализата и pH раствора [3].

Существующие методы регенерации диализата условно можно разделить на следующие группы:

- сорбционные;
- электрохимические;
- термические;
- комбинированные.

В данной работе используется сорбционный метод регенерации.

Сорбционные методы регенерации предусматривают удаление уремических метаболитов из диализата с помощью сорбентов (Рис. 1).

В качестве сорбентов можно использовать активированный уголь, уголь кокосовой скорлупы, ионнообменные смолы.

Для реализации сорбционного метода регенерации диализата применяются сорбционные колонки, состоящие преимущественно из различных форм углерода. Чаще всего применяются колонки с активированным углем, поскольку активированный уголь обладает высокой сорбционной ёмкостью по креатинину и мочевой кислоте.

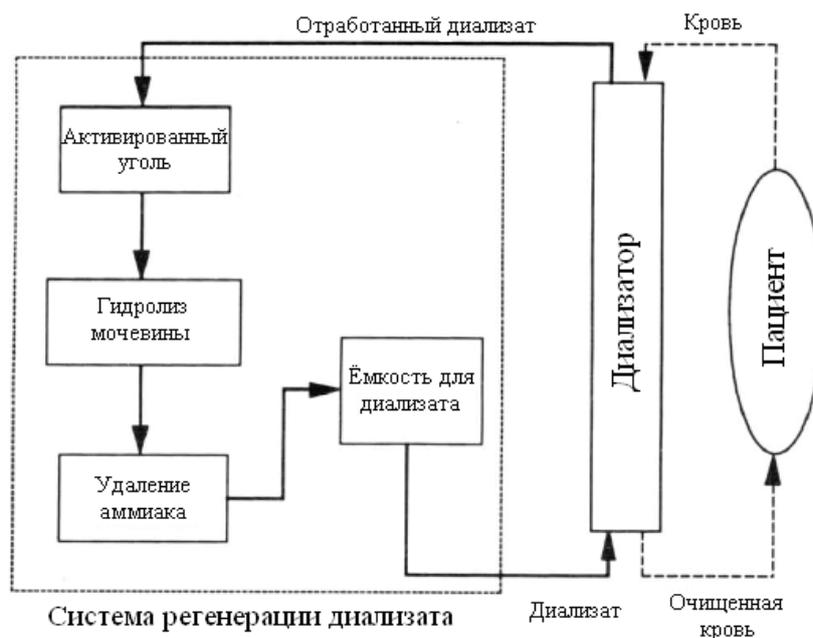


Рис. 1. Схема очистки диализата сорбционным методом

Активированный (или активный) уголь — это адсорбент — вещество с высокоразвитой пористой структурой, которое получают из различных углеродсодержащих материалов органического происхождения, таких как древесный уголь, каменноугольный кокс, нефтяной кокс, скорлупа кокоса, грецкого ореха, косточки абрикоса, маслины и других плодовых культур. Наилучшим по качеству очистки и сроку службы считается активированный уголь (карболен), изготовленный из скорлупы кокоса, а благодаря высокой прочности его можно многократно регенерировать.

Ионообменные смолы — синтетические органические иониты, представляющие собой нерастворимые в воде и органических растворителях высокомолекулярные полиэлектролиты, способные обменивать подвижные ионы при контакте с растворами электролитов (например, Na^+ , K^+).

В зависимости от типа ионогенной группы ионообменные смолы разделяют на катионообменные и анионообменные. Катионообменные смолы, или полимерные катиониты, содержат кислотные группы: сульфогруппы, фосфиновокислые, карбоксильные, мышьяковокислые, селеновокислые и др. Анионообменные смолы, или полимерные аниониты (высокомолекулярные нерастворимые полиоснования), включают группы основного характера, четвертичные аммониевые, третичные сульфониевые, четвертичные фосфониевые основания, третичные, вторичные и первичные амины. Известны также амфотерные ионообменные смолы (амфолиты), содержащие одновременно кислотные и основные группы. К специфичным ионообменным смолам относят комплексообразующие ионообменные смолы, обладающие ярко выраженными селективными свойствами, и окислительно-восстановительные ионообменные смолы.

Эффективность сорбционного метода определяется свойствами сорбентов и их массой. Применение различных композиций сорбентов позволяет селективно удалять из диализата заданные количества основных органических продуктов гемодиализа, а также избыток калия и фосфатов. Несмотря на простоту конструктивного выполнения, сорбционный метод не нашел широкого клинического применения в связи с особенностями ионного обмена при регенерации диализата [4,5].

Для увеличения сорбционной емкости активированного угля по отношению к мочеvine исследователями были предложены различные способы, например, промотирование активированного угля платиной, обработка различными окислителями (озоном гипохлоритом калия, перекисью водорода и т.д.).

Испытания проводятся на стенде, который состоит из:

- емкости для жидкости, объемом 4 л из нержавеющей стали, со встроенным нагревательным тэном;
- лабораторного перильстатического насоса;
- силиконовых трубок 8,0*1,5;
- сорбционной колонки;
- штатива с зажимом;
- блока стабилизации температуры;
- емкости для смешивания раствора.

Сорбенты, подходящие для использования в носимом аппарате «искусственная почка»:

- активированный уголь 607С;
- уголь кокосовой скорлупы WTD 816;

Активированные (активные) угли — это углеродные сорбенты, производимые промышленным способом. Активный уголь имеет пористую структуру и большую внутреннюю поверхность. Благодаря этим свойствам активированный уголь находит применение в качестве сорбента.

Активированный уголь в состоянии задерживать на внутренней поверхности пор молекулы загрязнителей при очистке воды, очистке воздуха, жидкостей и газов.

Объем пор активированных углей по определению превышает 0,2 мл/г; внутренняя поверхность более 400 кв.м/г. Поры могут иметь размер от 0,3 нанометров до нескольких тысяч нанометров.

Активированный уголь может быть изготовлен из любого углеродосодержащего материала. В основном активный уголь производят из кокосовой скорлупы — кокосовый активированный уголь, каменного угля — минеральный активированный уголь или древесины — древесный активированный уголь.

Накопление веществ в порах сорбента называют адсорбцией. Адсорбция происходит при прохождении газа или жидкости через активированный уголь. Десорбция — выделение из сорбента веществ, накопленных в процессе адсорбции.

Активированным углем могут адсорбироваться органические и неполярные вещества, такие как растворители, хлорируемые углеводороды, красители, нефть и нефтепродукты. Лучше адсорбируются высокомолекулярные вещества и вещества с неполярной структурой.

Возможность сорбции активированным углем увеличиваются с уменьшением растворимости вещества в воде, для веществ с неполярной структурой и с увеличением молекулярной массы.

Активированный кокосовый уголь производится из особого сорта кокосовой скорлупы, такой уголь характеризуется большой адсорбционной емкостью и повышенной устойчивостью к истиранию.

Методика подготовки сорбентов

Перед испытанием сорбенты очищаются от примесей. Сорбент заливается водой на несколько часов и после этого фильтруется.

Измерения концентрации метаболитов проводятся с помощью биохимического анализатора StatFax 3300, который предназначен для исследований уровня биохимических

мических субстратов, ферментов, лекарств и иммунологических тестов в сыворотке, плазме или моче человека. Вынимаемая проточная кювета устанавливается в измерительной ячейке для обеспечения ускоренного отбора проб с минимальным остатком.

Поглощение креатинина, мочевой кислоты и мочевины активированным углем

На 4 л дистиллированной воды отмеряем и смешиваем 40 мг креатинина, 95 мг мочевой кислоты, 8 г мочевины. В 0,5 л дистиллированной воды растворяем смесь метаболитов с помощью магнитной мешалки. В качестве сорбционного материала используется активированный уголь. Проводим взятие проб через 5, 10, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 165 минут от начала эксперимента. Проводим измерение концентрации метаболитов на StatFax 3300.

Концентрация мочевины: $C = 33$ ммоль/л. Сорбент мочевины не убирает из раствора.

Поглощение креатинина, мочевой кислоты и мочевины кокосовым активированным углем

Отмеряем и смешиваем 450 мг креатинина, 100 мг мочевой кислоты, 12 г мочевины. В 0,5 л дистиллированной воды растворяем смесь метаболитов с помощью магнитной мешалки. В качестве сорбционного материала используется кокосовый активированный уголь. Проводим взятие проб через 5, 10, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 165, 180 минут от начала эксперимента. Проводим измерение концентрации метаболитов на StatFax 3300.

Мочевина стала вымываться раствором. Ее концентрация упала с 50 до 40 ммоль/л.

Выводы:

Сорбционные колонки хорошо поглощают такие токсины, как креатинин, билирубин и т.д., но плохо поглощают мочевины. Уголь кокосовой скорлупы удаляет метаболиты из раствора наиболее эффективно по сравнению с другими испытываемыми сорбентами.

Литература:

1. Базаев, Н. А., Гринвальд В. М., Селищев С. В. Математическая модель биотехнической системы гемодиализа // Медицинская техника. — 2010. — № 3. — с. 1–7.
2. Эвентов, В. Л., Андрианова М. Ю., Кукаева Е. А. Регенерационные гемодиализные системы // Медицинская техника. — 2001. — № 2. — с. 44–49.
3. Эвентов, В. Л. Методы и средства регенерации диализирующего раствора в аппаратах «искусственная почка». — М., 1998.
4. Gordon, A., Better O. S., Greenbaum M. A. Clinical maintenance hemodialysis with a sorbent-based low-volume dialysate regeneration system. Trans. ASAIO. — 1971. — v.17. — P. 253–258.
5. Gordon, A., Lewin A. J., Marantz L. B. Sorbent regeneration of dialysate // Kidney International. — 1976. — v.10. — P. 277–283.

Исследование трещиностойкости геополимерного бетона

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

Аксенов Сергей Владимирович, соискатель;

Коровкин Марк Олимпиевич, кандидат технических наук, доцент;

Полубаров Евгений Николаевич, магистрант

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Представлены результаты исследования механических свойств и трещиностойкости бетона на основе геополимерного вяжущего на базе измельченного отхода дробления гранитного щебня с добавкой гранулированного шлака. Показано, что увеличение в вяжущем добавки шлака с 20 до 30% существенно повышает прочность, модуль упругости и трещиностойкость геополимерного бетона.

Ключевые слова: геополимер, минерально-щелочное вяжущее, шлакощелочное вяжущее, бетон, щелочная активация, механические свойства, трещиностойкость.

Вяжущие щелочной активации (геополимеры, шлакощелочные, минерально-щелочные) в настоящее время многими учеными считаются современной альтернативой цементу и активно развиваются [1–5]. Опыт использования геополимерных и шлакощелочных материалов показал, что они обладают высокими эксплуатационными характеристиками: прочностью, коррозионной стойкостью, морозостойкостью, огнестойкостью. Прогнозируется высокая долговечность и надежность конструкций из таких материалов [2, 3].

Несмотря на большое число всесторонних исследований различных видов вяжущих щелочной активации многие вопросы их твердения и поведения в процессе эксплуатации остаются до конца не выясненными. К числу этих вопросов относится трещиностойкость таких вяжущих.

По трещиностойкости вяжущих щелочной активации имеется много противоречивых данных. Отмечается, что разрушение носит более пластичный характер и поэтому бетон лучше работает на растяжение [2, 3]. С другой стороны, имеются данные о том, что в ряде случаев геополимерные и шлакощелочные бетоны проявляют низкую трещиностойкость.

До сих пор нет единого мнения, от каких факторов зависит трещиностойкость бетонов на основе активированных щелочью вяжущих, что сдерживает, в конечном счете, и их применение как конструктивных материалов.

Бетоны на основе новой разновидности бесклнкерных геополимерных вяжущих на базе магматических горных пород характеризуются высокими физико-механическими свойствами, не уступающими свойствам бетонов, изготовленных с применением портландцемента [4, 5].

Для исследований были изготовлены 3 состава геополимерного мелкозернистого бетона с расходом доменного шлака — 20, 25 и 30% от веса вяжущего. В качестве вяжущего использовалось вяжущее, полученное на основе измельченных до удельной поверхности 350 м²/кг гранита Павловского месторождения и доменного гранулированного шлака Новолипецкого металлургического ком-

бината. Для активации твердения вяжущего применялось растворимое жидкое стекло, содержание которого варьировалось расходом шлака и во всех составах вяжущего на 2,1 части шлака приходилась 1 часть стекла. В качестве активатора твердения в смесь с водой затворения вводилось натриевое жидкое стекло с $M_c = 1,4$ при содержании силиката натрия 47%. В качестве мелкого заполнителя применялся песок Чаадаевского месторождения, просеянный через сито 0,63 мм (Пензенская область) при соотношении вяжущее: песок равном 1:2.

Исследование трещиностойкости мелкозернистого бетона проводилось по методике стандарта [6], с помощью измерительно-вычислительного комплекса «АСИС-1» производства НПП «ГЕОТЕК» [7] с оснасткой для испытания на изгиб.

Из каждого состава бетона изготавливалось по 6 образцов-призм размером 40×40×160 см (тип 1 [6]). Начальные надрезы в образцах получали при их формовании путем закладывания стальной пластины толщиной 0,5 мм. После изготовления образцы твердели в течение 28 суток в нормальных условиях, затем высушивались и подвергались испытаниям.

По результатам равновесных испытаний определялись следующие характеристики трещиностойкости: коэффициент интенсивности напряжений (K — вязкость разрушения), удельные энергозатраты (G) и J — интеграл [6].

После испытаний на трещиностойкость две половинки образца испытывали на прочность при сжатии ($R_{сж}$), прочность при изгибе ($R_{вг}$) [6]. Значение модуля упругости (E_0) рассчитывали исходя из величины прогиба (f), образуемого при действии на образец нагрузки (F_c) соответствующей, началу движения магистральных трещин по формуле

$$E_0 = \frac{F_c \cdot I_0^3}{48 \cdot I_k \cdot f},$$

где I_k — момент инерции ($I_k = \frac{b \cdot h^3}{12}$, b, h — ширина и высота образца в м).

Диаграммы равновесных испытаний бетона, приведенные на рис. 1, свидетельствуют о том, что с повышением расхода шлака зона образования пластических деформаций бетона сдвигается с 0,039 до 0,066 мм. При разгрузении образцов до 170 Н характер развития пластических деформаций образцов с наибольшим и с наименьшим расходом шлака становится одинаковым, что свидетельствует о преждевременном разрушении менее прочного состава бетона.

Данные рис. 2а показывают, что в составах бетона с ростом расхода шлака одновременно с прочностью при сжатии и изгибе, возрастает модуль упругости бетона, а также повышается трещиностойкость бетона, что видно по увеличению энергии, приходящейся на образование магистральных трещин — G_i , и высвобождение энергии при разрушении бетона G_F . Коэффициент интенсивности — вязкость разрушения бетона на геополимерном вяжущем возрастает с 0,42 до 0,5 МПа×м 0,5 (рис.2.б).

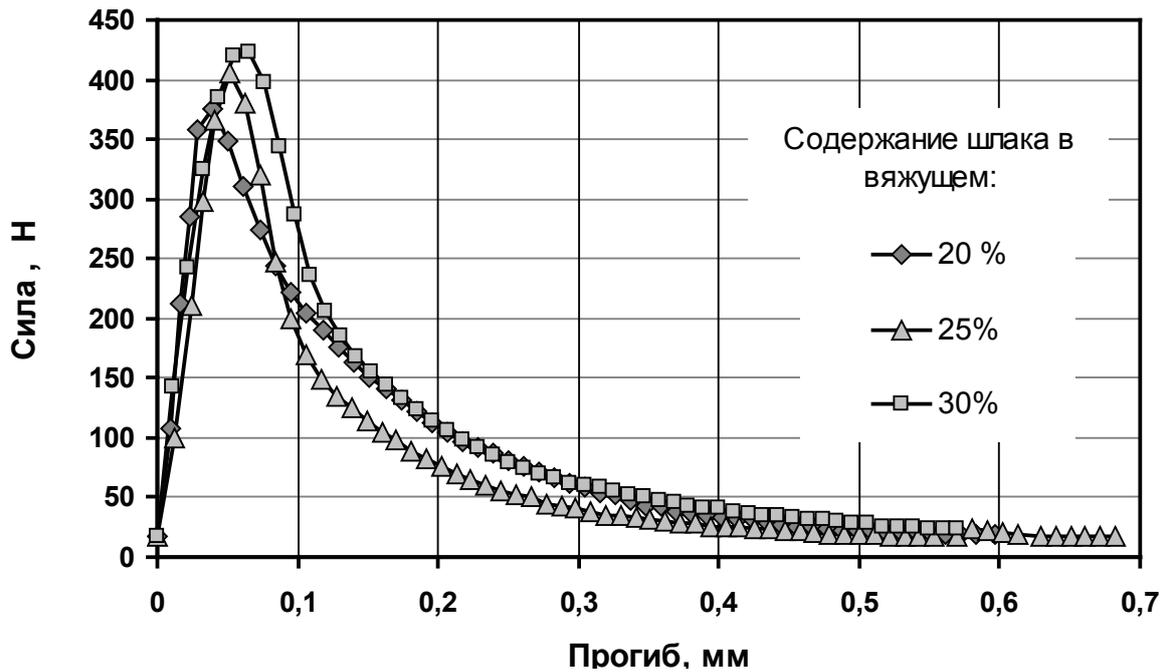


Рис. 1. Диаграмма состояния мелкозернистого бетона с различным содержанием шлака в вяжущем

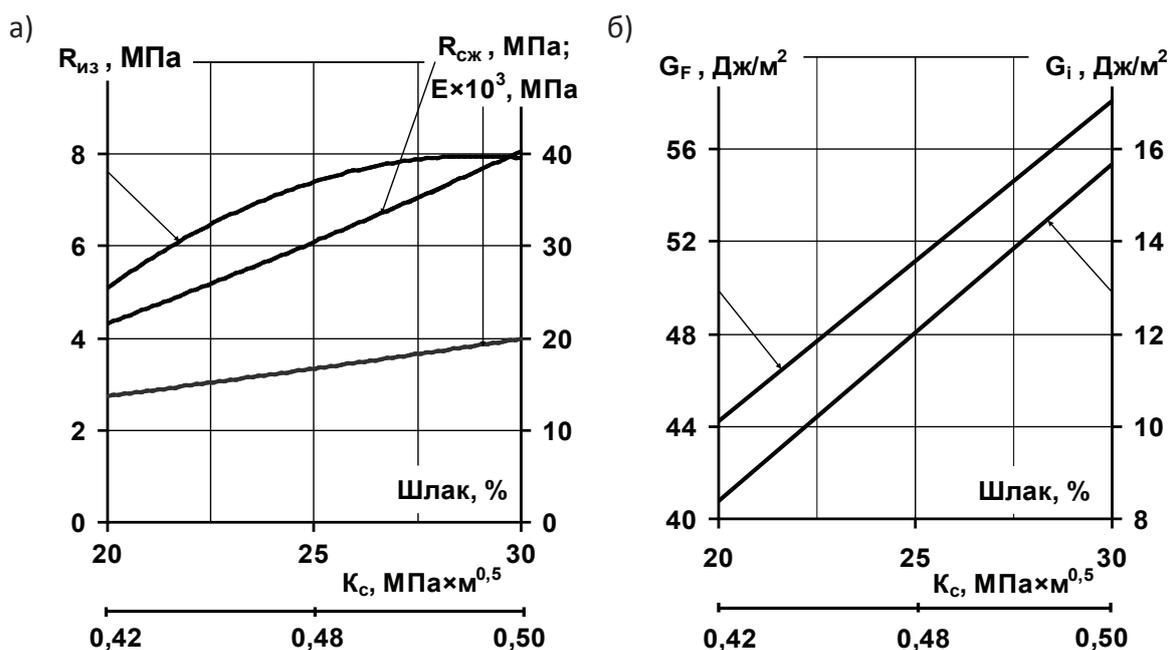


Рис. 2. Прочность при сжатии и изгибе, модуль упругости (а) и параметры трещиностойкости (б) геополимерного бетона в зависимости от расхода шлака

Выводы

Исследованы характеристики трещиностойкости мелкозернистых бетонов, изготовленных с применением новой разновидности вяжущих щелочной активации — геополимерного вяжущего. Установлены параметры

разрушения бетона в соответствии с ГОСТ 29167–91. Выявлены зависимости основных характеристик трещиностойкости бетона от доли шлака в вяжущем.

По деформативно-прочностным характеристикам и трещиностойкости геополимерные бетоны сопоставимы со шлакощелочными и портландцементными бетонами.

Литература:

1. Davidovits, J. Geopolymer chemistry and sustainable Development. The Poly (sialate) terminology: a very useful and simple model for the promotion and understanding of green-chemistry / J. Davidovits // Proceeding of the world congress Geopolymer 2005. France, Saint –Quentin, 2005. — P. 9–15.
2. Глуховский, В.Д. Шлакощелочные цементы и бетоны / В.Д. Глуховский, В.А. Пахомов. — Киев: Будивельник, 1978. — 184с.
3. Sumajouw, D. M. Fly ash-based geopolymer concrete: study of slender reinforced columns [Текст] / D. M. Sumajouw, J. D. Hardjito, S. E. Wallah, B. V. Rangan / Journal of Materials Science. — 2007. — Vol. 42, N. 9. — P. 3124–3130.
4. Ерошкина, Н.А. Ресурсосберегающие технологии геополимерных вяжущих и бетонов на основе отходов добычи и переработки магматических горных пород: монография / Н.А. Ерошкина, М.О. Коровкин. — Пенза: Изд-во ПГУАС, 2013. — 152 с.
5. 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.
6. ГОСТ 29167–91. Бетоны. Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении.
7. Устройство компрессионного сжатия [Электронный ресурс] / режим доступа: <http://www.npp-geotek.ru/catalog/info/compression/>

Деформативные свойства серных композиционных материалов на аппретированном кварцевом наполнителе

Жуков Александр Владимирович, студент;
 Шитова Инна Юрьевна, кандидат технических наук, доцент;
 Самошина Екатерина Николаевна, кандидат технических наук, доцент
 Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

В работе представлены закономерности влияния концентрации аппрета, продолжительности изотермической выдержки и объёмной степени наполнения на деформативные свойства серных композитов на аппретированном кварцевом наполнителе.

Ключевые слова: серные композиты, деформативные свойства.

В работе приведены результаты исследования влияния концентрации аппрета (каучука марки СКДН-Н), продолжительности изотермической выдержки и объёмной степени наполнения на деформативные свойства серных композитов на аппретированном кварцевом наполнителе. Определение влияния указанных факторов на модуль упругости, модуль деформации и прогиб при максимальной нагрузке проводили с применением метода математического планирования эксперимента. Для этого был спланирован и реализован полный трехфакторный эксперимент. В качестве варьируемых факторов были выбраны следующие рецептурно-технологические факторы (табл. 1): X_1 — продолжительность изотермической выдержки, ч; X_2 — концентрация раствора аппрета, %; X_3 — объёмная доля кварцевой муки с $S_{уд} = 180 \text{ м}^2/\text{кг}$.

Значения модуля упругости, модуля деформации и прогиба при максимальной нагрузке для исследуемых составов приведены в табл. 2.

Расчёт коэффициентов уравнений регрессии и их статистический анализ проводился на ЭВМ с помощью программного комплекса «Градиент»:

Таблица 1. Матрица планирования эксперимента в кодовом и натуральном выражениях

№ п/п	Значения факторов в кодовом выражении			Значения факторов в натуральном выражении		
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃
1	-1	-1	-1	1	10	0,3
2	1	-1	-1	3	10	0,3
3	-1	1	-1	1	50	0,3
4	1	1	-1	3	50	0,3
5	-1	-1	1	1	10	0,4
6	1	-1	1	3	10	0,4
7	-1	1	1	1	50	0,4
8	1	1	1	3	50	0,4

Таблица 2. Значения модуля упругости, модуля деформации и прогиба при максимальной нагрузке для исследуемых составов

№ п/п	Модуль упругости, МПа	Модуль деформации, МПа	Прогиб при максимальной нагрузке, мм
1	6492	1688	0,032
2	18870	2796	0,060
3	7640	2069	0,039
4	19789	3500	0,096
5	10320	1601	0,030
6	23156	2179	0,030
7	11203	2634	0,042
8	24333	3710	0,070

— для модуля упругости, МПа

$$E_y = 15225 + 6311,6X_1 + 515,88X_2 + 2027,6X_3 ; \tag{1}$$

— для модуля деформации, МПа

$$E_d = 2522 + 524,1X_1 + 456,2X_2 + 8,801X_3 ; \tag{2}$$

— для прогиба при максимальной нагрузке, мм

$$l_{max} = 0,05 + 1,4 \cdot 10^{-2} X_1 + 1,2 \cdot 10^{-2} X_2 - 6,9 \cdot 10^{-3} X_3 . \tag{3}$$

Анализ уравнения регрессии (1) показывает, что увеличение концентрации аппрета (фактор X₂) и продолжительности изотермической выдержки (фактор X₁), а также объёмной доли (фактор X₃) приводит к повышению модуля упругости. Необходимо отметить, что с увеличением продолжительности изотермической выдержки происходит переход кристаллических модификаций серы в полимерную [1], которая имеет более высокие показатели деформативных свойств (модуль упругости меньше). Отсюда целесообразно предположить, что фактор X₁ будет оказывать отрицательное влияние на исследуемые свойства композитов. Однако этого не наблюдается, что можно объяснить следующим образом. В процессе изготовления серного материала на аппретированном кварцевом наполнителе происходит серная вулканизация аппрета, в результате образуется слой вулканизата, объёмные деформации которого практически обеспечивает свободную усадку оболочки серы [2]. Это, в свою очередь, создаёт предпосылки для формирования кристаллической структуры серы в равновесных условиях, имеющей менее дефектную структуру, а, следовательно, с наименьшим количеством напряжённых элементов в композите.

Наибольший модуль упругости имеют составы, изготовленные на кварцевой муке, обработанной высококонцентрированными растворами аппрета (0,6 и 1 % от массы серы) и подвергшиеся изотермической выдержке в течение 2...3 ч: 19000...24000 МПа.

Из уравнения регрессии (2) видно, что исследуемые факторы оказывают на модуль деформации аналогичное влияние, которое также объясняется в рамках выше приведенной физической модели.

Аппретирование поверхности наполнителя (фактор X₂) и продолжительность изотермической выдержки (фактор X₁) приводит вследствие увеличения количества полимерной составляющей (образования полимерной серы и вулканизата) к повышению величины прогиба при максимальной нагрузке (уравнение (3)). Введение наполнителя (фактор X₃) изменяет при прочих равных температурно-временных условиях содержание полимерной фазы (рис. 1). Для расчёта количества полимерной составляющей принята следующая модель

$$V_{pf} = a_{ps} V_s + S_{уд} V_f h_{ан} \rho_f ,$$

где v_{pf} — объёмная доля полимерной составляющей; a_{ps} — коэффициент, характеризующий образование полимерной серы в принятых температурно-временных условиях; $h_{ан}$ — толщина аппарата (вулканизата); $S_{уд}$ — удельная поверхность наполнителя; ρ_f — средняя плотность наполнителя.

С учетом $v_f + v_s = 1$ количество v_{pf} определится

$$v_{pf} = a_{ps} (1 - v_f) + S_{уд} v_f h_{ан} \rho_f.$$

Из рис. 1 видно, что с увеличением объёмной степени наполнения количество полимерной составляющей уменьшается. Это и обуславливает антогонистическое влияние и весомость фактора X_3 .

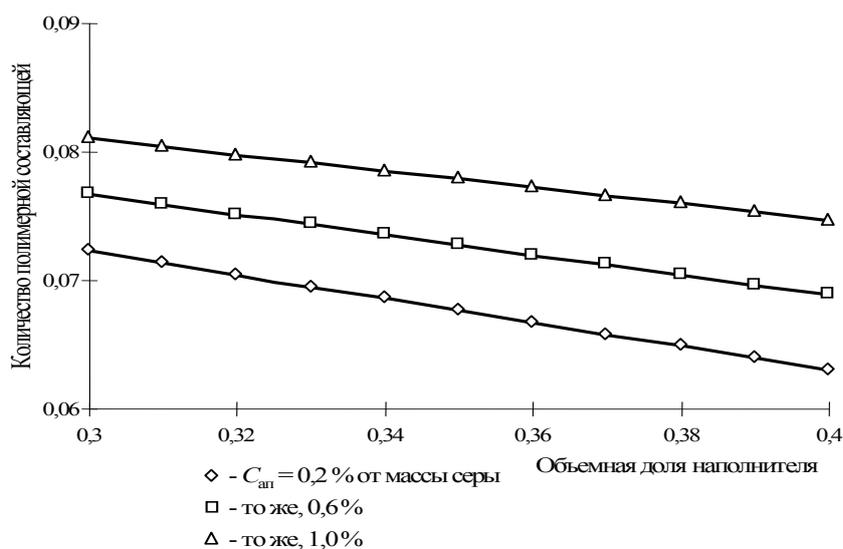


Рис. 1. Зависимость количества полимерной составляющей от степени наполнения материала (при $a_{ps} = 0,1$)

Литература:

1. Патуроев, В.В. Серные бетоны и бетоны, пропитанные серой [Текст] / В.В. Патуроев, А.Н. Волгушев, Ю.И. Орловский // Обзорная информация. — М.: ВНИИИС. — Вып. 1, 1985. — 58 с.
2. Шитова, И.Ю. Внутренние напряжения в наномодифицированных серных композиционных материалах [Текст] / Е.Н. Самошина, К.Н. Махамбетова // Современные проблемы науки и образования. — 2015. — № 1; URL: <http://www.science-education.ru/121-17131>.

Повышение уровня эксплуатационной надежности магистральных газопроводов

Жумаев Каюм Каримович, доцент;

Бафоев Дустмурод Холмуродович, старший преподаватель;

Каландаров Наврузбек Олимбаевич, магистрант;

Халикова Зулхумор Дустмуродовна, бакалавр

Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

Одной из важнейших проблем развития газовой промышленности является повышение уровня эксплуатационной надежности магистральных газопроводов с целью поставки запланированных объемов газа отечественным и зарубежным потребителям. Главная задача в транспорте газа — обеспечение надежного функционирования си-

стемы магистральных газопроводов за счет комплекса плановых мероприятий, в том числе капитального ремонта.

Существующие технологические подходы производства ремонтных работ, связанные с переукладкой участков газопроводов, являются недостаточно эффективными. Как правило, они не обеспечивают выполнение

капитального ремонта в установленные сроки, поэтому требуется совершенствование структуры производства ремонтно-строительных работ, предусматривающей создание в газотранспортных предприятиях на базе аварийно-восстановительных поездов ремонтно-восстановительных подразделений; ремонтных участков в составе линейно-эксплуатационных служб; специализированных участков по ремонту подводных переходов.

Стратегия технического обслуживания и восстановления эксплуатационных параметров магистральных газопроводов имеет в настоящее время огромное значение. Это связано с тем, что в условиях реализации рыночных отношений возникает острая необходимость в ориентированной стратегии ремонта магистральных газопроводов в части установления приоритетности вывода тех или иных участков магистральных газопроводов в капитальный ремонт и ремонта действующих магистральных газопроводов без прекращения перекачки продукта.

Известные технологии ремонта линейной части магистральных газопроводов, в том числе связанные с их масштабной переизоляцией, имеют достаточно ограниченную область применения. В основном, традиционно применяемые технологические решения рассматриваются на участках трассы, где местность имеет спокойный рельеф или на ней отсутствует заболоченность и обводненность. В сложных инженерно-геологических условиях в отсутствии применительно к ним эффективных технологий капитального ремонта приходится прокладывать новые нитки газопроводов взамен устаревших, что связано со значительными затратами. Чтобы существенно сократить эти издержки, должны быть найдены такие научно-технические и инженерные решения, которые призваны обеспечить создание принципиально новых технологий ремонта газопроводов в различных природно-климатических условиях. При этом следует обратить особое внимание на наиболее перспективные методы ремонта магистральных газопроводов — переизоляцию и выборочный ремонт с учетом специфики прохождения трассы (болота, горы, овраги). Кроме этого, необходимо подробно проанализировать процессы подготовки и принятия решений для реализации ремонтных работ: вскрытие газопровода и разработка околотрубной траншеи, подъемно-очистные работы, ремонт трубы, подготовка поверхности газопровода, нанесение нового антикоррозионного покрытия, подбивка и засыпка грунта, контроль качества.

Технологии и оборудование для ремонта труб в заводских условиях обеспечивают решение следующих обязательных и последовательно выполняемых задач:

- подготовку труб к ремонту, включающую очистку наружной и внутренней поверхностей, проверку отклонений размеров и геометрических параметров;
- диагностирование стенки и сварных швов, ремонт стенки и доработку торцов, испытания труб, определение ресурса;
- подготовку поверхности труб и нанесение нового покрытия.

Главным стратегическим направлением ремонта магистральных газопроводов остается обеспечение эксплуатационной надежности системы газоснабжения с гарантированной поставкой потребителю расчетных объемов газа. Практика эксплуатации и ремонта магистральных газопроводов показывает, что в современных условиях следует исходить из следующих основных и взаимосвязанных между собой направлений формирования и развития концепции ремонта магистральных газопроводов: технической диагностики; приоритетности вывода участков магистральных газопроводов в капитальный ремонт; капитального ремонта газопроводов; ремонта газопроводов без прекращения подачи газа; организационной структуры производства ремонтно-строительных работ; контроля качества производства работ в процессе ремонта.

Формирование концепции ремонта газопроводов невозможно без развития и внедрения внутритрубной диагностики магистралей, объемы работ которой неуклонно возрастают. Проведена внутритрубная дефектоскопия достаточно большого количества участков магистральных газопроводов. Всего по результатам пропуска внутритрубных снарядов-дефектоскопов выявлено и устранено значительное количество дефектов труб различного вида (вмятины, задиры, коррозионные повреждения и др.), приравненных к наиболее опасным. Тем самым предотвращены многие потенциальные аварии газопроводов.

Основные принципы ранжирования участков магистральных газопроводов, подлежащих выводу в капитальный ремонт, должны исходить из закономерностей возникновения предаварийных ситуаций на газопроводах, анализа статистики отказов, результатов технической диагностики, основанной на внутритрубной дефектоскопии, данных коррозионного мониторинга и результатов комплексного технического обследования металла и изоляции труб с инструментальной оценкой фактического технического состояния газопроводов в шурфах.

Дефекты труб бывают наружные и внутренние. Первые выявляются и оцениваются органолептическими (осмотром, прослушиванием, ощупыванием) и инструментальными способами, вторые — только инструментальными.

Органолептические способы оценки состояния труб требуют соответствующих навыков, которые приобретаются годами. Но даже при наличии таких навыков органолептическая оценка остается субъективной и может служить лишь как ориентировочная. В современной ремонтной технологии после органолептической оценки, как правило, применяют инструментальную.

Для выявления раковин, трещин и других подобных невидимых дефектов можно применять специальные приборы — магнитные и люминесцентные дефектоскопы.

Магнитные дефектоскопы работают на следующем принципе. В однородном ферромагнитном металле магнитный поток распространяется без изменения направления. При нарушении однородности металла такими, например, дефектами, как трещины и раковины, сопротивление дефектных участков возрастает и магнитный поток отклоняется.

Появившееся магнитное поле рассеяния над дефектом обнаруживается индикаторами. В качестве весьма распространенного индикатора используется порошок из мельчайших ферромагнитных частиц, которые намагничиваясь, притягиваются и оседают в местах выхода полей рассеяния, то есть в районе дефекта. Такой способ магнитной дефектоскопии называется порошковым.

Для выявления поверхностных трещин можно применить также способ люминесцентных проб, основанный

на явлении люминесценции, то есть на способности некоторых веществ поглощать лучистую энергию и отдавать ее в виде светового излучения. Люминесценция наблюдается в виде флуоресценции или фосфоресценции. Носителями свечения являются вещества, называемые люминофорами и фосфорами.

Люминесцентную дефектоскопию в отличие от магнитной можно применять для выявления поверхностных дефектов в деталях из цветных металлов, пластмасс, аустенитной стали и других немагнитных материалов.

Литература:

1. Салюков, В.В., Селиверстов В.Г., Алексахин С.П. и др. Технологии и технические средства реабилитации трубопроводов. — М.: ИРЦ Газпром, 2004. — 120 с.
2. Салюков, В.В. Технологические и управленческие решения капитального ремонта магистральных газопроводов. — М.: Стройиздат, 2007. — 408 с.

Параметрическая идентификация линеаризованных уравнений продольного движения

Карев Максим Николаевич, студент;
Данилов Александр Максимович, доктор технических наук, профессор
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Приводится алгоритм параметрической идентификации линейных эргатических систем по экспериментальным данным.

Ключевые слова: эргатические системы, модели, линеаризация, параметрическая идентификация, подготовка операторов.

Известно, в эргатических системах функционирование объекта и оператора настолько тесно связано, что раздельное определение их параметров практически невозможно. С известной долей неопределенности можно свести эргатическую систему к некоторой разомкнутой и определить лишь некоторую обобщенную передаточную функцию. Для этого можно использовать синхронные измерения входных и выходных переменных, полученных в процессе нормальной эксплуатации. Так что параметрическая идентификация возможна лишь с использованием итеративных методов. Такой подход использован для идентификации линеаризованных уравнений продольного движения [1...3]:

$$\dot{\mathbf{x}} = \alpha \mathbf{x} + \beta \mathbf{u}, \tag{1}$$

$\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$, $\mathbf{u} = (u_1, u_2, \dots, u_m)^T$ — соответственно n -мерный вектор состояния и m -мерный вектор управления, α, β — матрицы коэффициентов.

В конечных разностях получим

$$\frac{\mathbf{x}^{k+1} - \mathbf{x}^k}{\Delta t} \approx \alpha \mathbf{x}^k + \beta \mathbf{u}^k$$

или

$$\mathbf{x}^{k+1} = \mathbf{x}^k + (\alpha \Delta t) \mathbf{x}^k + (\beta \Delta t) \mathbf{u}^k$$

или

$$\mathbf{x}^{k+1} = (\mathbf{E} + \alpha \Delta t) \mathbf{x}^k + (\beta \Delta t) \mathbf{u}^k$$

или

$$\mathbf{x}^{k+1} = \mathbf{A} \mathbf{x}^k + \mathbf{B} \mathbf{u}^k,$$

$$\begin{aligned}
 \mathbf{A} = \mathbf{E} + \boldsymbol{\alpha}\Delta t &= \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 + \alpha_{11}\Delta t & \dots & \alpha_{1n}\Delta t \\ \dots & \dots & \dots \\ \alpha_{n1}\Delta t & \dots & 1 + \alpha_{nn}\Delta t \end{bmatrix}, \\
 \mathbf{B} = \boldsymbol{\beta}\Delta t &= \begin{bmatrix} b_{11} & \dots & b_{1m} \\ \dots & \dots & \dots \\ b_{n1} & \dots & b_{nm} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \beta_{11}\Delta t & \dots & \beta_{1m}\Delta t \\ \dots & \dots & \dots \\ \beta_{n1}\Delta t & \dots & \beta_{nm}\Delta t \end{bmatrix},
 \end{aligned} \tag{1'}$$

$$\mathbf{x}^k = \mathbf{x}(t_k) = \mathbf{x}(k\Delta t), \quad \mathbf{u}^k = \mathbf{u}(t_k) = \mathbf{u}(k\Delta t).$$

Откуда

$$\begin{aligned}
 x_1^{k+1} &= a_{11}x_1^k + \dots + a_{1n}x_n^k + b_{11}u_1^k + \dots + b_{1m}u_m^k, \\
 x_2^{k+1} &= a_{21}x_1^k + \dots + a_{2n}x_n^k + b_{21}u_1^k + \dots + b_{2m}u_m^k, \\
 &\dots \\
 x_n^{k+1} &= a_{n1}x_1^k + \dots + a_{nn}x_n^k + b_{n1}u_1^k + \dots + b_{nm}u_m^k.
 \end{aligned} \tag{2}$$

Введем $(n + m)$ -мерный вектор

$$\mathbf{w}^k = (x_1^k, x_2^k, \dots, x_n^k, u_1^k, u_2^k, \dots, u_m^k)^T \tag{3}$$

и $(n \times (n + m))$ - матрицу

$$\boldsymbol{\Phi} = \begin{bmatrix} a_{11} \dots a_{1n} & b_{11} & \dots & b_{1m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} \dots a_{nn} & b_{n1} & \dots & b_{nm} \end{bmatrix}. \tag{4}$$

Из (2)-(4) следует

$$\mathbf{x}^{k+1} = \boldsymbol{\Phi}\mathbf{w}^k. \tag{5}$$

Векторно-матричное уравнение (5) описывает систему с $(n + m)$ входами $x_1^k, x_2^k, \dots, x_n^k, u_1^k, u_2^k, \dots, u_m^k$ и n выходами $x_1^{k+1}, x_2^{k+1}, \dots, x_n^{k+1}$ (рис.1). Здесь $x_1^{k+1}, x_2^{k+1}, \dots, x_n^{k+1}$ определяются изолированно. Поэтому x_i^{k+1} , определяемое по i -му уравнению системы (2), является единственной выходной координатой системы с $(n + m)$ входами $x_1^k, x_2^k, \dots, x_n^k, u_1^k, u_2^k, \dots, u_m^k$ (рис.2).

Для параметрической идентификации уравнения

$$x_i^{k+1} = a_{i1}x_1^k + \dots + a_{in}x_n^k + b_{i1}u_1^k + \dots + b_{im}u_m^k, \quad i = \overline{1, n}$$

необходимы $r \geq n + m + 1$ совокупностей синхронных измерений x_i^{k+1} и $x_1^k, x_2^k, \dots, x_n^k, u_1^k, u_2^k, \dots, u_m^k$:

$$\begin{aligned}
 x_{i(1)}^{k+1} &= x_i^1, \quad x_{1(1)}^k = x_1^0, \dots, x_{n(1)}^k = x_n^0, \quad u_{1(1)}^k = u_1^0, \dots, u_{m(1)}^k = u_m^0, \\
 &\dots \\
 x_{i(r)}^{k+1} &= x_i^r, \quad x_{1(r)}^k = x_1^{r-1}, \dots, x_{n(r)}^k = x_n^{r-1}, \quad u_{1(r)}^k = u_1^{r-1}, \dots, u_{m(r)}^k = u_m^{r-1}
 \end{aligned} \tag{6}$$

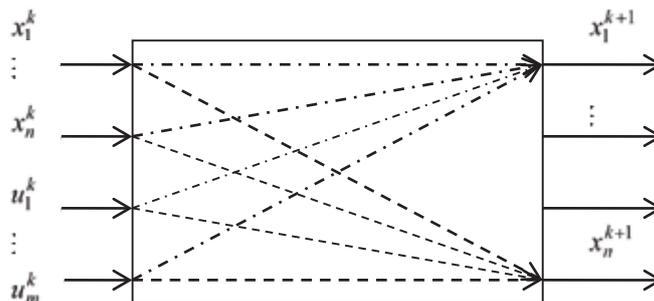


Рис. 1

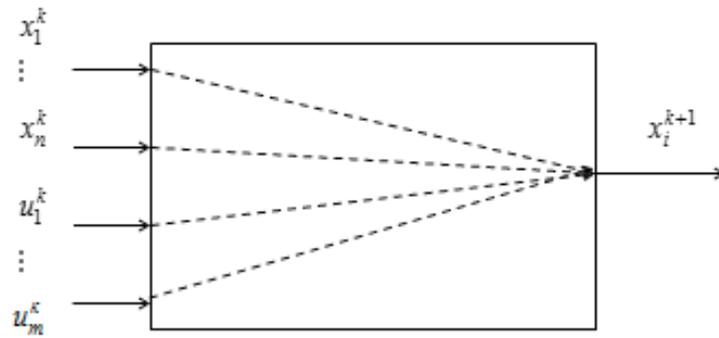


Рис. 2

Из предыдущего следует, что приведенные в (6) измерения для каждого i -го выхода x_i^{k+1} удовлетворяют соотношениям:

$$\begin{aligned}
 x_{i(1)}^{k+1} &= \mathbf{u}_{(1)}^T \mathbf{a}_i \\
 x_{i(\mu)}^{k+1} &= \mathbf{u}_{(\mu)}^T \mathbf{a}_i \\
 &\dots \\
 x_{i(r)}^{k+1} &= \mathbf{u}_{(r)}^T \mathbf{a}_i,
 \end{aligned} \tag{7}$$

где

$$\begin{aligned}
 \mathbf{u}_{(\mu)} &= [x_1^{\mu-1}, \dots, x_n^{\mu-1}, u_1^{\mu-1}, \dots, u_m^{\mu-1}]^T = \mathbf{w}_{(\mu-1)}; \\
 \mathbf{a}_i &= [a_{i1}, \dots, a_{in}, b_{i1}, \dots, b_{im}]^T.
 \end{aligned} \tag{8}$$

Из (7) следует

$$\chi_i = \mathbf{U} \mathbf{a}_i, \quad \chi_i = [x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^r]^T,$$

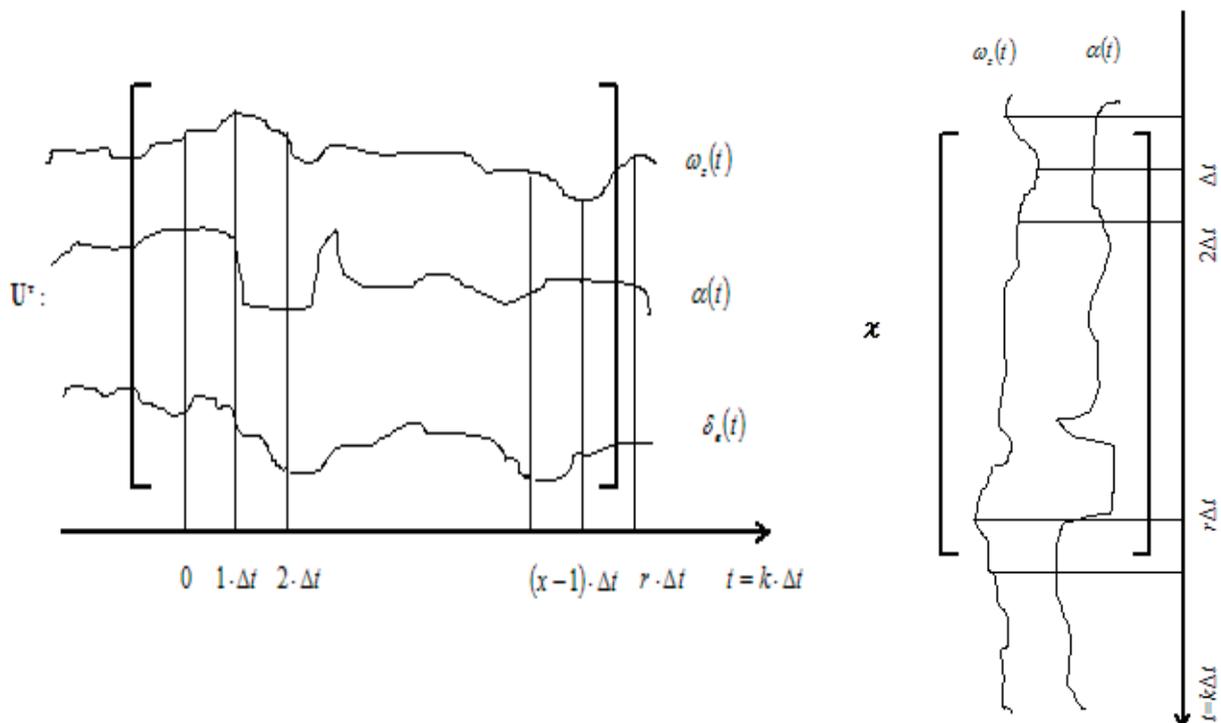


Рис. 3. Схема определения матриц \mathbf{U}^T, χ по синхронным измерениям фазовых координат

$$U = \begin{bmatrix} x_1^0 & \dots & x_n^0 & u_1^0 & \dots & u_m^0 \\ \dots & & & & & \\ x_1^{\mu-1} & \dots & x_n^{\mu-1} & u_1^{\mu-1} & \dots & u_m^{\mu-1} \\ \dots & & & & & \\ x_1^{r-1} & \dots & x_n^{r-1} & u_1^{r-1} & \dots & u_m^{r-1} \end{bmatrix}.$$

Из (2), (7), (8) получим матричное уравнение

$$a_i = (U^T U)^{-1} U^T \chi_i.$$

Таким образом, оценки элементов матриц α, β определяются по соотношениям (1') и

$$[a_{i1}, \dots, a_{im}, b_{i1}, \dots, b_{im}]^T = (U^T U)^{-1} U^T \chi_i.$$

Пример составления матриц U^T, χ для продольного движения приводится рис.3 (используются стандартные обозначения для углов тангажа $\omega_z(t)$, атаки $\alpha(t)$ и отклонения руля $\delta_g(t)$).

Литература:

1. Авиационные тренажеры модульной архитектуры: монография; под редакцией Лапшина Э. В., д.т.н., проф. Данилова А. М. — Пенза, ИИЦ ПГУ. — 2005. — 146 с.
2. 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>.
3. Будылина, Е. А., Гарькина И. А., Данилов А. М. Приближенные методы декомпозиции при настройке имитаторов динамических систем / Региональная архитектура и строительство. — 2013. — № 3. — с. 150–156.

Automation of intensive garden seedlings' drip irrigation

Каримов Голиб Хожикурбанович, научный сотрудник;
 Фазлиев Жамалиддин Шарафиддинович, магистрант
 Бухарский филиал Ташкентского института ирригации и мелиорации (Узбекистан)

As it is known the volume of water reserves is 1 billion 350 million cubic kilometer. 97 percent of water is contained in the oceans. These reserves are considered as a salty water which is unfit for consumption. As it is seen above, only 3 percent of fresh water reserves are drinkable. 2 percent of these water resources are in the northern and southern polar, high mountain glaciers and atmosphere humidity. The main source of drinking water is lakes and rivers which are equal to one percent of the world's water reserves. Economizing water is one of the most important problems in our country's agriculture. At the same time it brings to the soil fertility's fall, excessive usage of water, salinity and obstruction of the soil. Irrigated lands are efficient to the wind and water erosion and it effects on its fertility. Rise of the groundwater's level, melioration system's becoming obsolete brings to the salinity and water logging of the land.

Nowadays in our Republic serious attention is paid to the reforms of water management, to the strengthening of the financial-technical base. Advanced methods of irrigation including wide range of works on the implement of drip

irrigation technology. The drip irrigation method is effective because it gives opportunity of having stable yield even in condition of limited water resources. In our country, especially in Karakalpakistan Republic, Bukhara, Sirdarya, Khorezm regions water deficiency is in considerable level. and this process is increasing.

This problem can be solved with introducing economical irrigation technologies in these 4 regions. In 2013, totally 3420,9 hectares of lands are implemented with water saving technologies and they are only 0,008 percent of all irrigated lands. Four regions where water is deficient are implemented with water saving technologies in 125 hectares of the land and it is only 0,036 percent of all lands. This state shows that the program of using water saving technologies is not developing in these regions where the water is deficient.

Advances of using drip irrigation system are several, it gives possibility of keeping moisture and water around the plant roots in measure. In addition, it improves ameliorative condition of the land and the rise of ground waters can be avoided, salinity and water logging is not allowed. At the

same time demand for the seed, fuel and lubricant, mineral fertilizers is greatly reduced and productivity increases. In many countries use of drip irrigation system in intensive gardens gives positive results. In Uzbekistan experiments in this sphere are effective. It is very important to automate drip irrigation system for simplifying the usage of it.

To avoid extra waste of water, to use water in measure in exact time is main solution of this problem in Uzbekistan. Solution of this problem helps to improve the fertility of the soil, to reduce expenses, at the same time to save water, to have qualified and rich harvest. Scientific-research works are being held on installation of drip irrigation system, creation of the system’s automation and on examining it in several sectors of agriculture. Such researches are being carried out as using drip irrigation automation system to create intensive gardens in the deserts and grassland regions or in the regions with the lack of water.

Advantages of drip irrigation of intensive garden seedlings is easier than simple irrigation. During the day in exact time till enough water is not collected in the root of the tree irrigation will not be stopped and it fully satisfies the tree’s demand for the water. In the summer in hot days it keeps seedlings from dehydration.

Construction of automated system of intensive garden seedling’s drip irrigation is shown in several steps. They are:

- to develop a system in binding thin one-pipe with the main source of water or main pipe;

- to construct water sprinklers around each tree in symmetrical form and to take into account the diameter of each tree;

- to construct a number of filters to supply clean water from channels and pools to water sprinklers. First large hole net filters, then small hole net filters are installed to clean the water. So water is cleaned step by step from various wastes and different types of emissions.

- it allows to economize 40–45 percent of water.

- it helps to reduce demand for the seeds, fuel and lubricants, mineral fertilizers, to improve ameliorative condition of the land and to save water.

Productivity of sprinklers is determined in liter/hour, it means how much water is sprinkled from the water sprinklers during an hour. Experiments show that sprinklers use 1–4 liters of water during an hour. Making water sprinklers requires thoroughness. The works in this sphere are being done. This construction gives opportunity of drip irrigating garden seedlings from 80–120 meters distance.

In the following scheme automated system of drip irrigation in intensive gardens is given: (1-picture)

a) The scheme of automated drip irrigation

b) Works done in intensive gardens on drip irrigation sphere

1-picture. Scheme of automated system of drip irrigation and its notes are given.

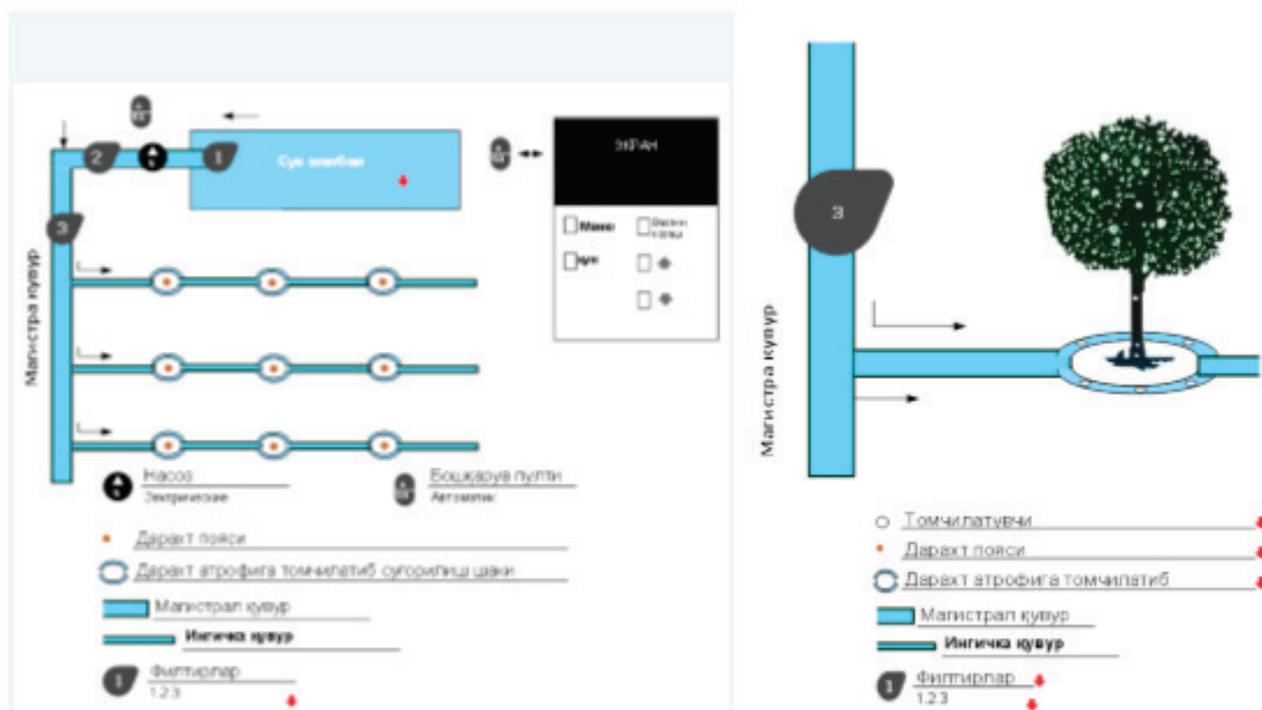


Fig. 1

As a result of scientific — researches drip irrigation system saves 40–45 percent of water than simple irrigation. Automated pump supplies 0,3–0,7 atmosphere pressure to

drip irrigation system and it sprinkles water in equal pressure to 100–200 meters distance. The works on developing scientific-researches are being continued.

References:

1. <http://www.biznes-daily.uz/> Инновацион иктисодиётни шакллантириш шароитида минтакаларда сувни тежовчи технологиялардан фойдаланиш таҳлили.
2. В. Ф. Чебаевского, Насосы и насосные станции 1989

Растительное сырьё в технологии творожных продуктов

Ключникова Дина Васильевна, кандидат технических наук, доцент;
Исмаилова Асият Ибрагимовна, студент
Воронежский государственный университет инженерных технологий

В статье рассмотрено использование растительного сырья в технологии творожных продуктов.

Ключевые слова: *творожный продукт, функциональное питание, растительное сырьё, белковый концентрат, тыква, кунжут.*

Разработка и внедрение в производство продуктов функционального назначения являются основными целями государственной политики в области здорового питания населения [3].

При неполноценном питании нарушаются обмен веществ, функциональная способность пищеварительной, сердечно-сосудистой, нервной и других систем. Демографические проблемы, стрессовые нагрузки, увеличение лиц с различными заболеваниями, ухудшение здоровья детей вызвали необходимость создания функциональных продуктов питания. Разработка рецептур новых функциональных продуктов из традиционных видов сырья является основной задачей стоящей перед пищевой промышленностью.

Творог и творожные изделия являются наиболее подходящей основой для пополнения животной белковой основы рациона питания, дополненного функциональными свойствами. Творог содержит наибольшее количество легкоусвояемых белков из всех молочных продуктов. Они распадаются на разные аминокислоты, такие как холин, триптофан, метионин, которые активно потребляются организмом [1].

Из-за легкой усвояемости творог рекомендуют и маленьким детям, и пожилым людям с различными нарушениями пищеварения. Кроме высокого содержания аминокислот и кальция, творог включает в себе витамины группы В, витамины А, Е, Р, он богат солями натрия, железа, меди, магния и др. [5].

Творог необходим организму для нормального функционирования всех внутренних органов, в особенности костной ткани. Он положительно влияет на работу сердца и сосудов, образование красных кровяных телец и нервное здоровье.

Известны творожные продукты, в которые вносят растительные добавки в виде размола зерна, крупы, муки, пищевых волокон. Эти добавки являются источником клетчатки и способствуют улучшению работы желудоч-

но-кишечного тракта. Введение фруктовых, ягодных, овощных наполнителей обогащает творожные продукты углеводами, витаминами, макро- и микроэлементами, пектиновыми веществами. В творожные продукты вводят также фитодобавки, имеющие лечебно-профилактическое значение [10].

Рынок творожных продуктов аналитиками оценивается, как динамично растущий, с изменяющейся культурой потребления. В настоящее время потребители отдают предпочтение продуктам высокого качества без красителей и консервантов, обогащенным функциональными натуральными ингредиентами.

В настоящее время функциональные продукты создают, как правило, на основе традиционных технологий, применяя модификации, обеспечивающие повышение содержания полезных ингредиентов до уровня, сопоставимого с физиологическими нормами их потребления (10–50% от средней суточной потребности), при этом основываются на следующих основных принципах:

- принадлежностью к традиционному рациону питания (продукты массового потребления, регулярного спроса, доступные всем группам детского и взрослого населения);
- возможностью гармоничного введения в пищевую основу функционального ингредиента с целью формирования физиологически функциональных свойств и возможности эквивалентной замены традиционной пищевой добавки неаллиментарной природы;
- сохранением свойств и эффектов введённого ингредиента в составе продукта в течение всего срока его хранения;
- позиционированием разработанного продукта в структуре сбалансированного питания [9].

В настоящее время ведутся работы по созданию белковых добавок для увеличения выхода творожных продуктов. В результате разработаны новые комплексные добавки, обеспечивающие необходимое развитие тех-

нологических свойств молочной смеси и эффективное повышение выхода продукта. Разработана технология обезжиренного творога кислотно-сычужным методом с применением белкового концентрата «Милмикс экстра». В технологическую схему входят традиционные операции: подготовка сырья, пастеризация, охлаждение до температуры заквашивания, заквашивание и сквашивание смеси, отделение сыворотки, прессование, охлаждение, фасование.

Особенностью технологии является то, что сгусток перед фасовкой не разрезают и не подогревают. Это связано с тем, что сгусток обладает очень хорошими синергическими свойствами.

Полученный творог обладает чистым кисломолочным вкусом без посторонних привкусов и запахом, мягкой мажущей однородной консистенцией, с белым однородным по всей массе продукта цветом. Также следует отметить хорошее отделение сыворотки при прессовании. Выход творога, при добавлении белкового концентрата «Милмикс экстра» увеличивается на 4–6%.

Продукт обладает повышенными пищевыми и биологическими свойствами, в первую очередь из-за увеличения белковой составляющей. Также выработанный творог обладает диетическими свойствами, не уступает по органолептическим показателям продукту, выработанному по традиционной технологии.

Применение стабилизационной системы «Милмикс экстра» обеспечивает устойчивость продукта (способность переносить режимы тепловой обработки, транспортирования и хранения); необходимую консистенцию; позволяет решить проблему с низким качеством молока-сырья; стабилизирует качество готового продукта; снижает себестоимость продукта без потери качества [3,4,8].

Нами предложена технология творожного продукта с тыквой [2,7,11]. Тыква — это своего рода природный витаминно-минеральный комплекс. Чемпионом среди витаминов, содержащихся в тыкве, является бета-каротин, тыква богата витаминами С, Е, В1, В2, РР. В ней много калия, кальция, железа, магния, меди, цинка, кобальта, кремния, фтора.

Кроме того, тыква малокалорийна и богата клетчаткой. По количеству каротина тыква близка к моркови. Тыквенные семечки тоже полезны, они содержат жиры, белки, витамины и минеральные соли. Особенно богаты витамином Е, помогающим от преждевременной старости и солями цинка, которые необходимы для нормального развития мужского организма.

При всем этом тыква — овощ диетический. Из-за низкого содержания в ее мякоти грубой клетчатки и органических кислот тыкву можно употреблять в пищу даже при

воспалительных заболеваниях желудка и кишечника. Она также полезна при железодефицитной анемии, так как содержит комплекс минеральных веществ, участвующих в кроветворении (железо, медь, кобальт, цинк).

Предложена технология творожного продукта с наполнителем — кунжутом. Кунжут, или Сесам (лат. *Sesamum*) — род травянистых растений семейства Педалиевые (*Pedaliaceae*) [6].

В технологии творожного продукта используются семена кунжута. В кунжуте содержится большое количество масла, состоящего из кислот органического происхождения, насыщенных и полиненасыщенных жирных кислот, триглицеридов и глицериновых эфиров.

Также в кунжуте содержится вещество, которое называют сезамин. Это мощный антиоксидант. Он полезен для профилактики многих заболеваний, в том числе раковых и снижает уровень холестерина в крови, чем приносит огромную пользу организму человека. Функцию снижения холестерина выполняет содержащийся в семенах кунжута бета — ситостерин.

В полезный состав семян кунжута входят углеводы, аминокислоты, белки и витамины А, В, Е, С. Также они богаты кальцием, фосфором, железом, калием, магнием и прочими минеральными соединениями. В его состав входит вещество фитин — способствующее восстановлению минерального баланса организма; пищевые волокна и лецитин.

Кунжут улучшает состояние ногтей, волос человека; положительно влияет на состав человеческой крови и стимулирует рост человека благодаря содержащемуся в нем веществу рибофлавин.

Вещество тиамин нормализует обмен веществ и улучшает работу нервной системы. А входящий в состав кунжута витамин РР необычайно полезен для работы пищеварительной системы.

Кунжут имеет большие запасы кальция, что делает его незаменимым для костей и суставов, также он является профилактикой остеопороза. Благодаря кунжуту тело становится крепче и идет активное наращивание мышечной массы.

Благодаря наличию в кунжуте фитостерина, снижается риск заболевания атеросклерозом, из-за того, что кунжут выводит холестерин из крови. Это же его полезное свойство помогает бороться с проблемами ожирения.

Для женщин в возрасте 45 лет и старше, кунжут особенно полезен. В нем содержится фитоэстроген, который считается заменителем женских половых гормонов.

Творожные продукты являются функциональными продуктами, предназначенными для всех групп потребителей молочных продуктов, поэтому разработка данных продуктов является перспективным и востребованным.

Литература:

1. Батищева, Л. В., Ключникова Д. В., Курчаева Е. Е. Особенности производственного контроля в технологии молочных продуктов с растительными добавками / Актуальные вопросы технологий производства, перера-

- ботки, хранения сельскохозяйственной продукции и товароведения: материалы научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава факультета технологии и товароведения. Вып. II. — Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2013. — 244 с.
2. Ключникова, Д. В., Лесняк Е. А. Использование тыквы в технологии низкокалорийного творожного десерта. Международная научно-техническая конференция (заочная) «Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство» [Электронный ресурс]: сборник материалов, 3–4 декабря 2013 г. / Воронеж. гос. ун-т инженерных технологий, ВГУИТ, 2013. — с.455.
 3. Ключникова, Д. В., Кузьмина Е. Л. Способ получения обогащенного творога. Производство и переработка с/х продукции: менеджмент качества и безопасности. Материалы II международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию ВГАУ и 20-летию образования факультета технологии и товароведения 24–26 апреля 2013г, Воронеж 2013, с.75–76
 4. Ключникова, Д. В. Способ получения обогащенного творога. /Д. В. Ключникова, Е. Л. Кузьмина // Производство и переработка с/х продукции: менеджмент качества и безопасности. Материалы II международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию ВГАУ и 20-летию образования факультета технологии и товароведения 24–26 апреля 2013г, Воронеж 2013, с.75–76
 5. Ключникова, Д. В. Роль микробиологических показателей в оценке качества творожных изделий / Материалы LII отчетной научной конференции за 2013 год. Воронеж, ВГУИТ, — 2014. с. 59.
 6. Ключникова, Д. В., Исмаилова А. И. Использование нетрадиционного сырья в технологии творожных продуктов // Системный анализ и моделирование процессов управления качеством в инновационном развитии агропромышленного комплекса [Текст]: матер. Междунар. науч. — практ. конф. /Воронеж.гос. ун-т инж. технол. — Воронеж.: ВГУИТ, 2015. — с.427–430.
 7. Ключникова, Д. В. Функциональный творожный продукт // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 3–1 (34). с. 73–74.
 8. Ключникова, Д. В. Использование белкового концентрата в технологии творожного продукта // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 3–1 (34). с. 74–75.
 9. Ребезов, М. Б. Новые творожные изделия с функциональными свойствами: монография/ М. Б. Ребезов, Г. К. Альмахова, Н. Н. Максимюк и др. — Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011.
 10. Бакулина, О. Н. Фруктовые и овощные ингредиенты: новые виды новые возможности // Пищевая промышленность. — 2008. № 2. — с. 94.
 11. Лесняк Е. А., Ключникова Д. В. Использование растительного сырья в технологии творожных десертов // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 5–1. с. 113–114.

Растительное сырьё как компонент-обоганитель в технологии молочных продуктов

Ключникова Дина Васильевна, кандидат технических наук, доцент;
 Рамазанова Лаура Расуловна, студент
 Воронежский государственный университет инженерных технологий

В статье рассмотрено использование растительного сырья в технологии молочных продуктов.

Ключевые слова: молочный продукт, сывороточный напиток, кисломолочный продукт, функциональное питание, растительное сырьё, имбирь.

В настоящее время созданию новых, сбалансированных по составу продуктов, обогащенных функциональными компонентами, отводится значительное место в пищевой индустрии страны.

Перспективным является создание продуктов, обладающих лечебно-профилактическим эффектом. Одним из путей решения этой проблемы является технологии комбинированных продуктов питания с использованием лекарственного дикорастущего пищевого и культурного сырья [4].

Топинамбур или Подсолнечник клубненосный (лат. *Heliánthus tuberosus*) вид клубненосных растений рода

Подсолнечник семейства Астровые. Растение известно также под названием «земляная груша» и «иерусалимский артишок», семантически произошедшем, вероятно, от искажения итальянского названия «*girasole*» (подсолнечник, также и название топинамбура).

Родина земляной груши — Северная Америка, где она растёт в диком виде и была введена в культуру индейцами до появления там европейцев. Первыми из европейских стран с этим овощем в 1610 году познакомилась Англия, затем Франция, где земляная груша и получила название «топинамбур» (от названия племени бразильских индейцев —

тупинамба). Клубни съедобны. Возделывается как ценное кормовое, техническое и продовольственное растение.

По химическому составу клубни топинамбура сродни картофелю. По питательности они превосходят многие овощи и в два раза ценнее кормовой свёклы.

Клубни топинамбура содержат до 3% белка, минеральные соли, растворимый полисахарид инулин (16–18%), фруктозу, микроэлементы, 2–4% азотистых веществ. Довольно богаты витамином В1, содержат витамин С, каротин. Содержание сахаров в клубнях увеличивается, в зависимости от сроков сбора за счёт оттока питательных веществ из стеблей и листьев [8].

Люпин (лат. *Lupinus*) — род растений из семейства Бобовые (Fabaceae) Представлен однолетними и многолетними травянистыми растениями, полукустарничками, полукустарниками, кустарниками.

При определении фракционного состава белков люпина установлено, что белки представлены фракциями: альбумины — 38,0%, глобулины — 35,1%, глютелины — 4,3%, проламины 0,6%. Превалирование во фракционном составе белков люпина альбуминовой и глобулиновой фракций, позволяет предположить, что белковые препараты люпина обладают стабилизационными свойствами в составе пищевых систем.

В результате определения биологической активности каждой фракции по интенсивности размножения культуры *Paramecium sandatum* установлено, что проба не обладает протистоцидным эффектом; токсических веществ не обнаружено. Это подтверждает безвредность белковых фракций и возможности использования люпина в пищевых целях. Белки люпиновых семян являются полноценными, так как содержат в своем составе все незаменимые аминокислоты, среди них лимитирующие — метионин, гистидин, тирозин [3].

Цикорий (*Cichorium*) — травянистое растение из семейства сложноцветных, в культуре двулетнее, в диком виде многолетнее. Во всех органах содержится млечный сок, листья его — от струговидных до зубчатых, нижние — в розетке. Соцветия — корзинки, сидящие в пазухах листьев и на верхушках стебля и его ветвей. Цветки язычковые, голубые, синие, голубовато-розовые и беловатые. Плод — семянка с очень коротким хохолком. Ценность, столь распространенного в природе растения, как цикорий, обусловлена его уникальным химическим составом. Корни цикория содержат от 40% (в дикорастущем виде) до 61% (в культурных сортах) инулина, 3,5% белковых веществ; до 15% сахара, 0,0064–0,0372% глюкозида интибина, придающего корням характерный горький вкус, 4,5–9,5% фруктозы, 0,4–0,6% пентозанов, а также пектин, жиры, смолы, дубильные вещества и органические кислоты — аскорбиновая 15,8%, цикоревая, яблочная, лимонная и винная. По данным Парижской лаборатории, в состав цикория входит 33% минеральных элементов и витамины: А, Е, В1, В2, В12, РР.

Исследования по содержанию минеральных элементов в чистом цикории показали, что по составу макро- и ми-

кроэлементов этот продукт характеризуется следующим образом (мг/100г сухого вещества): калия — 1667,4; кальция — 454,3; магния — 98,4; железа — 4,5; меди — 1,5; цинка — 1,6; марганца — 0,7. Цикорий является самым натуральным источником ценного полисахарида инулина. При гидролизе инулина с помощью кислот образует фруктофуранозу и небольшое количество глюкопиранозы, а также примерно в четыре раза увеличивается содержание свободных моносахаридов — фруктозы и глюкозы [7].

Сахарное сорго служит сырьем для производства сиропа, патоки, спирта, лимонной кислоты и ряда других продуктов. Сахарное сорго богато по составу, содержит сахарозу, фруктозу, глюкозу, Са, Р, Mg, К, Na, Cu, Zn, Co, Mn, Fe, S, протеин, все незаменимые аминокислоты, витамины В1, В2, РР, Е и С.

Сахарозо-глюкозо-фруктозный сироп, содержащийся в стеблях сорго, может быть рекомендован для диетического питания, для усиленного питания больных и спортсменам. Сорговый сироп может быть использован при производстве безалкогольных напитков в качестве источника сахара и натурального красителя. Сироп сахарного сорго — вязкая сахарсодержащая жидкость зеленовато-коричневого цвета, имеющая сладкий, слегка кисловатый вкус со слегка травянистым характерным привкусом [9].

Имбирь (лат. *Zingiber*) — род многолетних травянистых растений из семейства Имбирные, с клубневидно расчлененным корневищем. Происходит из стран Южной Азии. На данный момент выращивается в Китае, в Индии, в Индонезии, в Австралии, в Западной Африке, на Ямайке, на Барбадосе. Имбирь считался одним из основных лекарств для профилактики чумы. Купцы рассказывали, что имбирь растет на краю света в стране троглодитов, которые зорко его стерегут, чем еще больше поднимали цену на чудодейственный корень.

В начале XVI века одним из первых растений был завезен в Америку и быстро там распространился. Корни по происхождению придаточные, образуют мочковатую корневую систему. За корень нередко принимают видоизмененный подземный побег — корневище, от которого отходят зеленые надземные побеги и придаточные корни. Корневище имбиря имеет вид кругловатых, расположенных преимущественно в одной плоскости, пальчаторазделенных кусочков, отдаленно напоминающие фигурки. В зависимости от способа предварительной подготовки различают два имбиря:

- белый имбирь — это предварительно вымытый имбирь, очищенный от поверхности более плотного слоя;
- черный имбирь — не подвергшийся предварительной обработке.

Оба вида высушиваются на солнце. Черный имбирь в результате получает более сильный запах и более жгучий вкус. На изломе имбирь светло-желтого цвета вне зависимости от вида. Плоть молодых корневищ почти белая; чем старше корневище, тем желтее оно на изломе.

В имбире содержатся: аскорбиновая кислота в количестве 45.68 мг/100 г имбиря, что соизмеримо с её количеством в цитрусовых. Он содержит: аспарагин, алюминий, кальций, каприловая кислота, хром, холин, жиры, железо, германий, линолевая кислота, марганец, магний, олеиновая кислота, никотиновая кислота, фосфор, кремний, калий, натрий, витамин С.

Основными компонентами в составе имбиря являются цингиберн, или зингиберн (около 70%), крахмал (4%), камфен, линалоол, гингерин, фелландрен, бисаболен, борнеол, цитраль, цинеол, сахар и жир. Жгучий вкус пряности придает фенолоподобное вещество гингерол (1,5%), а приятный аромат — эфирные масла (1–3%).

Имбирь имеет сильное антиоксидантное и успокоительное воздействие, укрепляет иммунитет, хорошо защищает от паразитов, задерживает рост бактерий, стимулирует кровообращение. Антиоксидантная активность имбиря обусловлена входящими в состав фенольные соединения: рутин и 6-гингерол [7].

Потребность организма в белках, жирах, углеводах, микро- и макроэлементах, витаминах удовлетворяется за счет суточного потребления человеком определенного набора продуктов питания. Молочные продукты, являются универсальными продуктами, обеспечивающим практически полностью суточную потребность организма с в основных питательных веществах. В нём содержится много кальция, который хорошо усваивается и полезен для нашей костной ткани, и других макро и микроэлементов. Также они богаты белками с хорошим набором аминокислот (заменимых и незаменимых), имеют в себе многие необходимые витаминов.

Разработана технология сывороточного напитка с концентрированными соками фруктов и экстрактом имбиря. Он имеет слегка острый, пряный вкус. В состав продукта входит подсырная сыворотка, фруктовые соки, имбирь молотый, пектин, сахар, пищевые красители [1,2].

Полученный сывороточный напиток характеризуется высокой пищевой ценностью и относится к продуктам, содержащим функциональные ингредиенты, такие как незаменимые аминокислоты: лейцин, лизин, аргинин, фенилаланин, треонин, а также витаминами В1, В2, РР, железом, кальцием, калием и цинком. Продукт обладает высокой пищевой и биологической ценностью. Были изучены органолептические, физико-химические и микробиологические свойства продукта, на основе которых было доказано

о принадлежности сывороточного напитка к группе функциональных продуктов.

Предложена технология кисломолочного напитка с экстрактом имбиря, который имеет слегка острый, пряный вкус. В состав продукта входит молоко, имбирь молотый, закваска, пектин [5,6].

Продукт обладает высокой пищевой и биологической ценностью, таким образом, использование экстракта имбиря в технологиях кисломолочных напитков является возможным и функционально оправданным. Внесение имбирного наполнителя позволяет придать напитку антиоксидантные свойства и функциональную направленность.

Нами предложена технология низкокалорийного творожного десерта с овощным наполнителем — тыквой. Тыква — овощ, богатый витаминами (А, Е, С, группа В, фолиевая кислота) микроэлементами (медь, цинк, железо, кобальт, йод, марганец, фтор), макроэлементами (кальций, калий, магний, фосфор, натрий), органическими кислотами, простыми сахарами (фруктоза и глюкоза), пищевыми волокнами (клетчатка) и пектинами. Калорийность 100 г свежей тыквенной мякоти составляет 25 калорий. Низкокалорийный творожный десерт является функциональным продуктом для всех групп потребителей молочных продуктов [10,12,13].

Нами предложена технология творожного продукта с наполнителем — кунжутом. В технологии творожного продукта используются семена кунжута. В состав семян кунжута входят углеводы, аминокислоты, белки и витамины А, В, Е, С, РР, рибофлавин. Также они богат кальцием, фосфором, железом, калием, магнием и прочими минеральными соединениями. В его состав входит вещество фитин — способствующее восстановлению минерального баланса организма; пищевые волокна и лецитин. Вещество тиамин нормализует обмен веществ и улучшает работу нервной системы. Кунжут имеет большие запасы кальция, что делает его незаменимым для костей и суставов, также он является профилактикой остеопороза.

Творожный продукт является функциональным продуктом для всех групп потребителей молочных продуктов [11].

Таким образом, использование растительного сырья не только расширить линейку молочных продуктов, но и сделать их продуктами функциональной направленности, которые при ежедневном употреблении, будут способствовать сохранению и улучшению здоровья.

Литература:

1. Ключникова, Д. В., Галкина А. С. К вопросу использования имбирного корня / Международная научно-техническая конференция (заочная) «Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство» [Электронный ресурс]: сборник материалов, 3–4 декабря 2013 г. / Воронеж. гос. ун-т инженерных технологий, ВГУИТ, 2013. — с.558–559.
2. Ключникова, Д. В., Галкина А. С. Имбирный корень в технологии сывороточного напитка / Современные наукоемкие технологии, 2014, № 5–1, с.11.
3. Лаптев, Ю. П. Растения от «А» до «Я». М.: Колос, 1992–351с.

4. Юдина, С. Б. Технология продуктов функционального питания. — М.: ДеЛи принт, 2008. — 280 с.
5. Ключникова, Д. В., Рамазанова Л. Р. Нетрадиционное сырьё в технологии кисломолочного напитка // Системный анализ и моделирование процессов управления качеством в инновационном развитии агропромышленного комплекса [Текст]: матер. Междунар. науч. — практ. конф. / Воронеж. гос. ун-т инж. технол. — Воронеж: ВГУИТ, 2015. — с.430–433.
6. Ключникова, Д. В. Производственный контроль как основа качества молочных продуктов: Продовольственная безопасность: научное, кадровое и ин-формационное обеспечение [Текст]. В 2 ч. Ч. 2.: матер. Междунар. науч. — техн. конф. / Воронеж. гос. ун-т инж. технол. — Воронеж: ВГУИТ, 2014. — с. 30–33.
7. Похлёбкин, В. В. Всё о пряностях. — М.: Центрполиграф, 2009. — 176 с.
8. Блинова, К. Ф. и др. Ботанико-фармакогностический словарь: Справ. пособие / Под ред. К. Ф. Блиновой, Г. П. Яковлева. — М.: Высш. шк., 1990. — С.191.
9. Голубева, Л. В., Ключникова Д. В., Коротких И. В., Семернина Ю. С., Курчаева Е. Е. К вопросу использования сиропа сахарного сорго // Актуальные вопросы технологий производства, переработки, хранения сельскохозяйственной продукции и товароведения [Текст]: матер. Междунар. науч. — практ. конф. проф. — препод. и аспиранта факультета технологии и товароведения / Воронеж. гос. ун-т инж. технол. — Воронеж: ВГАУ им. Императора Петра I, 2012. — с.79–84.
10. Лесняк Е. А., Ключникова Д. В. Использование растительного сырья в технологии творожных десертов // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 5–1. с. 113–114.
11. Ключникова, Д. В., Исмаилова А. И. Использование нетрадиционного сырья в технологии творожных продуктов // Системный анализ и моделирование процессов управления качеством в инновационном развитии агропромышленного комплекса [Текст]: матер. Междунар. науч. — практ. конф. / Воронеж. гос. ун-т инж. технол. — Воронеж: ВГУИТ, 2015. — с.427–430.
12. Ключникова, Д. В. Функциональный творожный продукт // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 3–1 (34). с. 73–74.
13. Ключникова, Д. В., Лесняк Е. А. Использование тыквы в технологии низкокалорийного творожного десерта. Международная научно-техническая конференция (заочная) «Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство» [Электронный ресурс]: сборник материалов, 3–4 декабря 2013 г. / Воронеж. гос. ун-т инженерных технологий, ВГУИТ, 2013. — с.455.

Нейронные сети в решении задачи систем распознавания на основе логистической модели

Кожанов Роман Вячеславович, студент;

Артемова Анастасия Дмитриевна, студент;

Ткаченко Ирина Михайловна, доцент, кандидат технических наук
Саратовский государственный технический университет имени Ю. А. Гагарина

Сложные тестовые композиции матричного типа в совокупности с их логистическими связями, представляющие собой фактически систему распознавания образов с заданным числом событий и им соответствующих признаков (рис. 1), могут выступать как аналоги нейронных сетей.

Нейронная сеть — это сеть с конечным числом слоев из однотипных элементов — аналогов нейронов с различными типами связей между слоями. При этом число нейронов в слоях выбирается исходя из необходимости обеспечения заданного качества решения задачи, а число слоев нейронов — как можно меньшее для сокращения времени решения задачи. Таким образом, в качестве слоев могут выступать множества композиции (множества А, Б, В, Г, Д и т.д.), а аналоги нейронов — однотипные элементы множеств (элементы a_1, b_1, v_1 и т.д.).

Рассмотрим аналогию между структурами логистических моделей тестов и искусственным нейроном. Нейрон обладает группой синапсов — однонаправленных входных связей, соединенных с выходами других нейронов, а также имеет аксон — выходную связь данного нейрона, с которой сигнал поступает на синапсы следующих нейронов (рис.2).

В состав логистической структуры входят элементы множеств, которые также имеют входные связи, так называемые синапсы, от соответствующих им элементов основного и вспомогательных множеств [2], а также выходную связь — аксон, которая направлена к соответствующему элементу, в рамках системы распознавания образов, для которого уже является входной связью — синапсом.

При воссоздании всех связей цепочки решается задача тестовой композиции о распознавании образов путем по-

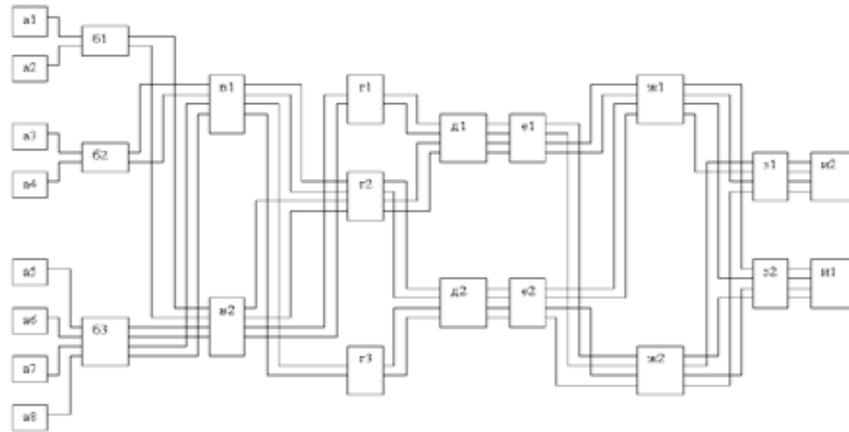


Рис. 1. Логистическая модель сложной тестовой композиции матричного типа (8 событий (a_i), 8 множеств признаков (a_j, a_k и т.д.))

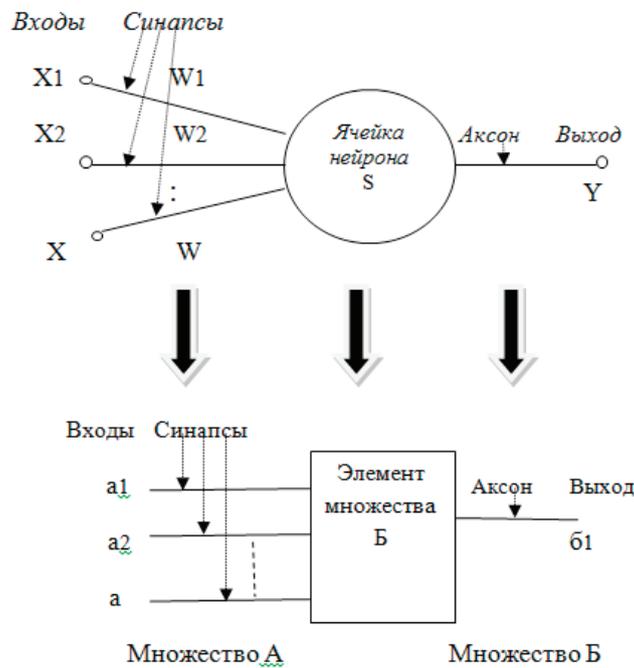


Рис. 2 Аналогия структуры искусственного нейрона и элемента логистической модели

этапного соединения элементов — нейронов посредством входных и выходных связей, синапсов и аксонов.

Свойство нейрона описывается уровнем активации нейрона, т.е. каждый вход умножается на соответствующий вес, аналогичный синаптической силе, и все произведения суммируются. Суммирующий блок (1) соответствует телу биологического элемента.

$$S = \sum_{i=1}^n x_i \cdot w_i. \tag{1}$$

Свойство элемента множества логистической модели, с точки зрения нейронных сетей, может быть описано умножением каждого входа на вероятность распознавания образа P (вес) с помощью соответствующего данному входу элемента, аналогичный синаптической силе эле-

мента. При этом суммирующий блок (2) соответствует образу (телу) распознаваемого объекта:

$$A = \sum_{i=1}^n a_i \cdot p_i. \tag{2}$$

Выход нейрона является функцией его состояния, где F — активационная функция:

$$Y = F(a), \tag{3}$$

Функция активации может быть как гомогенной (однородной), то есть одна и та же для всех нейронов сети (множеств композиции), так и гетерогенной, неоднородной, то есть зависит от нескольких параметров, значения которых меняются от нейрона (множества) к нейрону (множеству), что соответствует различным формам представ-

ления тестовых композиций, а следственно, на их базе и логистических структур.

Активационная функция с насыщением, так называемая логистическая функция или сигмоид (рис.3), опреде-

ляет функцию состояния логистической модели тестовой композиции (4) и выглядит следующим образом:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\alpha x}} \tag{4}$$

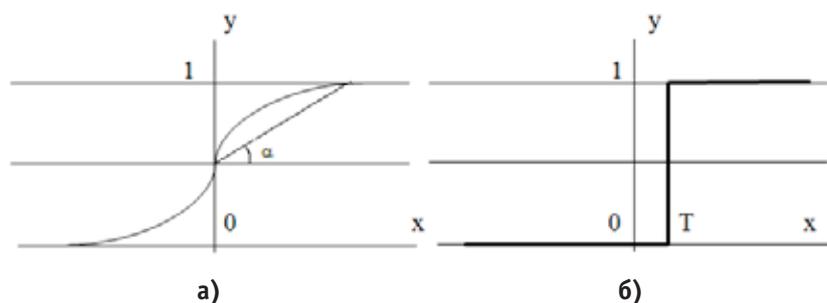


Рис. 3. Активационные функции: а) сигмоид; б) функция единичного скачка

При уменьшении α сигмоид становится более пологим, в пределе при $\alpha = 0$ вырождаясь в горизонтальную линию на уровне 0,5. При увеличении α сигмоид приближается по внешнему виду к функции единичного скачка с порогом T в точке $x = 0$. Из выражения для сигмоида очевидно, что выходное значение нейрона лежит в диапазоне $[0,1]$, что соответствует дихотомической шкале в тестовых технологиях (рис.3).

Система распознавания образов представляет собой цепочку поэтапного логического присоединения элементов (характеристик, свойств) объекта исследования для его идентификации. Нейронные сети с пороговой функцией (функции активации) дихотомического типа (тип «да» — «нет» или «1» — «0») в решении задачи

распознавания могут выступать в роли математического аппарата, а именно, в роли «кодировщика» в допустимом диапазоне соответствующей характеристики объекта исследования. Если значение элемента попадает в допустимый интервал, то результатом будет логическая «1», иначе — логический «0». Данный процесс осуществляется с помощью функции активации дихотомического типа, поэтапно продвигаясь к последующим характеристикам.

Рассмотрим вышеописанное на примере тестового задания матричного типа «Классификация катодов», где в качестве признаков (характеристик) катодов выступают рабочая температура, удельная эмиссия, удельная мощность, эффективность и долговечность (рис. 4).

Тип катода (A)	Рабочая температура, °К (B)	Удельная эмиссия, А/см ² (C)	Удельная мощность, Вт/см ² (D)	Эффективность, мА/Вт (E)	Долговечность, час (F)
Вольфрамовый	2550 (B1)	0,5 (C1)	75 (D1)	6 (E1)	900 (F1)
Гарированный	1850 (B2)	0,55 (C1)	12 (D2)	40 (E2)	900 (F1)
Карбидированный	1975 (B1)	1,1 (C2)	18 (D2)	60 (E2)	550 (F2)
Бариевый	825 (B2)	0,6 (C2)	5 (D3)	95 (E3)	1450 (F3)

Рис. 4. Тестовое задание матричного типа «Классификация катодов»

Матричная структура включает основное множество (A), элементы которого необходимо распознать, и вспомогательные множества (B, C, D, E, F), описывающие свойства и характеристики элементов основного множества (A).

Таким образом, для идентификации объектов исследования основного множества необходимо воссоздать логи-

ческие цепочки путем последовательного присоединения элементов вспомогательных множеств (Рис.5).

Логистическая модель тестового задания определяется такими понятиями как достаточность и избыточность признаков. Таким образом, достаточными признаками называются такие признаки, при наличии (выполнении, наблюдении) которых утверждение является истинным

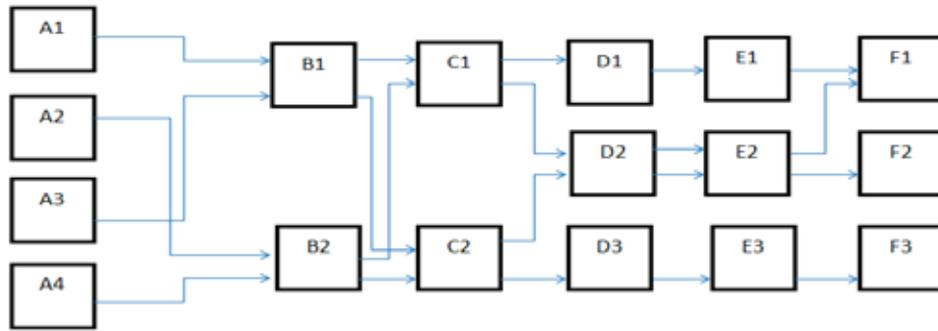


Рис. 5. Логистическая модель тестового задания матричного типа «Классификация катодов»

и полностью идентифицирует объект исследования основного множества А. Избыточными признаками называются такие признаки, при наличии (выполнении, соблюдении) которых утверждение является чрезмерно истинным, которое в свою очередь направленно на повышение информативности системы.

В тестовом задании матричного типа «Классификация катодов» с точки зрения достаточности и избыточности признаков необходимым является наличие 2 и более множеств в зависимости от информативности совокупности элементов для идентификации объектов исследования.

Используя нейронные сети с пороговой функцией дихотомического типа, на каждом этапе распознавания, проводится «кодировка» при каждом переходе к последующему вспомогательному множеству, что позволит при анализе результатов тестирования выявить те этапы, на котором произошла ошибка.

Таким образом, для тестового задания «Классификация катодов» интервалы кодирования сигнала выглядит следующим образом (табл. 1):

Пример результата выполнения тестового задания матричного типа логистической структуры как системы распознавания образов приведена на рис. 6

Таблица 1

B1[1975-3000)	C1 (0-0.55]	D1(50-80)	E1(0-30)	F1(800-1000)
B2(0-1975)	C2(0.55-1.1]	D2[12-50)	E2(30-70)	F2(500-600)
		D3(0-12)	E3(70-100)	F3(1400-1500)

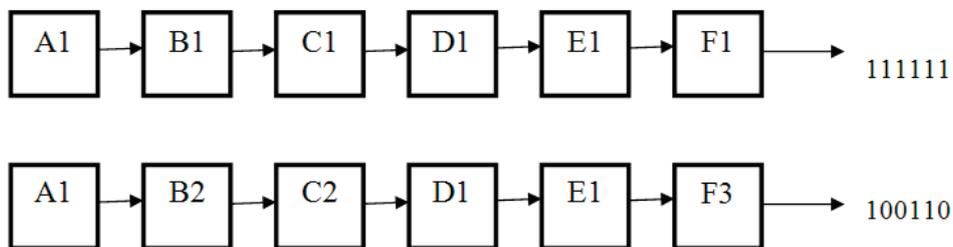


Рис. 6. Результат распознавания основного множества А тестового задания «Классификация катодов»

Приведенное описание основных элементов логистической модели тестовых структур как аналога нейронной сети, представляет интерес для теории и практики.

Литература:

1. Ткаченко, И. М., Захаров А. А., Кожанова Е. Р. Исследование эффекта прецессии спиновой структуры как элемента системы распознавания с использованием аппарата нейронных сетей // Theoretical & Applied Science. 2014. № 2 (10). с. 40–43.

2. Ткаченко, И. М., Захаров А. А., Кожанова Е. Р. Перцептрон как структурный элемент системы распознавания образов // Актуальные проблемы современной науки: сборник статей Международной научно-практической конференции: в 4 ч. отв. ред. А. А. Сукиасян. Уфа: РИЦ БашГУ, 2013. Т. 4. с. 248–251.
3. Ткаченко, И. М., Захаров, Калашникова Е. Н. Проектирование моделей тестовых структур на основе логистических схем с произвольным числом множеств и элементов // Вестник Саратовского государственного технического университета, 2009. № 2 (39) Вып.2. С.92–101.

Математическая модель выпарного аппарата для создания системы автоматического управления выпарным оборудованием в технологиях переработки отработанного ядерного топлива

Козин Кирилл Андреевич, кандидат технических наук, доцент;
Ефремов Евгений Викторович, ассистент;
Грачев Максим Игоревич, студент
Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Реализация замкнутого ядерного топливного цикла приводит среди прочего к необходимости обоснования технологии отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) путем проведения исследований на экспериментальном и опытно-промышленном оборудовании. При этом создание эффективного радиохимического производства с учетом его высокой радиационной, ядерной и экологической опасности невозможно без использования систем автоматического управления (САУ) [1].

В технологиях переработки ОЯТ для кондиционирования растворов зачастую применяют метод непрерывного упаривания — кондиционирование жидких отходов, концентрирование целевых продуктов в линии урана. Поэтому обеспечение эффективного непрерывного режима цепи технологических переделов будет зависеть от работы выпарного оборудования. Существенным его отличием от аналогичных аппаратов является малый объем вследствие относительно небольшого масштаба производства в защитном исполнении и обеспечения ядерной безопасности [1].

Сложность разработки САУ подобными аппаратами определяется среди прочего многосвязностью, существенной нелинейностью по отдельным каналам управления, а также отсутствием самовыравнивания. Поэтому для проведения вычислительных исследований возможных вариантов САУ однокорпусным выпарным аппаратом (ВА) с вынесенной греющей камерой, предназначенным для упаривания азотнокислого раствора уранилнитрата (см. Рис. 1), необходимо создать его математическую модель, описывающую динамические связи между основными технологическими переменными. При этом, согласно общепринятому в инженерной практике правилу, для синтеза САУ из-за приближенного характера формул аналитического расчета параметров настройки регуляторов вполне достаточно 10%-ой точности модели [2].

Математическая модель процесса упаривания реэкстракта урана должна отражать:

- динамику изменения уровня раствора в аппарате в зависимости от расходов исходного раствора реэкстракта урана, упаренного реэкстракта урана, флегмы и расхода греющего пара;
- динамику изменения концентрации/плотности упаренного раствора в зависимости от расхода и концентрации/плотности исходного раствора и флегмы, расхода упаренного реэкстракта урана и греющего пара;
- динамику изменения температуры раствора в аппарате в зависимости от температур исходного раствора, флегмы, греющего пара и давления на линии подачи пара в греющую камеру.

Кроме этого, модель должна учитывать взаимное влияние друг на друга перечисленных выше, выходных контролируемых параметров объекта.

Как правило, при построении аналитических моделей химических аппаратов, математическое описание сводится к составлению уравнений материального и теплового балансов системы, базирующихся на фундаментальных законах природы: законах сохранения массы и энергии [3–6].

Так как априорная информация о термодинамических свойствах упариваемого продукта, физических и термодинамических параметрах греющего и сокового пара, а также необходимых данных для описания тепловых потерь в окружающую среду и т.д. отсутствовала, то потребовалось существенно упростить математическое описание.

В результате динамика материальных, элементных и тепловых потоков в аппарате описывается следующей системой уравнений:

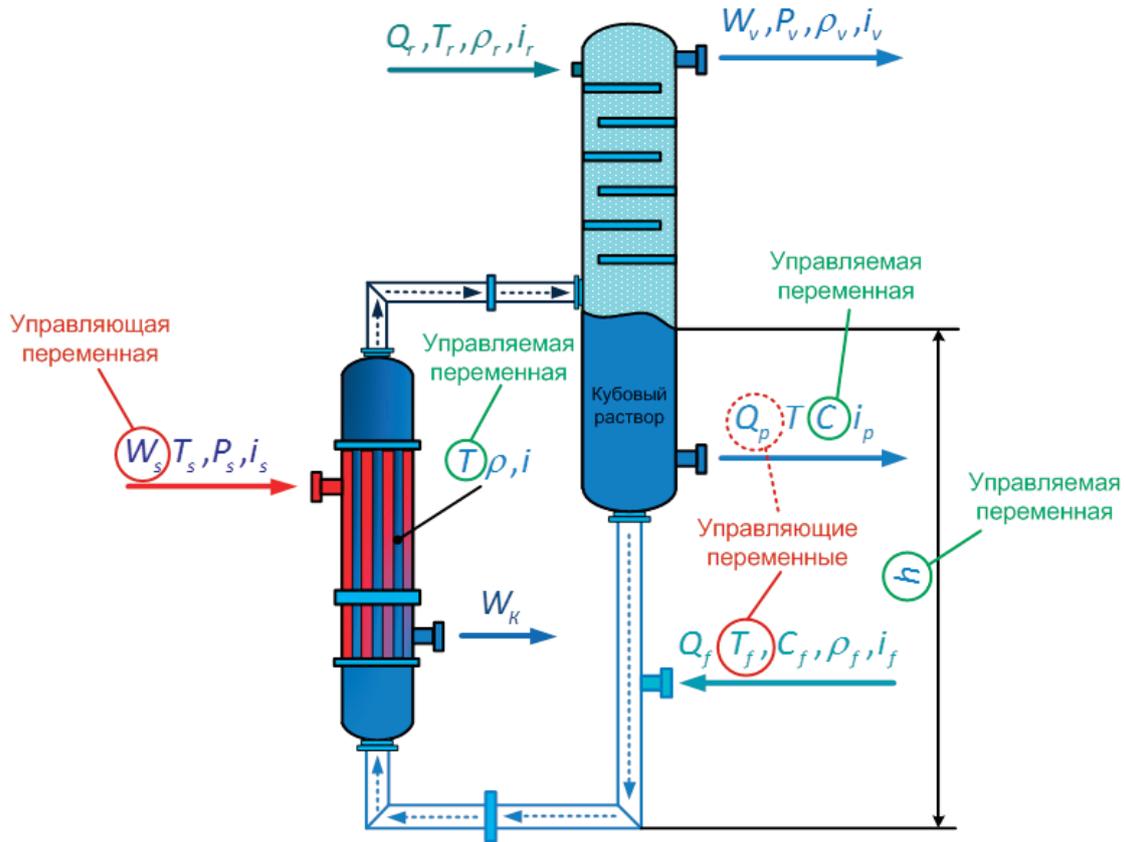


Рис. 1. Схема выпарного аппарата: $\rho, \rho_v, \rho_r, \rho_f$ — соответственно плотность раствора в аппарате, вторичного пара, флегмы, исходного раствора реактрakta урана, кг/м³; W_K — массовый расход конденсата, кг/ч; i, i_s, i_f, i_r, i_v — соответственно энтальпия раствора в аппарате, греющего пара, входного раствора, флегмы и вторичного пара, Дж/кг

$$\begin{cases} \frac{dh}{dt} = \frac{1}{A} \cdot \left(Q_f + Q_r - Q_p - \frac{W_v}{\rho_w} \right) \\ \frac{d\rho}{dt} = \frac{1}{Ah} \left(W_v \left(\frac{\rho}{\rho_w} - 1 \right) - Q_f \rho_f \left(\frac{\rho}{\rho_f} - 1 \right) \right) \\ \frac{dT}{dt} = \frac{[W_s(i_s - i_c) + Q_f \rho_f (i_f - i) + Q_r \rho_r (i_r - i) + W_v (i_v - i) - L(T - T_{ar})]}{\rho_f c_f Ah} \end{cases} \quad (1)$$

где A — площадь поперечного сечения ВА, м²;
 c_f — удельная теплоемкость входного раствора, кДж/(°С×кг);
 ρ_w — плотность воды, кг/м³, а массовый расход вторичного пара W_v определяется по следующему алгебраическому выражению:

$$W_v = \frac{Q_f \rho_f c_f T_f - Q_p \rho c T + Q_r \rho_r i_r + W_s i_s}{i_v} \quad (2)$$

Энтальпии греющего, вторичного пара и конденсата определяются по выражению, полученному путем аппроксимации табличных данных:

$$\begin{aligned} i_{s,v} &= 2,5 \cdot 10^6 + 1813 \cdot T_{sat} + 0,417 \cdot T_{sat}^2 - 0,11 \cdot T_{sat}^3 + 2090 \cdot (T_{s,v} - T_{sat}) \\ T_{sat} &= \frac{2147}{(10,76 - \lg(P_s))} - 273,2 \\ i_c &= (-0,0051 \cdot T_s^2 - 1,5595 \cdot T_s + 2467,1) \cdot 10^3 \end{aligned} \quad (3)$$

Разработанный подход и математическое описание выпарного аппарата как объекта управления было реализовано в виде компьютерной модели в пакете MATLAB/Simulink. Для проверки качественной адекватности модели использовались результаты исследований выпарных аппаратов, приведенных в работе [7], где в качестве одного из объектов исследования использовалась двухступенчатая вакуум-выпарная установка «Единство».

На рисунке 2 представлены переходные характеристики по уровню во втором аппарате установки «Единство», при изменении расхода питающего раствора $\Delta S_f = 1700 \text{ кг/ч}$ в аппарат на 62% и соответствующий переходный режим в разработанной модели аппарата упаривания реактукта урана.

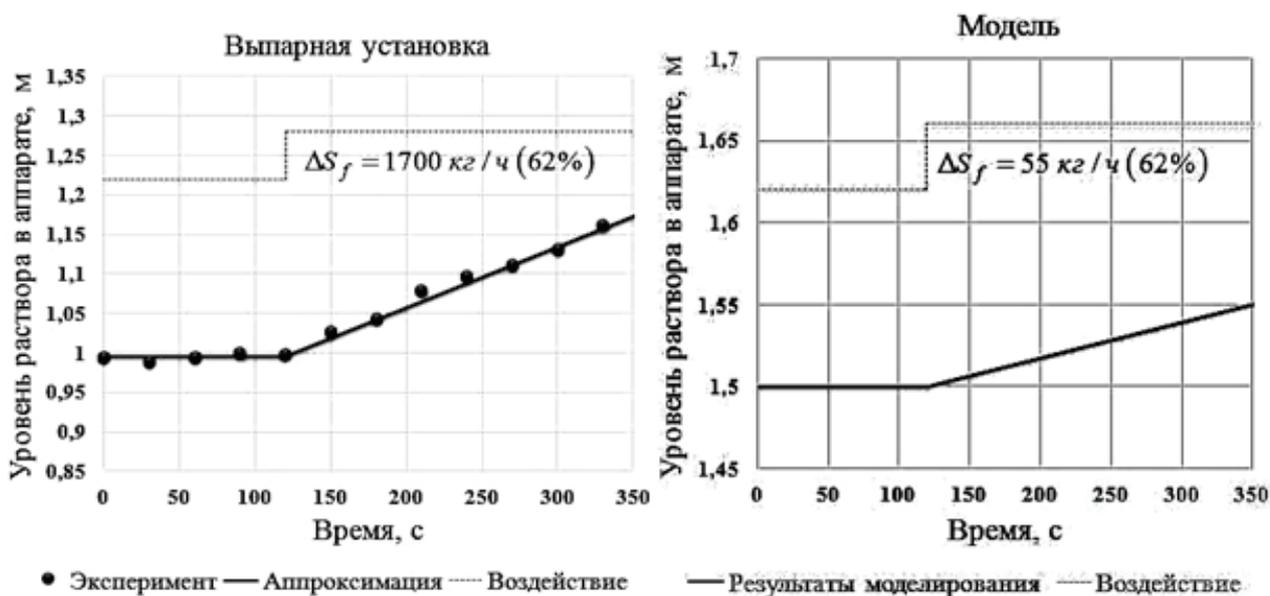


Рис. 2. Переходные процессы по уровню

Как видно из графиков, характер изменения уровня в обоих случаях идентичен, и данный канал объекта управления можно описать астатическим звеном.

На рисунке 3 представлены переходные характеристики по концентрации в первом аппарате установки «Единство», при изменении расхода жидкости на выходе $\Delta S_p = -250 \text{ кг/ч}$ из аппарата на -30% и соответствующий переходный режим в разработанной компьютерной модели ВА.

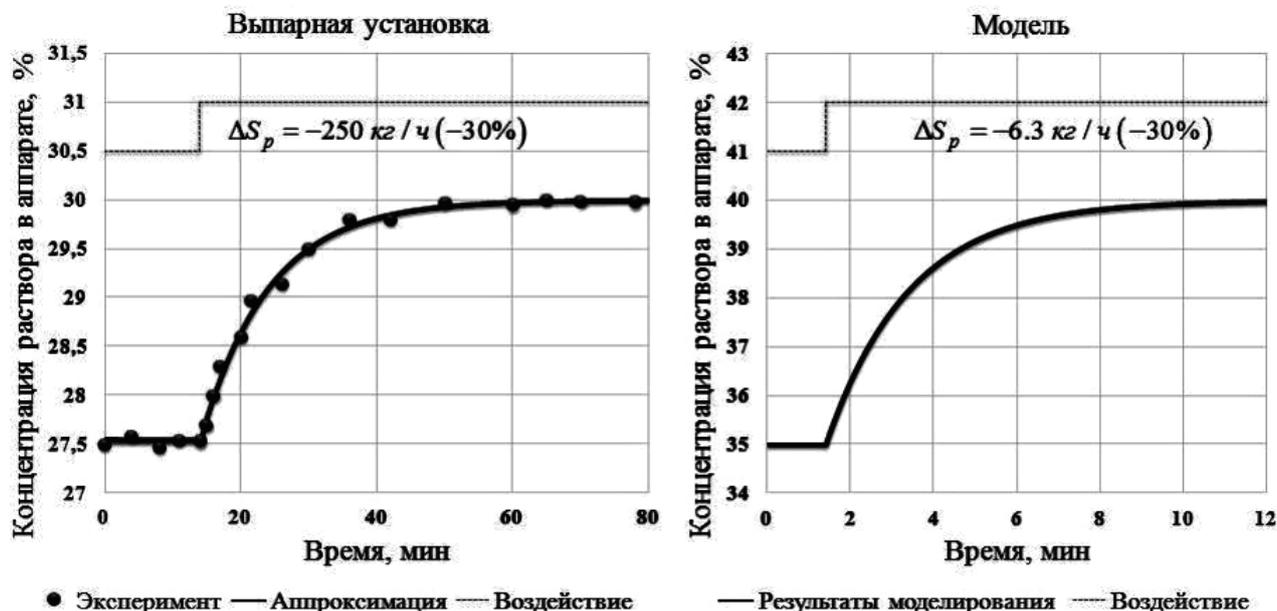


Рис. 3. Переходные процессы по концентрации

Вышеприведённые графики показывают, что переходные процессы, по концентрации, полученные на выпарной установке и в результате моделирования, совпадают на качественном уровне. Кроме того, можно заметить, что объект по данному каналу можно описать аperiodическим звеном первого порядка.

На рисунке 4 представлены переходные характеристики по температуре раствора в первом аппарате установки «Единство», при изменении расхода греющего пара $\Delta S_p = 480$ кг/ч из аппарата на 17% и соответствующий переходный режим в разработанной компьютерной модели ВА.

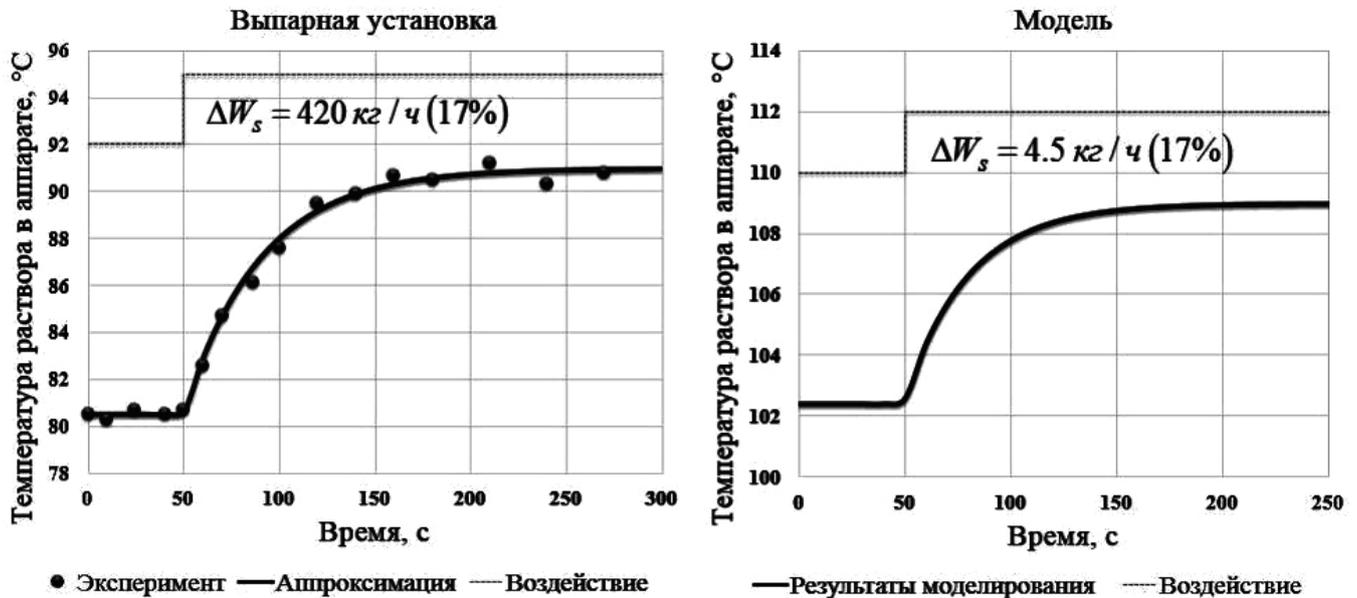


Рис. 4. Переходные процессы по температуре

Вышеприведённые графики показывают, что переходные характеристики по температуре, полученные на выпарной установке и в результате моделирования, совпадают на качественном уровне. Кроме того, можно заметить, что объект по данному каналу, так же как по концентрации, можно описать аperiodическим звеном первого порядка.

Сравнение результатов моделирования с данными [8] показывает их качественное совпадение.

Анализ вышеприведённых переходных процессов показывает, что постоянная времени выпарных аппаратов по концентрации/плотности, существенно выше постоянных времени по уровню и температуре. Данное обстоятельство необходимо учитывать при разработке САУ выпарным аппаратом.

Проверка количественной адекватности разработанной модели проводилась по экспериментальным данным, полученным на лабораторном выпарном стенде НПО Радиевый институт имени В. Г. Хлопина, г. Санкт-Петербург.

Данный стенд оснащен автоматизированной системой управления, в основе которой заложены два алгоритма управления.

Первый алгоритм предназначен для режима упаривания с заданной кратностью. При этом уровень кубового раствора поддерживался постоянным за счет регулирования расхода исходного раствора. В нестационарном режиме (до достижения заданной плотности раствора) кубовый раствор не сливался. В непрерывном режиме раствор сливался в пропорциональном среднему расходу исходного раствора количестве.

Второй алгоритм обеспечивал заданную плотность раствора на выходе выпарной установки в непрерывном режиме. Поддержание заданной плотности кубового раствора осуществлялось расходом исходного раствора, а поддержание уровня — сливом кубового раствора.

На установке был проведен следующий эксперимент. В режиме пуска ВА после его первоначального заполнения исходным раствором и начала процесса выпарки управление процессом шло по первому алгоритму в нестационарном режиме. После достижения заданной величины плотности $\rho_{уст} = 1400$ кг/м³, то есть выхода объекта на стационарный режим, управление осуществлялось по второму алгоритму. Если измеренная плотность кубового раствора была больше величины $\rho_{уст}$, то задавался максимальный расход исходного раствора, если меньше — устанавливался минимальный расход. То есть управления осуществлялось по релейному закону.

После выхода на стационарный режим был зафиксирован переходный процесс при изменении уставки регулятора плотности от $\rho_{уст} = 1400$ кг/м³, до $\rho_{уст} = 1500$ кг/м³.

Аналогичный эксперимент был проведен на разработанной компьютерной модели выпарного аппарата. Экспериментальные данные и результаты моделирования приведены на рисунке 5а.

На стенде был проведен еще один эксперимент, в котором после достижения заданной величины плотности $\rho_{\text{уст}} = 1315 \text{ кг/м}^3$ ее уменьшили до значения $\rho_{\text{уст}} = 1285 \text{ кг/м}^3$. Результаты эксперимента приведены на рисунках 5б–5 г.

Относительные среднеквадратичные погрешности воспроизведения уровня, плотности и температуры раствора, составили менее 9%, 5% и 7% соответственно, что удовлетворяет предъявленным требованиям.

Таким образом, в ходе работы была подтверждена качественная и количественная адекватности разработанной компьютерной модели, что позволяет использовать ее при разработке САУ ВА.

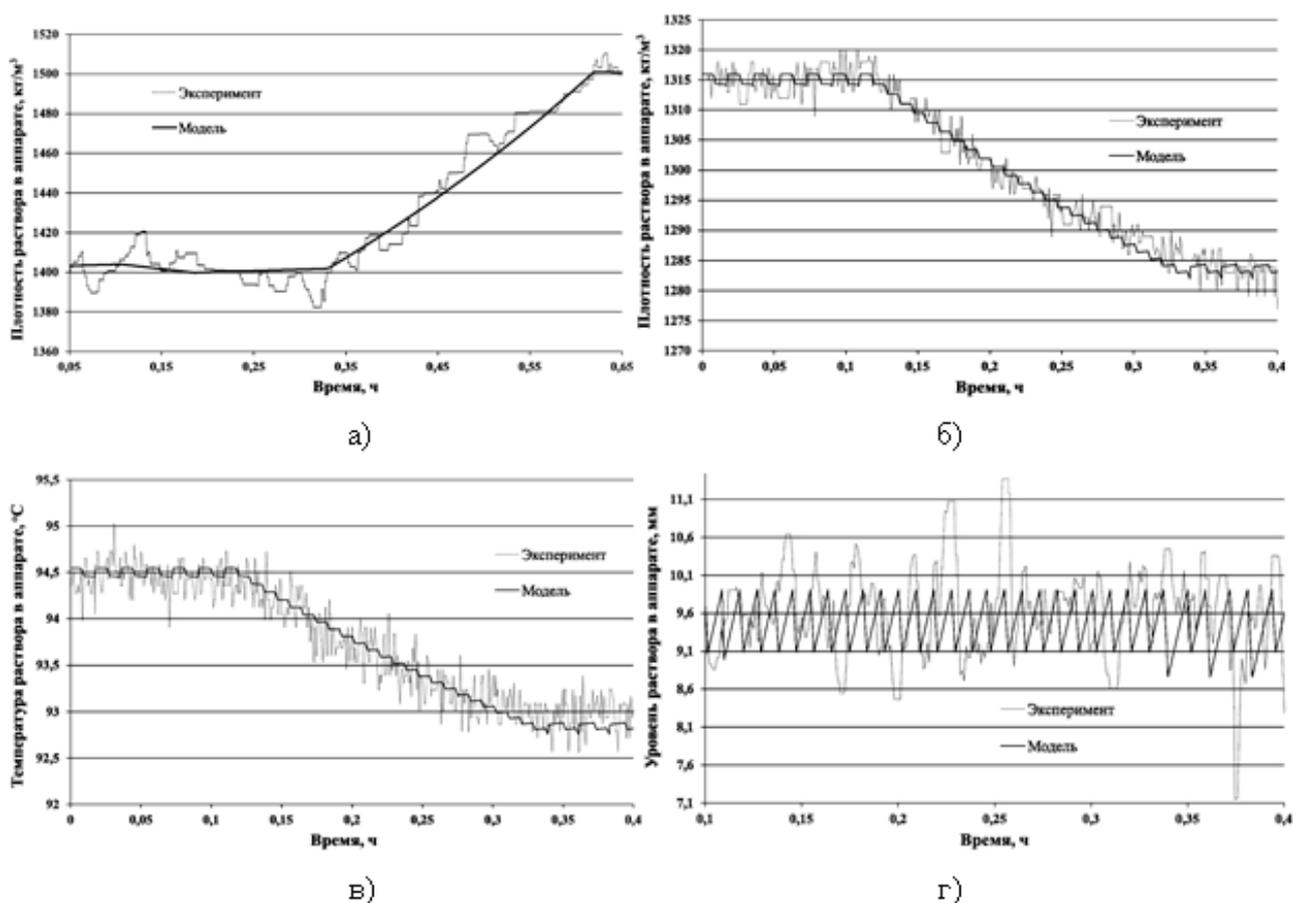


Рис. 5. Переходные процессы по плотности (а, б), по температуре (в) и по уровню (г) в лабораторном выпарном стенде и компьютерной модели

Литература:

1. Автоматическое управление выпарным оборудованием в технологиях переработки отработанного ядерного топлива / И. Ю. Шевяков, К. А. Козин, А. Г. Горюнов, Ф. Э. Гофман, Б. Я. Зильберман, Д. В. Рябов // VI Международ. научно-практ. конф. «Физико-технические проблемы атомной науки, энергетики и промышленности»: сб. тез. докл. / Томский политехн. ун-т. — Томск, 2014. — с. 52.
2. Советов, Б. Я., Яковлев С. А. Моделирование систем: Учебник для вузов. — 2-е издание. — М.: Высшая школа, 1998. — 319 с.
3. Кафаров, В. В., Глебов М. Б. Математическое моделирование основных процессов химических производств: Учеб пособие для вузов. — М.: Высш. шк., 1991. — 400 с.
4. Луценко, В. А., Финякин Л. Н. Математическое моделирование химико-технологических процессов на аналоговых вычислительных машинах. Лабораторно-практические работы. — 2-е изд. перераб. и доп. — М.: Химия, 1984 — (серия «Химическая кибернетика»). — 272 с.
5. Луценко, В. А., Финякин Л. Н. Аналоговые вычислительные машины в химии химической технологии. — 2-е изд. перераб. и доп. — М.: Химия, 1979 — (серия «Химическая кибернетика»). — 248 с.
6. Самарский, А. А., Михайлов А. П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. — 2-е изд., испр. — М.: Физматлит, 2001. — 320 с.
7. Таубман, Е. И. Расчет и моделирование выпарных установок. — М.: Химия, 1970. — 216 с.

8. Kiew, M. Kam, Prabirkumar Saha, Moses O. Tadel, G.P. Rangaiah. Models of an Industrial Evaporator System for Education and Research in Process Control // Developments in Chemical Engineering and Mineral Processing. — 2002. — V. 10. — № 1–2. — P. 105–127.

Экономические преимущества инновационных методов магнетронного распыления

Комарова Диана Андреевна, студент;
Бадараев Арсалан Доржиевич, студент;
Баженов Андрей Юрьевич, студент;
Егорова Мария Сергеевна, ассистент

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

В данной работе рассмотрены и приведены в сравнение различные типы магнетронных распылительных систем (МРС). Описано экономическое преимущество МРС, основанных на сильноточном импульсном магнетронном разряде (СИМР) перед другими МРС, главным образом зависящее от скорости осаждения тонкопленочного покрытия. Приведены соответствующие экономические выводы.

Economic advantages of innovative methods of magnetron dispersion

Komarova Diana Andreevna, student
Badarayev Arsalan Dorzhiyevich, student
Bazhenov Andrey Yuryevich, student
Egorova Maria Sergeevna, assistant
National Research Tomsk Polytechnical University

In this work various types of the magnetron raspylitelnykh of systems (MRS) are considered and given to comparison. The economic advantage of MRS based on the silnotochny pulse magnetron category (SPMC) before other MRS, mainly depending on the speed of sedimentation of a thin-film covering is described. The corresponding economic conclusions are given.

В настоящее время все большую популярность получают тонкопленочные покрытия, которые позволяют изменить свойства поверхностей твердых тел такие, как твердость, проводимость, отражение и др. Такой метод изменения свойств поверхности является наиболее дешевым, чем использование цельных материалов с необходимыми свойствами. При нанесении покрытий можно создать материал, который будет отличен по свойствам от своего предыдущего состояния без покрытия. Например, хрупкий сплав металлов можно сделать более прочным, если на него нанести слой толщиной в несколько нанометров тонкопленочного покрытия (например, алюминия) и данный сплав будет более стоек к разрушению. Тонкопленочные покрытия используются в оптике (просветляющие и отражающие покрытия), медицине (кальцефосфатные покрытия, имитирующие человеческую кость), микроэлектронике, машиностроении (для повышения прочности, коррозионной стойкости и др.) и во многих других отраслях.

Для нанесения тонкопленочных покрытий особую популярность приобрел метод магнетронного распыления.

Данный метод был разработан в конце 1970-х г. и развивается активно в настоящее время. Магнетронные распылительные системы (МРС) приобрели значительную популярность за счёт того, что обеспечивают хорошее качество и большое разнообразие тонкопленочных покрытий. Сегодня получают все новые технологии по нанесению тонких пленок, основанные на данном методе. Однако, существует ряд проблем, связанных с данным методом. Так, например, достигнутая производительность технологических процессов не всегда удовлетворяет потребностям промышленного производства. В частности, для МРС на постоянном токе применительно к металлам скорость осаждения составляет 1–10 нм/с, а при получении покрытий сложного состава — ещё меньше [1].

Для решения данной проблемы в работе [2] был предложен метод, основанный на использовании сильноточного импульсного магнетронного разряда (СИМР), который позволяет расплавлять тонкий поверхностный слой осаждаемого металлического вещества, что приводит к увеличению скорости осаждения тонкопленочных

покрытий в 10–100 раз, чем при распылении в обычном планарном магнетроне. Работы по развитию технологии осаждения тонкопленочных покрытий, основанных на данном методе в настоящее время ведутся в Национальном Исследовательском Томском Политехническом университете на кафедре водородной энергетики и плазменных технологий (ВЭПТ).

В масштабах промышленного производства тонкопленочных покрытий также встает вопрос об экономии средств на расходные материалы. Данная экономия напрямую связана с повышением скоростей осаждения тонкопленочных покрытий, т.к. таким образом уменьшается скорость технологического процесса.

Таким образом, целью данной статьи является экономическое обоснование целесообразности развития данной технологии, позволяющей осаждать распыляемый материал во много раз быстрее, чем при обычном распылении тонких пленок металлов в планарном магнетроне.

Краткое описание схемы устройства планарной МРС

Магнетронная распылительная система — это устройство для нанесения тонкопленочных покрытий на твердое тело, будь то стекло, арматура и др. В основе нанесения покрытия, как видно из названия, лежит процесс распыления. Принципиальная схема простейшей планарной МРС представлена на рисунке 1.

Катод-мишень 1 изготавливается из того материала, из которого в дальнейшем и будут состоять частично или полностью тонкие пленки, материалы мишени, их свойства, а также ценовое распределение, можно узнать на сайте вакуумных приборов [4]. Именно данный элемент системы подвергается распылению в ходе работы. Магнитная система 2 в ходе процесса работы МРС охлаждается проточной водой. Источник питания 3 — источник постоянного напряжения.

Данная МРС может быть использована только для осаждения металлических покрытий. Для осаждения полупроводниковых или диэлектрических покрытий ее нера-

ционально использовать из-за практически нулевых скоростей осаждения. Скорость осаждения металлов, как было сказано выше 1–10 нм/с.

Существующие технологии осаждения покрытий

На сегодняшний день существует множество технологий получения тонкопленочных покрытий при помощи МРС, направленных на увеличение скорости осаждения. Наиболее затратными являются осаждения полупроводниковых и диэлектрических покрытий, так как скорость их осаждения значительно ниже скорости осаждения металлов. Более того, для нанесения покрытий нужны дополнительные расходные материалы, такие как водяное охлаждение, мишени МРС, рабочий газ, реактивный газ, который нужен для осаждения сложных по химическому составу пленок, например, оксидов, нитридов и т.п. Чем выше скорость осаждения покрытий, тем меньше затрачивается таких ресурсов, как электроэнергия, рабочий и реактивный газы, вода для охлаждения и др. Таким образом, увеличивая скорость процесса осаждения покрытий мы приходим к существенной экономии ресурсов, требующихся для получения тонкопленочных покрытий.

Для увеличения скорости осаждения покрытий есть несколько способов. Например, использование импульсных магнетронных распылительных систем со средне-частотным источником питания. Существует несколько видов данных систем, наиболее популярной из которых является дуальная магнетронная распылительная система. Данная система позволяет получать покрытия сложного химического состава со скоростями в среднем около 4 нм/с на примере покрытий из диоксида титана и не более 10 нм/с для титана [5]. Однако для данной системы требуется не одна мишень, а две, что требует соответствующих экономических затрат.

Также используются высокочастотные магнетронные распылительные системы, получившие название

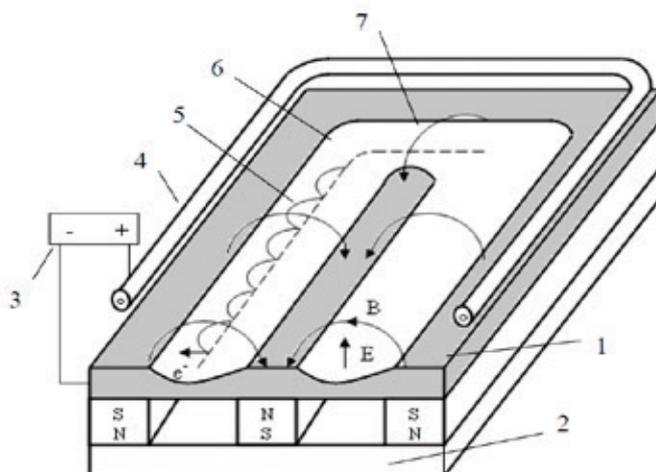


Рис. 1. МРС с плоским катодом (планарная). 1 — катод-мишень, 2 — магнитная система, 3 — источник питания, 4 — анод, 5 — траектория движения электронов, 6 — зона распыления, 7 — силовая линия магнитного поля [3]

НIPIMS. Скорость осаждения покрытий диоксида титана данным методом 0,2–0,7 нм/с [6]. Они не являются высокоскоростными, но позволяют получать качественные покрытия и осаждать покрытия сложного состава.

Использование МРС с жидким катодом позволяет увеличить скорости осаждения металлических покрытий в 10–100 раз по сравнению со скоростями осаждения обычного планарного магнетрона [1]. Но использование данного вида МРС связано со множеством технологических сложностей. В настоящее время при помощи использования данного вида МРС невозможно организовать поточного производства по нанесению тонкопленочных покрытий в промышленных масштабах, т.к. при заданных параметрах технологического процесса получается недостаточная повторяемость результатов.

Результаты моделирования, а также экспериментальные результаты, описанные в работе [2] позволяют получить технологию осаждения покрытий, со скоростями осаждения схожими со скоростями при использовании МРС с жидким катодом, но лишенную большинства недостатков использования данной МРС.

Из таблицы 1 видно, что скорость осаждения и, следовательно, время осаждения у МРС на СИМР на порядок выше, чем у остальных МРС. Поэтому, затраты на электричество и воду, становятся намного меньше, чем при использовании планарной или дуальной системы распыления, так как эти ресурсы используются постоянно в ходе всего технологического процесса.

Малый расход времени на осаждение тонкопленочных покрытий также влияет на расход рабочего и (если исполь-

Таблица 1. Сравнение разных систем магнетронов

	Планарный	Дуальный	СИМР
Скорость осаждения, нм/с	1,65	4,00	33,00
Толщина покрытия, нм	1,00	1,00	1,00
Время процесса, с	0,61	0,25	0,03
Поток рабочего газа, см ³ /с	12,00	12,00	12,00
Расход рабочего газа, см ³	7,27	3,00	0,36

зуется) реактивного газов (Табл. 1), поэтому расход газов при использовании МРС на СИМР намного меньше, чем при использовании других видов МРС.

При использовании дуальной МРС расход на мишени увеличивается вдвое, так как конструкционно необходимо в данной системе наличие двух мишеней, а не одной, как у планарного МРС и МРС на СИМР.

Таким образом использование МРС на СИМР позволяет значительно сэкономить на расходных материалах за счет высокой скорости осаждения.

В ходе сравнения метода осаждения покрытий на основе СИМР с методами, основанными на использовании

планарной и дуальной МРС видно, что использование метода осаждения покрытий, описанного в работе [2] является наиболее экономически целесообразным и позволяющим экономить такие ресурсы, как воду, электричество рабочий газ, а также время. Данный метод в перспективе возможно будет использовать для промышленных масштабов производства, где экономия данных ресурсов особенно значительна. Благодаря экономии расходных ресурсов, стоимость пленок значительно уменьшится, что позволит использовать их более активно в различных производствах, где необходимы модифицированные материалы.

Литература:

1. Блейхер, Г. А., Кривобоков В. П. Эрозия поверхности твёрдого тела под действием мощных пучков заряженных частиц. Новосибирск: Наука, 2014. 248 с.
2. Щелканов, И. А. Сильноточный импульсный магнетронный разряд с автоускорением плазмы: дис. ... канд. физ. — мат. наук / Ходаченко Г. В.; МИФИ. — Москва, 2011. — 135 л.
3. Кривобоков, В. П., Сочугов Н. С., Соловьев А. А. Плазменные покрытия (методы и оборудование): Учебное пособие — Томск: Изд-во ТПУ, 2008. — 104 с.
4. Мишени для магнетронного распыления в вакууме [Электронный ресурс] // Мишени для магнетронов. — Режим доступа: <http://www.ligamet.org/index.php?id=92>. — Загл. с экрана (2015).
5. Д. В. Сиделев, Ю. Н. Юрьев, Д. А. Кокова, О. В. Пенкова. Осаждение пленок диоксида титана с помощью дуального магнетрона: отические и фотокаталитические свойства // Известия вузов. Физика. 2014.
6. G. Brauer, B. Szyszka, M. Vergohl, R. Bandorf. Magnetron sputtering — Milestones of 30 years // Vacuum. 2010. Vol. 84. С. 1354–1359.

Воздействие усадочных явлений на защитно-отделочное покрытие стен из пенобетона

Кочеткова Майя Владимировна, кандидат технических наук, доцент;

Гусев Николай Иванович, кандидат технических наук, профессор;

Щеглова Анна Сергеевна, студент

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства.

Показана кинетика усадочных деформаций в полимерцементных составах с учетом количественных величин полимерных добавок поливинилацетатной дисперсии или каучукового латекса. Представлена информация о влиянии изменяющихся температур и количества добавок на прочность защитного композита.

Ключевые слова: усадочные деформации, зависимость деформаций от количества полимера в защитном покрытии, температурные деформации, коэффициент линейного расширения.

Известно, что в большой степени трещиностойкость материала зависит от величины усадки. Поэтому защитно-отделочное покрытие, подвергающееся многообразным процессам увлажнения и высушивания, в процессе эксплуатации наружных стен отапливаемых зданий, в наибольшей степени должны обладать и сопротивлением усадочным деформациям. Все эти факторы крайне необходимы в составах для защитно-отделочных покрытий. В то же время, их можно значительно улучшить, создавая композитные смеси на основе полимерных добавок в цементный раствор. Мы применяли полимеры, обладающие высокими адгезионными свойствами. Это поливинилацетатная дисперсия (ПВАД) и синтетический, каучуковый стирольный латекс СКС-65ГП.

При введении в цементный раствор полимера повышается его прочность при растяжении, способствующая в то же время повышению трещиностойкости. Одновременно с этим возрастает и усадка. Усадочные явления проявляются как в начале твердения бетона, так и при последующем его увлажнении и высушивании. Причем величина усадки становится тем выше, чем больше полимер подвержен набуханию при увлажнении. Например, раствор с ПВАД характеризуется значительно большей усадкой, чем каучукцементные растворы.

Нами изучалась усадка на призмах 4x4x16 см с реперами из нержавеющей стали. После 3-х суточного увлажнения проводился замер образцов с помощью индикаторов с ценой деления 0,02 мм. Образцы хранили в герметичных эксикаторах над слоем обезвоженного хлористого кальция. Замеры и взвешивания проводили через каждые четверо суток до прекращения изменения в весе и в отсчетах по индикатору. Затем образцы высушивали до постоянного веса и делали последний замер и взвешивание. По имеющимся данным подсчитывали величину усадки в мм/м при соответствующей влажности и строили кривые усадки (рис. 1).

Усадка растворов с ПВАД значительно превышает конечную усадку пенобетона более чем в два раза. В связи с этим следует признать малую эффективность защитных покрытий с ПВАД при испытании их на морозостойкость

и переменное увлажнение и высушивание. Растворы с СКС-65ГП имеют усадку близкую к пенобетонам. Но при интенсивном высушивании, когда остаточная влажность становится менее 1%, наблюдается повышенная усадка. Усадки у пенобетона и полимербетона практически одинаковые если добавка латекса не превышает 0,2% от веса цемента, и лишь при существенном отличии от влажности этих материалов их усадочные деформации могут отличаться на 0,3 мм/м.

В связи с этим можно отметить, что при твердении полимерцементных растворов усадка растворов с латексом заканчивается через 7–8 суток, достигая величины 0,3 мм/м. У растворов с ПВАД усадочные деформации продолжают накапливаться более 30 суток. В начальный период твердения усадочные деформации в растворах с латексом протекают менее интенсивно, чем в растворах с ПВАД.

Для надежной совместной работы пенобетона и защитно-отделочного раствора нужно получить коэффициенты их температурного расширения одинаковыми или близкими по значению. Для пенобетонов коэффициент линейного расширения α при их охлаждении и нагреве от 0 до +100°С принимается $\alpha = 0,000008$.

Нами определялись значения коэффициентов температурного расширения для пенополимерцементных растворов. Их значения в диапазоне температур от –10°С до +100°С оказались равными $(8 \div 9) \times 10^{-6}$ с некоторым возрастанием по мере увеличения полимерцементного отношения.

Влияние колебаний температуры в защитно-отделочном покрытии стен из пенобетона изучалось путем анализа прочности при сжатии образцов в условиях повышенных температур до значений: +20; +50; +70; +90 и +110°С, хотя фактический нагрев фасадных поверхностей не превышает +75°С.

Анализ прочности при повышенных температурах показал некоторое снижение прочности и модуля упругости композитов, что можно объяснить размягчением полимерной составляющей и переходом ее в высокоэластическое состояние в пенополимерцементном растворе.

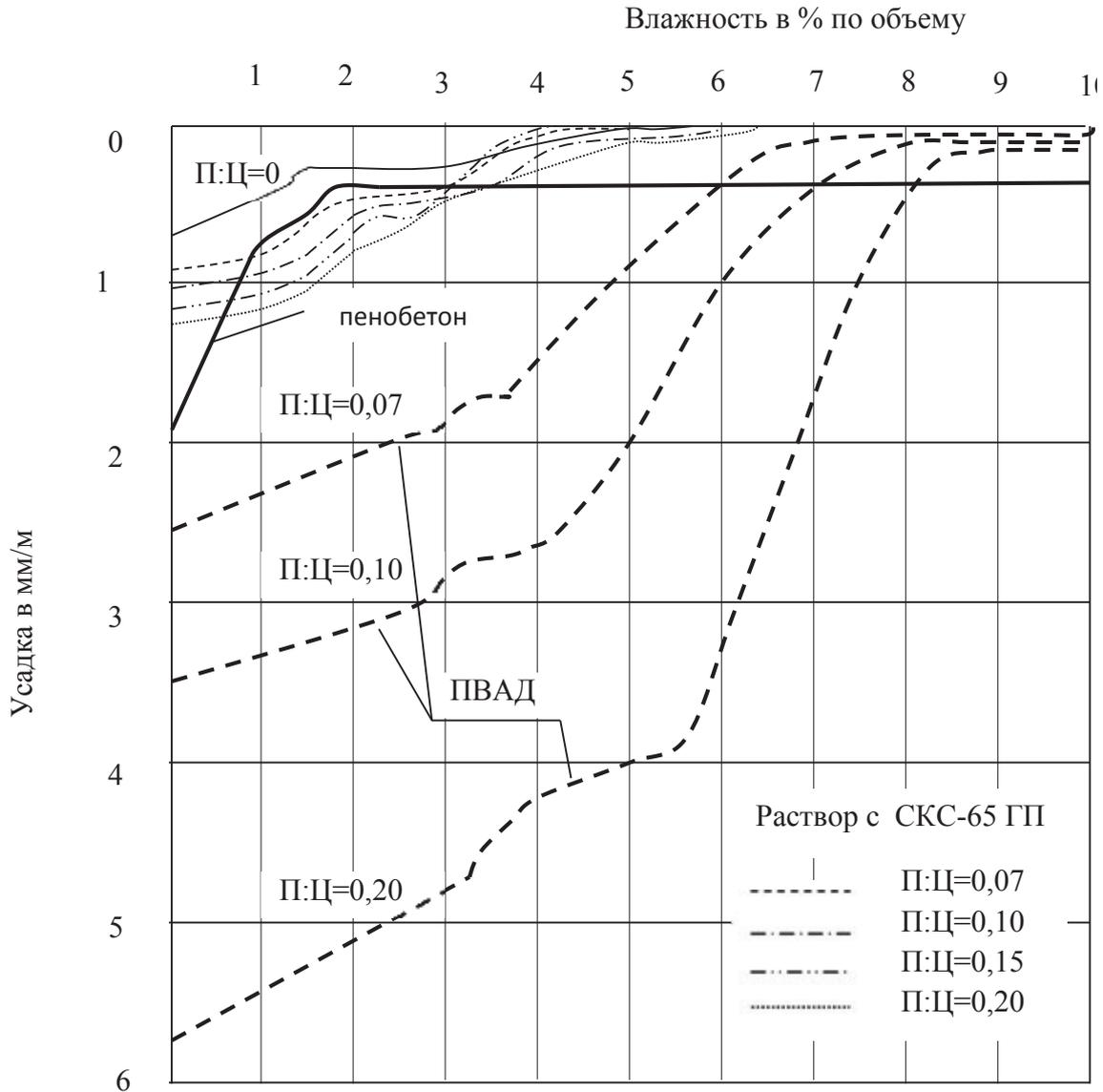


Рис. 1. Усадка полимерцементных растворов и пенобетона

Таблица 1

Полимер	П: Ц	Прочность при сжатии (МПа) в условиях температур				
		+20°С	+50°С	+70°С	+90°С	+110°С
-	0	4,2	4,8	4,5	4,2	4,6
ПВАД	0,07	5,7	5,3	5,3	5,9	4,9
	0,10	7,6	7,8	6,4	6,4	5,7
	0,20	11,8	8,2	6,1	5,6	5,6
СКС-65ГП	0,07	4,5	4,7	4,5	4,4	3,9
	0,10	5,9	5,6	5,0	5,8	4,8
	0,20	5,6	3,5	3,2	2,9	2,7

Проведенные испытания показывают, что с ростом отношения П: Ц возрастает и проявление размягчения полимера во всех составах, выражающееся в снижении прочности и модуля упругости защитного раствора, нанесенного на пенобетон. Так в цементно-полимерном покрытии на основе ПВАД при П: Ц=0,2 прочность при

+110° С, снизилась более чем в два раза, а в составе на основе латекса в 2,2 раза. Однако в диапазоне П: Ц от 0,07 до 0,10 это снижение не существенно, а при температурах до +75°С использование таких растворов для защитных целей вполне оправдано в том числе и исходя из требований долговечности покрытий.

Литература:

1. Гусев, Н. И. Полимерцементные композиции для наружной отделки пенобетонных стен [Текст] / Н. И. Гусев, М. В. Кочеткова, К. С. Паршина // Региональная архитектура и строительство. — 2014. — № 2. — с. 74–78.
2. Гусев, Н. И. Прочностные показатели полимерцементных композитов для наружного покрытия стен из пенобетона [Текст] / Н. И. Гусев, М. В. Кочеткова, К. С. Паршина // Региональная архитектура и строительство. — 2014. — № 4. — С. — 36–40.
3. Гусев, Н. И. Прочность сцепления пенополимерцементных растворов с пенобетонными наружными стенами отапливаемых зданий [Текст] / Н. И. Гусев, М. В. Кочеткова, К. С. Паршина // Региональная архитектура и строительство. — 2014. — № 4. — С. — 52–57.
4. Гусев, Н. И. Методика исследований физико-механических свойств пенополимерцементных растворов для защиты наружных стен из пенобетона [Текст] / Н. И. Гусев, М. В. Кочеткова, А. С. Щеглова // Современная техника и технологии. — 2014. — № 12 (40). — С. — 36–40.
5. Гусев, Н. И. Исследование декоративных свойств поризованных растворов на атмосферные воздействия [Текст] / Н. И. Гусев, М. В. Кочеткова, Е. С. Аленкина // Современная техника и технологии. — 2014. — № 12 (40). — С. — 115–118.
6. Гусев, Н. И. Задачи исследования защитных свойств полимерцементных поризованных растворов для стен из пенобетона [Текст] / Н. И. Гусев, М. В. Кочеткова, А. С. Щеглова // Современные научные исследования и инновации. — 2014. — № 12 (44). — С. — 84–87.

Исследование кристаллического пористого кремния, полученного методом электрохимического травления с использованием подсветки HeNe лазера

Кошевой Вениамин Леонович, магистр
Санкт-Петербургский электротехнический университет "ЛЭТИ"

I. Введение

Пористый кремний (ПК) представляет собой материал с уникальными физико-химическими характеристиками. Известно, что пористый кремний (por-Si) представляет собой достаточно сложную многофазную систему, состав и свойства которой изменяются с течением времени. В настоящее время на основе ПК активно разрабатываются функциональные элементы сверхбольших интегральных схем, оптоэлектронные пары излучатель-приемник, устройства ультразвуковой электроники, солнечные элементы, волноводы, датчики влажности и состава газов, приборы для мониторинга окружающей среды, биосенсоры, биоматериалы, антиотражающие покрытия, фотонные кристаллы, интегральные конденсаторы и т.д. [1–10]. Для объяснения наблюдаемого эффекта были предложены различные модели: межзонная рекомбинация в квантоворазмерных структурах кристаллического или аморфного кремния, рекомбинация на оставшихся продуктах химической реакции, также известна модель фотолюминесценции из-за наличия границ Si-SiO₂ в пористом кремнии, в которой предполагается, что за возникновение ФЛ ответственна граница Si-SiO_x насыщенная дефектами [11].

Целью работы являлось исследование фотолюминесценции пористого кремния полученного электрохимическим травлением с подсветкой.

II. Методика получения пористого кремния в однокамерной ячейке с подсветкой

В качестве исходного материала был использован кремний марки: КЭФ-0.3, а в качестве электролита использовались водные растворы на основе плавиковой кислоты с добавлением изопропанола.

Перед началом эксперимента все образцы кремния были тщательно вымыты. Очистка идет в 3 этапа:

- 1) промывка в ацетоне
- 2) промывка в изопропиловом спирте
- 3) промывка в воде.

Это делается для того чтобы убрать с образца пыль, грязь и другие загрязнения. Так же подвергаются очистке сами установки по тому же принципу. Очистка производится в специальной ультразвуковой ванне.

Получение слоев пористого кремния происходило с помощью проведения подсветки анодной (рабочей) стороны кремния в процессе электрохимического травления в однокамерной электрохимической ячейке, представленной на рисунке 1.

Метод механического контакта

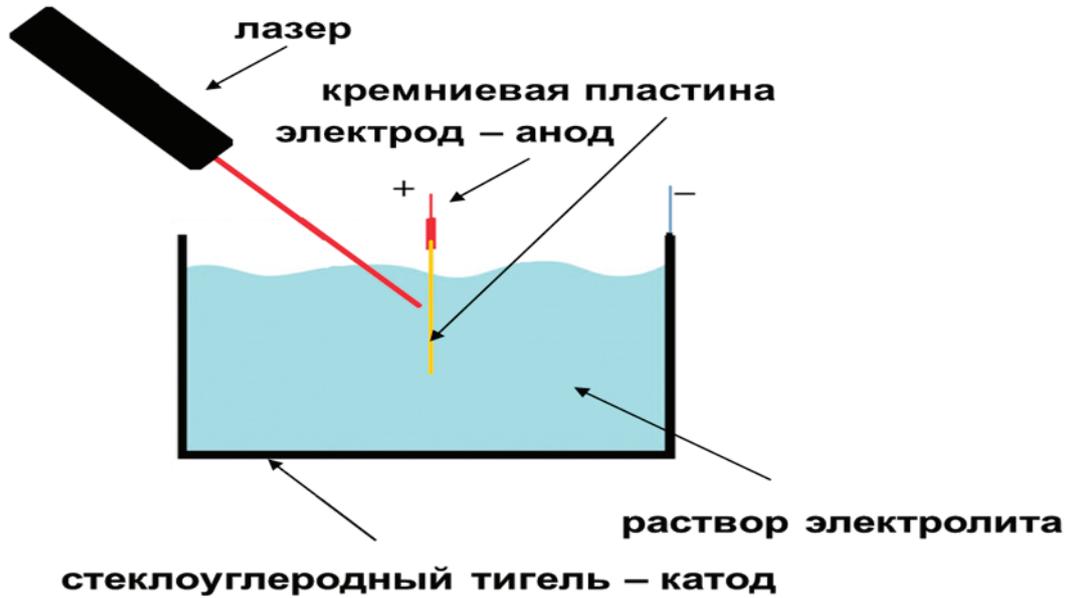


Рис. 1. Принципиальная схема установки с использованием HeNe лазера для засветки

Освещение было осуществлено HeNe лазером на длине волны в 632.8 нм. при интенсивности света 1100 мВт/см².

III. Результаты эксперимента

В результате данного эксперимента был получен образец пористого кремния с двумя областями, каждая из которых имеет различную пористость.

Первая область (1–1, 1–2, 2) соответствует месту прямой засветки, а вторая (3–1, 3–2) с меньшей по-

ристостью, месту падения преломленного луча. Образец был выдержан длительное время на воздухе в лабораторных условиях. В данной работе были получены спектры фотолюминесценции для этих двух областей. Оба спектра имеют максимум на длине волны ~ 635 нм и существенно различаются по интенсивности. Область, подвергшаяся прямой засветке имеет большую интенсивность. Это может быть связано с тем, что в данной месте процесс травления происходил более интенсивно и вследствие этого в данной области размеры наноструктур

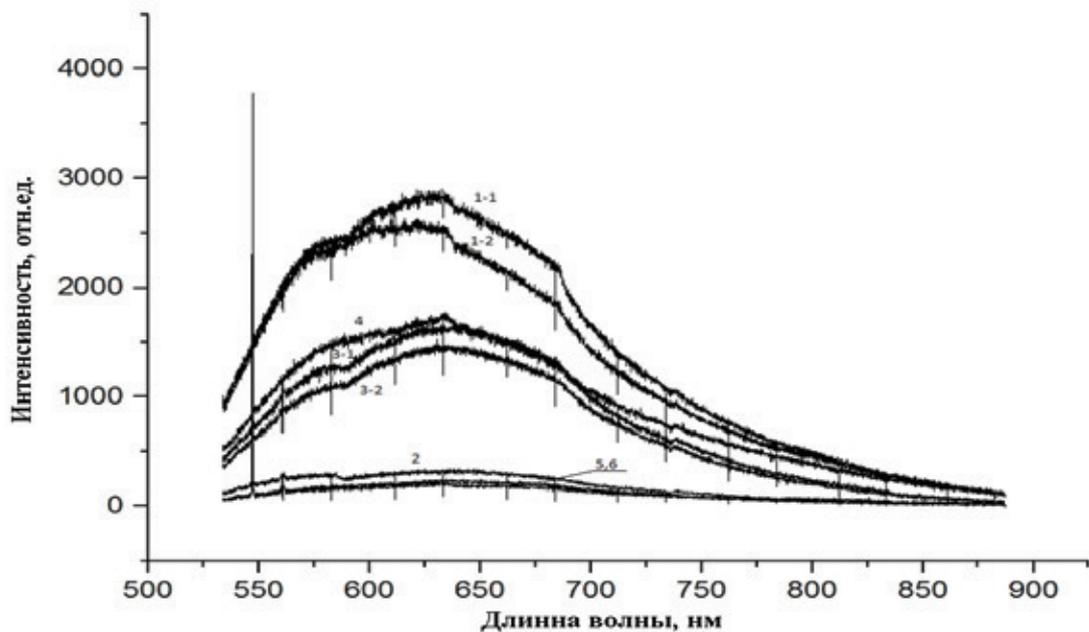


Рис. 2. Спектры фотолюминесценции пористого кремния для различных областей

имеют меньшие размеры. Как известно [11] размер наноструктур, получаемых на поверхности оказывает прямое влияние на положение максимума и интенсивность фотолюминесценции. Также известно, что вклад в фотолюминесценцию может быть обусловлено Si-SiO₂ группами в пористом кремнии и предполагается что за возникновение ФЛ ответственна граница Si-SiO_x насыщенная дефектами.

С уменьшением размера наноструктур максимум ФЛ сдвигается в коротковолновую область (голубую часть) и происходит увеличение интенсивность. Так же ФЛ сдвигается в голубую область по мере травления и окисления так как диаметр нитей уменьшается и вместе с этим падает скорость поверхностной рекомбинации. Положение максимума для П-Si долгое время подверженному окислению на воздухе лежит в области энергии фотонов 1.6–

1.8 эВ (если диаметр нитей и пор $d < 2$ нм то максимум ФЛ стабилизирован и не зависит от размеров наноструктур но для пор до 3 нм — мезопористый кремния, зависимость от размеров наноструктур сохраняется) [12].

На ФЛ влияет интенсивность возбуждаемого света. Если $I_{\text{ф}} = 1$ до 800 мВт/см² то наблюдается линейный рост ФЛ замедляющийся при приближении к 1000 мВт/см² из за низкой теплопроводности П-Si (по действием нагрева ФЛ падает из за роста линии безызлучательной рекомбинации а так же происходит фотостимулированная десорбция водорода который замещает дефекты. Едесорбции = 1.86 эВ (для SiH₂) и 2,82 эВ (для SiH) а это близкие значения к энергиям квантов возбуждающего излучения ФЛ. Деграация П-Si на воздухе связана с эффектом Стэблера-Вронского и Лазерно-стимулированного окисления [12].

Литература:

1. Белорус, А. О. Применение пористого кремния в биомедицине [Текст] / А. О. Белорус // Молодой ученый. — 2013. — № 8. — с. 69–74. (<http://www.moluch.ru/archive/55/7559>)
2. Spivak Yu. M., Maraeva E. V., Belorus A. O., Molchanova A. V., Nigmatzyanova N. R. Preparation and investigation of porous silicon nanoparticles for targeted drug delivery // Smart Nanocomposites, 2014. — v.4. № 1. p. 115–118
3. Получение пористого кремния для применения в адресной доставке лекарств. Ю. М. Спивак, Н. Р. Нигмадзянова, А. О. Белорус // В сб. лучших докладов, сделанных студентами, аспирантами и молодыми учеными на 67-й научно-технической конференции ППС СПбГЭТУ 2014 г., Санкт-Петербург, изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 7 стр.
4. Belorus, A. O., Maraeva E. V., Yu. M. Spivak, V. A. Moshnikov The study of porous silicon powders by capillary condensation // Journal of Physics: Conference Series Journal of Physics: Conference Series 586 (2015) 012017 doi:10.1088/1742-6596/586/1/0120175.
5. .А., О. Белорус, Е. В. Мараева, Ю. М. Спивак Современные методы анализа параметров пористой структуры материалов. Исследование порошков пористого кремния методом капиллярной конденсации. // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ» 2015 г. Санкт-Петербург, изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2. 11–14с.
6. Belorus, A. O., Spivak Yu. M., Moshnikov V. A. THE RESEARCH OF BEHAVIOR OF POWDER POROSILICON NANOPARTICLES USING THE METHOD "DROP PROJECTION" // European Science and Technology materials of the IX International research and practice conference Munich, Germany v.II, December 24–25. 2014.
7. Белорус, А. О. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ НАНОЧАСТИЦ ПОРОШКОВ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ МЕТОДОМ «РАСТЕКАЮЩЕЙСЯ КАПЛИ» В сборнике: СОВРЕМЕННАЯ НАУКА: ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И ПРАКТИЧЕСКИЙ ВЗГЛЯД Сборник статей Международной научно-практической конференции. Ответственный редактор: Сукиасян А. А. Уфа, 2015. с. 3–10.
8. A O Belorus, P A Somov, S S Tulenin, Yu M Spivak, V A Moshnikov Porous silico nanoparticles for target drug delivery: structure and morphology // Journal of Physics: Conference Series Journal of Physics (in print)
9. К. А. Беспалова, А. О. Белорус, Л. В. Шайдаров, А. В. Третьяков Исследование влияния технологических параметров на морфоло-гию поверхности пористого кремния // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ» 2015г (в печати)
10. Н. В. Пермяков, А. О. Белорус, С. С. Туленин, Н. А. Форостяная, В. М. Марков Инертные держатели для синтеза полупроводниковых плёнок // Новости материаловедения. Наука и Техника № 2 (14) 2015
11. Seredin P V 2012 Molodoi Uchenie, in Russia 10 17–23.
12. Ishchenko A A, Fetisov G V, Aslanov L A 2011 Fizmatlit 978–5–9221–1369

Особенности производства фианитов методом гарниссажа

Кравчук Дмитрий Игоревич, магистрант;

Кравчук Владислав Игоревич, студент

Уфимский государственный авиационный технический университет (Республика Башкортостан)

В статье рассматриваются основной метод получения фианитов — метод гарниссажа, рассматриваются преимущества этого метода перед другими, рассматривается способ окраски фианитов.

Ключевые слова: фианит, кристалл, гарниссаж, заменитель алмаза, расплав.

В современном производстве имеется несколько способов получения фианитов, однако мы рассмотрим особенности наиболее отлаженного и широко распространенного метода — метод гарниссажа.

Фианит — это кубический диоксид циркония. В 1976 году был получен первый фианит, у которого показатель преломления и дисперсия были близки к алмазу, что делало невозможным определить на глаз разницу между ними [1]. Визуально фианит в огранке отличается от алмаза скругленными гранями, а у ограненного алмаза грани острые и не скругленные. Иным методом визуально отличить мелкие фианиты от мелких алмазов без разрушения изделия практически невозможно.

Возникает вопрос — если фианит такой хороший заменитель алмаза, так почему же его не стали использовать раньше? Причина заключалась в том, что точка плавления фианита 2000°C, а такой температуры в газопламенной печи достичь не удавалось, а если нагрев был успешен, то поддержание этой температуры было очень сложным. Поддержание температуры выше точки плавления требовалось для того, чтобы обеспечить правильную кубическую форму, так как она, форма, меняется с повышением температуры от комнатной (моноклинная форма) и претерпевает еще несколько формоизменений, пока не достигнет требуемой температуры, при которой кристалл приобретает кубическую форму с характеристиками, близкими к характеристикам алмаза. Однако при остывании форма снова становится моноклинной. Для достижения стабильности кристалла, в его структуру нужно вводить окиси магния, иттрия или кальция, что усложняло техническую реализацию. Поэтому создание кристаллов фианита стало возможным только с появлением новой методики, называемой прямым высокочастотным плавлением в холодном контейнере. Этот метод выращивания кристаллов из расплава был разработан в 1970–1973 г. В. В. Осико, В. И. Александровым и их сотрудниками в Физическом институте им. Лебедева в Москве.

Метод гарниссажа, или прямого высокочастотного плавления в холодном контейнере, использован для получения стабилизированного кубического оксида циркония — фианита [2]. Техническая реализация данного метода представлена на рис.1 и рис.2. Сущность метода заключается в следующем: шихта помещается в тигель (холодный контейнер), температура которого с помощью

потока воды проходящей через трубки, поддерживается на уровне комнатной. Высокочастотный генератор подает энергию к порошку окиси циркония, достаточную для того, чтобы расплавить центральную его часть, тогда как внешняя часть остается холодной и, следовательно, твердой.

Расплавленная окись циркония окружена коркой того же самого материала (кубический цирконий выращивается в оболочке из самого себя). При его кристаллизации в качестве своеобразных стенок тигля используется кристаллическая оболочка самого полученного вещества. Это очень важно для выращивания кристаллов кубического циркония, поскольку из-за высокой точки его плавления трудно подобрать тигель: он будет либо реагировать с расплавом, либо плавиться.

Тигель должен быть сконструирован так, чтобы нагревалась только окись, а он оставался холодным. Это достигается за счет внесения в его стенки медных трубок, по которым циркулирует вода.

Передача энергии от высокочастотного генератора к окиси циркония осуществляется с помощью индуктора, окружающего тигель. В этом случае процесс плавления является индукционным, который происходит только тогда, когда материал является электропроводным. Электропроводность материала обеспечивается за счет высоких температур, добавления в шихту металлического циркония, стабилизирующих веществ и дефицита кислорода.

Подача энергии к образцу продолжается до тех пор, пока шихта полностью не расплавится, за исключением тонкой оболочки вблизи контакта с холодным тиглем. Для того чтобы кристаллы росли, мощность высокочастотного нагревателя медленно снижают. Это также связано с формой и их количеством — при быстром остывании может произойти поликристаллизация неправильной формы. Затвердевание начинается снизу, хотя в начальные стадии образуется твердая корка и в верхней части расплава. После охлаждения расплава до комнатной температуры из затвердевшей массы можно выделить столбчатые кристаллы до 2 см в диаметре и такой же высоты. Можно получить кристаллы желтого, красного, сиреневого, коричневого и, вероятно, других цветов добавлением церия, неодима, хрома, эрбия и титана, но все же наиболее популярны бесцветные, похожие на алмаз кристаллы со слегка желтоватым оттенком.



Рис. 1. Схема синтеза кубической окиси по методу прямого высокочастотного плавления в холодном контейнере



Рис. 2. Расположение кристаллов внутри контейнера после охлаждения

Существуют несколько методов окраски фианита. Сущность одного из методов заключается в предварительном нанесении на поверхность кристалла кобальта и, по меньшей мере, одного металла, окисел которого способен к шпинелеобразованию с окисью двухвалентного кобальта, например железо и/или алюминий. Затем в кислородосодержащей атмосфере проводят термообработку при температуре выше 1000°C , но не превышающей температуру плавления фианита, не менее 3 часов. Преимущественно покрытие наносят методом термического распыления металлов в вакууме. Упомянутые металлы могут наносить как поочередно, так и одновременно. Для придания фианиту окраски сине-зеленой гаммы наносят кобальт и алюминий с атомным соотношением от 1:1 до

1:2. Для придания фианиту окраски желто-зеленой гаммы наносят кобальт, алюминий и железо с атомным соотношением 1:1:0,1–0,2. Для придания фианиту окраски желто-коричневой гаммы наносят кобальт и железо в атомном соотношении от 1:1 до 1:2. Способ обеспечивает получение устойчивой к высоким температурам и химическому воздействию воспроизводимой окраски.

Экспериментально установлено, что для получения прозрачной окрашенной и прочно сцепленной с поверхностью фианита пленки необходимо наличие как минимум двух металлов, окисляющихся в процессе термообработки. Одним из металлов должен быть кобальт, поскольку только он способен образовывать переходный слой, прочно сцепленный с поверхностью фианита. Другими на-

носимыми металлами должны быть металлы, образующие с кобальтом при термообработке в кислородосодержащей атмосфере цветные сложные шпинелеобразные окислы с общей формулой $Co (Me) 2O_4$, где Me — один или несколько металлов, образующих окислы с формулой $Me 2O_3$, устойчивые при температуре свыше $1000^{\circ}C$. Этому условию удовлетворяют, например, железо и алюминий, так как окислы алюминия и железа способны к шпинелеобразованию с окисью двухвалентного кобальта.

При нанесении на поверхность фианита кобальта и, по меньшей мере, одного металла, окислы которого способны к шпинелеобразованию с окисью двухвалентного кобальта, в результате твердофазной химической реакции, протекающей при термообработке, образуется прозрачная окрашенная пленка, прочно сцепленная с поверхностью фианита и придающая ему требуемый цвет. Окрашенная пленка из шпинелеобразных окислов имеет температуру плавления выше, чем температура плавления фианита, а также не растворяется в концентрированных кислотах.

Предложенный режим термообработки определяется тем, что при температурах ниже $600-700^{\circ}C$ химическая реакция на поверхности фианита не происходит. В диапазоне от $700^{\circ}C$ до $1000^{\circ}C$ на цвете пленки сильно сказывается неоднородность температурного поля в печи, что не позволяет получать воспроизводимую окраску. При температуре выдержки от $1000^{\circ}C$ и до температуры, не превышающей температуру плавления фианита, цвет фианита определяется только количеством и соотношением нанесенных металлов и толщиной окрашивающей пленки, причем окрашивающие пленки получаются прозрачными и прочно сцепленными с поверхностью фианита. [3]. Данный способ является предпочтительным ввиду своей небольшой энергоемкости, низкой стоимости и качества нанесенного цвета

Литература:

1. Короновский, Н. В. Общая геология. Учебник. — М.: КДУ, 2006. — 528 с.
2. Булах, А. Г. Общая минералогия. Изд. второе, испр. и перераб.: Учебник. — СПб.: Издательство Санкт — Петербургского ун-та, 1999 г.
3. Патент РФ № 2296825 «Способ окрашивания фианитов»

В СССР кубический циркон производился физическим институтом им. Лебедева и с 1976 г. широко продавался под названием «фианит». Несомненно, что многие компании мира захотели включиться в коммерческое производство кубических цирконов, которые уже заполнили ювелирный рынок всего мира синтетическими цирконами. Он сразу завоевал всеобщее признание как в технике, так и в ювелирной промышленности. Из него изготавливают высококачественные линзы для оптических приборов и очков, так как благодаря высокому показателю преломления почти плоские линзы обеспечивают высокую степень увеличения, а также оптические устройства для квантовых генераторов. Фианит химически стоек в агрессивных средах, тугоплавок, не окисляется и не испаряется при температурах более $2500^{\circ}C$. Он является изолятором, но при нагревании до температуры более $300^{\circ}C$ становится проводником.

Уменьшение стоимости кристаллов фианита и увеличение его производства, отвечающих по качествам и требованиям ювелиров, пытаются путем применения других методов синтеза. Возможно получение фианитов из раствора-расплава, поскольку уже испытано несколько солевых растворителей, пригодных для выращивания кристаллов, однако медленные скорости роста — существенная помеха для экономически выгодного способа, конкурирующего с технологией выращивания из расплава. Делаются попытки использовать альтернативные способы достижения высоких температур, например, с помощью мощных ламп и лазеров или ионизированной плазмы. Однако лучшей является советская технология, любое отклонение от первоначальной технологии ухудшает качество кубических цирконов. Популярность их привела к изучению и других материалов с высокой точкой плавления как возможных заменителей алмаза.

Сопряжённый теплообмен при движении вязкой несжимаемой жидкости в полости прямоугольного типа с учётом охлаждения внешней границы донной поверхности

Крайнов Александр Валерьевич, кандидат физико-математических наук, доцент;
Пашков Евгений Николаевич, кандидат технических наук;
Лушников Роман Эдуардович, студент
Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Проведено численное моделирование движения вязкой несжимаемой неизотермической жидкости в прямоугольной полости с учётом теплоотвода через внешнюю границу дна выемки. Получены гидродинамическая картина течения жидкости и температурные профили для твёрдой и жидкой фаз. Изучено влияние условий теплообмена на характер движения теплоносителя.

Ключевые слова: *сопряжённый теплоперенос, гидродинамика, технологическая полость, вязкая несжимаемая неизотермическая жидкость, численное моделирование.*

Интерес к исследованию конвективных течений с различными условиями теплообмена в полостях различных типов обусловлен широким прикладным значением проблемы. Большое количество теплотехнических устройств используются в энергетических установках и системах, производственных процессах различного уровня сложности. Необходимость изучения данных процессов обусловлена развитием таких энергоёмких отраслей промышленности, как энергетическая, металлургическая, химическая и многих других [1–5].

В данной работе рассматривается нестационарное взаимодействие жидкости с открытой прямоугольной полостью (рис. 1). Изучается процесс движения расплава металла в камере с учётом теплообмена с её стенками и омывающей средой. Цель данной работы — исследовать гидродинамику и сопряжённый теплообмен при движении вязкой несжимаемой неизотермической жидкости в полости в условиях охлаждения внешней границы дна выемки. Ранее [6–8] были решены аналогичные задачи с условиями теплоизоляции на внешних границах полости.

Постановка задачи. Изучение описанного процесса проводилось с использованием математической модели на основе системы уравнений Навье-Стокса в переменных вихрь-функция тока, уравнения энергии, уравнения теплопроводности для материала полости с соответствующими начальными и граничными условиями

$$\frac{\partial \omega}{\partial \tau} + U \frac{\partial \omega}{\partial X} + V \frac{\partial \omega}{\partial Y} = \frac{1}{\text{Re}} \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial Y^2} \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial Y^2} = \omega \quad (2)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} + U \frac{\partial \theta}{\partial X} + V \frac{\partial \theta}{\partial Y} = \frac{1}{\text{Re} \cdot \text{Pr}} \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2} \right) \quad (3)$$

$$\frac{\partial^2 \theta_1}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta_1}{\partial Y^2} = \frac{\partial \theta_1}{\partial \text{Fo}} \quad (4)$$

Система уравнений (1)-(4) сформулирована по аналогии с постановками задач в преобразованных переменных " ω - ψ " [9], применявшимися для моделирования процессов тепломассопереноса в условиях свободной и смешанной конвекций [10, 11] и интенсивных фазовых превращений [12, 13].

Здесь Fo — число Фурье; Re — число Рейнольдса; Pr — число Прандтля; θ — безразмерная температура жидкости; θ_1 — безразмерная температура материала полости; X, Y — безразмерные декартовы координаты; U, V — безразмерные продольная и поперечная составляющая скорости движения жидкости соответственно; ω, ψ — переменные вихрь — функция тока.

На нижней границе ($y = S, D < x < L$) и боковой ($x = D, S < y < H$) выставляется условие непротекания, прилипания, а также граничное условие четвёртого рода для уравнения энергии (задача решена в сопряжённой постановке).

Условия неразрывности тепловых потоков и непротекания заданы на линии симметрии ($x = L, S < y < H$). На участке выхода выставлялись условия «сноса» и «мягкое» граничное условие для скорости и температуры соответственно [9].

На внешних границах полости заданы условия теплоизоляции, за исключением донной области ($y = 0, 0 < x < L$), на которой принято граничное условие третьего рода (моделируется интенсивный теплообмен с внешней средой):

$$\frac{\alpha \delta_y}{\lambda} \Delta \theta = - \frac{\partial \theta_1}{\partial Y}.$$

В граничных условиях и на рис.1 приняты следующие обозначения: x, y — размерные декартовы координаты; L — линейный размер полости по координате x ; H — линейный размер полости по координате y ; D — линейный размер стенки полости по координате x ; S — линейный размер стенки полости по координате y ; $\Delta \theta$ — разность безразмерных температур между внешней границей ($y = 0, 0 < x < L$) и окружающей средой; α — коэффициент теплоотдачи; λ — коэффициент теплопроводности; δ_y — толщина стенки по координате y ; u, v — размерные продольная и поперечная составляющая скорости движения жидкости соответственно; T^0, v^0 — начальные размерные значения температуры и скорости.

Решена система уравнений Навье-Стокса в переменных функция тока-вихрь, уравнение энергии и уравнение теплопроводности методом конечных разностей [9]. Разностные аналоги уравнений переноса и теплопроводности решены методом прогонки [9]. Уравнение Пуассона на каждом временном слое решалось методом последовательной верхней релаксации. Использовалась разностная схема второго порядка точности.

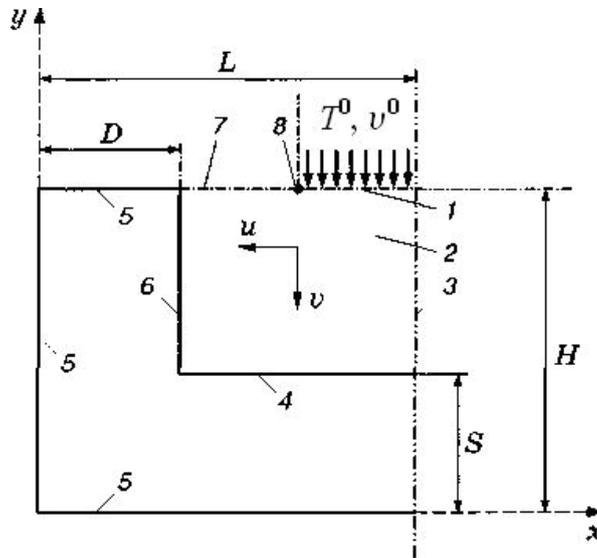


Рис. 1. Общая схема течения в полости и геометрия расчётной области (1–8): 1, 7 — проницаемые участки (участки затекания и выхода соответственно); 2 — гидродинамическая область; 3 — линия симметрии; 4, 6 — внутренние поверхности; 5 — внешние поверхности; 8 — граница раздела между проницаемыми участками.

Вычисления выполнялись на равномерной и неравномерной разностных сетках. Оценка достоверности результатов численного моделирования проводилась проверкой консервативности использовавшейся разностной схемы аналогичным методом, применявшимся в [14, 15].

Анализ полученных результатов. В процессе проведения численного исследования рассматривалась жидкость разных типов (вода, расплавленный свинец, жидкая сталь, мазут) с широким диапазоном изменения динамического параметра Re и параметров модели. В данной статье представлены результаты математического моделирования описанных процессов для жидкой стали. На рис.2–4 приведены типичные результаты численных исследований.

Как следует из анализа установившегося поля течения для различных вариантов геометрических характеристик полости выделяется два этапа. К первому этапу относится движение жидкости от участка входа до нижней границы полости. На втором этапе движется жидкость от дна полости до выходного участка, образуя область возвратного течения с рециркуляционными зонами. Характерные области прямого и возвратного течения, соответствующие описанным этапам движения жидкости в выемке, отражены на рис.2.

Анализ полученных результатов показывает, что характер распределения поперечной составляющей скорости качественно сохраняется на первом этапе движения. На втором этапе происходит изменение характера распределения, обусловленное как возвратным течением жидкости, так и влиянием её динамических параметров и геометрических характеристик полости. С увеличением числа Рейнольдса

в условиях теплоотвода через нижнюю внешнюю границу (донную) профиль поперечной составляющей скорости в начальных сечениях полости становится более заполненным и близким к постоянному значению. Формируется два максимума прямого и возвратного течений, которые начинают смещаться (это хорошо видно при сравнении рассмат-

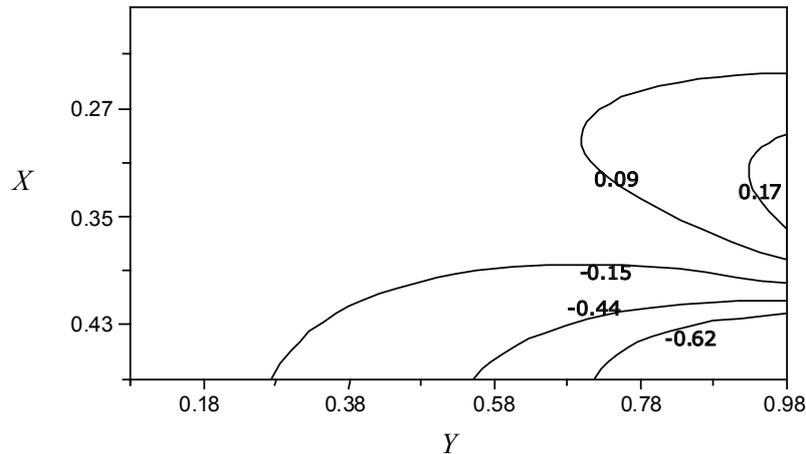


Рис. 2. Изолинии поперечной составляющей скорости в момент времени $Fo=6,0 \cdot 10^{-2}$ при числе $Re=500$ и геометрическом отношении сторон полости $L/H=1/2$

риваемых профилей в условиях теплоизоляции внешних границ полости) вдоль координаты X в сторону боковой поверхности.

При движении жидкости к основанию выемки поперечная составляющая скорости падает в условиях роста продольной составляющей (рис.3). На возвратном этапе движения к выходному участку продольная составляющая скорости падает, а функция V от X начинает возрастать, что хорошо иллюстрирует физическое представление о природе протекающего процесса.

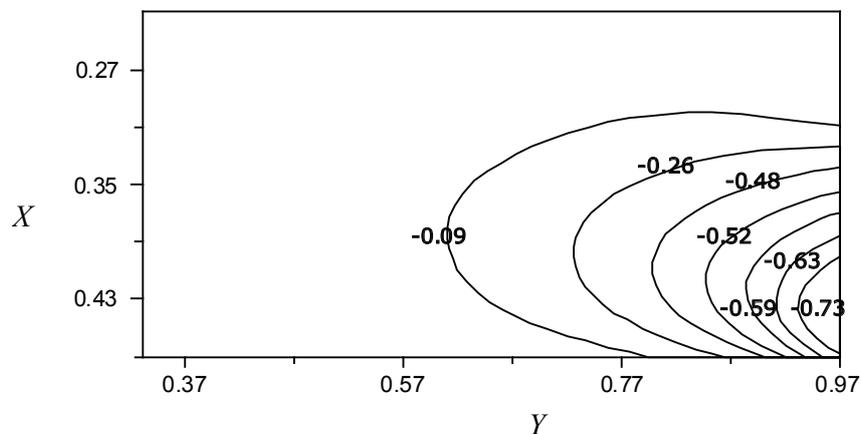


Рис. 3. Изолинии продольной составляющей скорости в момент времени $Fo=6,0 \cdot 10^{-2}$ при числе $Re=500$ и геометрическом отношении сторон полости $L/H=1/2$

Из рис.2, 3 следует, что по мере приближения жидкости к основанию выемки поперечная скорость падает при возрастании продольной составляющей. На возвратном участке движения поперечная составляющая скорости начинает расти.

Рассматривалось влияние на характеристики течения длины входного участка (α). На рис.4 приведено распределение поперечной составляющей скорости для разных размеров входного участка: 1) $\alpha=0.22\alpha_*$ (сплошные линии); 2) $\alpha=0.38\alpha_*$ (штриховые).

Здесь α_* — обозначение полной длины проницаемого участка полости $y = H, D < x < L$. Представленные кривые 1 и 2 соответствуют функции $V(X)$ в сечениях $Y=0.69$ и $Y=0.37$. С увеличением длины входного участка максимальное значение поперечной скорости незначительно уменьшается на проницаемых участках полости, особенно это хорошо фиксируется в начальных сечениях. С уменьшением длины входного участка максимальное значение функции $U(X)$ по сечениям начинает уменьшаться и меняется характер её распределения.

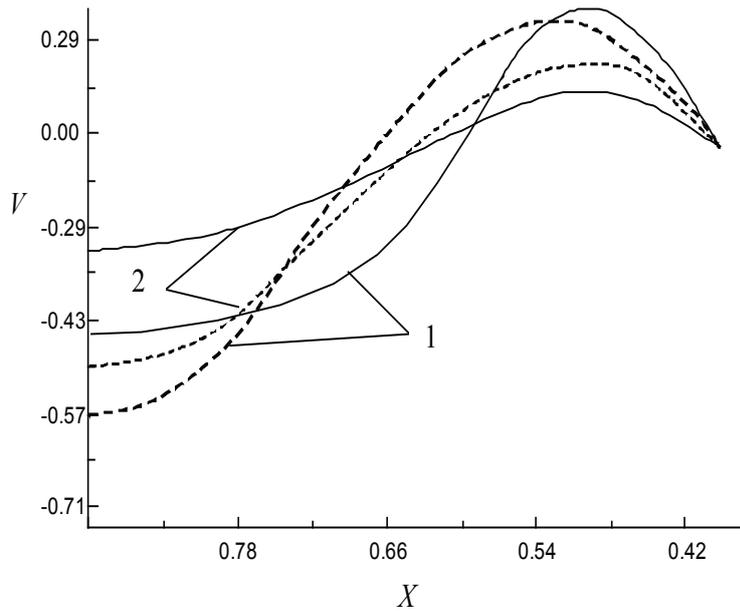


Рис. 4. Распределение поперечной составляющей скорости для разных размеров участка затекания в полость: 1) $\alpha=0.2\alpha^*$ (сплошные линии); 2) $\alpha=0.31\alpha^*$ (штриховые линии). Кривые 1 соответствуют значениям поперечной составляющей скорости в сечении $Y=0.69$; 2- $Y=0.37$

На рис.5 представлены распределения температуры в твёрдой и жидкой фазах в плоскости X, Y в момент времени $Fo=6,0 \cdot 10^{-2}$ при $Re=500, Pr=0.979$ и геометрическом отношении сторон полости $L/H=1/2$. В условиях теплоотвода через внешнюю нижнюю поверхность полости характер распределения температуры в жидкой фазе по сечениям носит значительно более выраженный характер, чем в твёрдой.

Характер температурных распределений в жидкой и твердой фазах качественно сохраняется с изменением динамических параметров, размеров входного участка и геометрических отношений. Диапазон изменения температуры в условиях внешнего теплообмена для рассматриваемых процессов значительно увеличивается, что оказывает достаточно существенное влияние на формирование структуры течения жидкости.

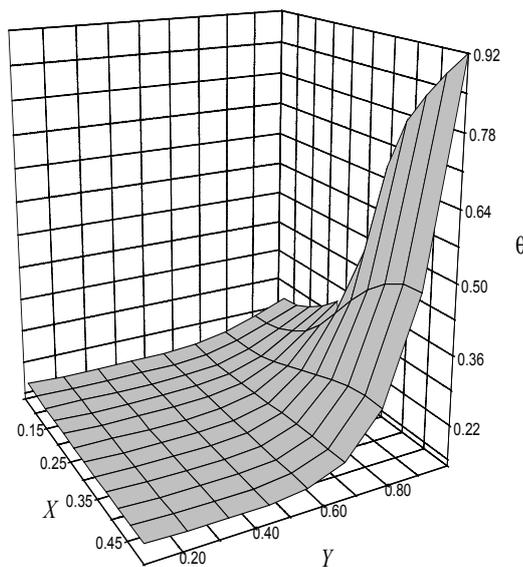


Рис. 5. Распределения температуры в твёрдой и жидкой фазах на плоскости X, Y в момент времени $Fo=6,0 \cdot 10^{-2}$ при $Re=500, Pr=0.979$ и геометрическом отношении сторон полости $L/H=1/2$

Выводы:

Результаты численного анализа позволяют оценить влияние охлаждения внешней поверхности дна полости на условия теплообмена и гидродинамическую картину течения теплоносителя.

Проведённые исследования позволяют сделать вывод о возможности расширения области применения математического аппарата [6–8] для решения сопряжённых задач о конвективных течениях в открытых полостях с более сложными геометриями и условиями теплообмена на внешних границах.

Литература:

1. Рыкалин, Н. Н., Углов А. А., Анищенко Л. М. Высокотемпературные технологические процессы. Теплофизические основы. — М.: Наука, 1985. — 172с.
2. Махнова, Г. В., Рис В. В., Смирнов Е. М. Двумерная ламинарная свободная конвекция в полости, имеющей форму квадрата со скругленными углами // Свободная конвекция. Тепломассообмен при химических превращениях. Тр. Второй Рос. нац. конф. по теплообмену. — М.: МЭИ, 1998. — Т. 3. — с.100–103.
3. Fedorov, A. G., Viskanta R. Three-dimensional conjugate heat transfer in the microchannel heat sink for electronic packaging // J. Heat Mass Transfer. — 2000. — № 43. — p.399–415.
4. Krainov, A. V. Conjugate heat exchange for a viscous incompressible fluid moving in a rectangular cavity under conditions non-uniformity phase characteristics // Proceedings of International Conference Conjugate problems of mechanics, computer science and ecology. — 2004. — p.302–303
5. Kuznetsov, G. V., Sheremet M. A. Modelling of non-stationary heat transfer in closed area with a local heat source // J. Thermophysics and Aeromechanics. — 2005. — v.12. — № 2. — p.287–295.
6. Крайнов, А. В. Численный анализ сопряжённого тепломассопереноса и гидродинамики при движении вязкой несжимаемой жидкости в открытой полости в условиях вынужденной конвекции // Известия Томского Политехнического Университета. — 2003. — т. 306. — № 2. — с.84–89
7. Kuznetsov, G. V., Krainov A. V., Shvalova G. V. Conjugate heat exchange and hydrodynamics for a viscous incompressible fluid moving in a cavity with the consideration phase nonuniformity characteristics // В мире научных открытий. — 2010. — № 6.1 (12). — с.119–122
8. Kuznetsov, G. V., Krainov A. V. Conjugate heat exchange and hydrodynamics for a viscous incompressible fluid moving in a rectangular cavity // J. Applied Mechanics and Technical Physics. — 2001. — v.42. — № 5. — p.851–856.
9. Пасконов, В. М., Полежаев В. И., Чудов Л. А. Численное моделирование процессов тепло- и массообмена. — М.: Наука, 1984. — 288 с.
10. Kuznetsov, G. V., Sheremet M. A. Mathematical modelling of complex heat transfer in a rectangular enclosure // J. Thermophysics and Aeromechanics. — 2009. — v.16. — № 1. — p.119–128.
11. Kuznetsov, G. V., Sheremet M. A. New approach to the mathematical modelling of thermal regimes for electronic equipment // J. Microelectronics. — 2008. — v.37. — № 2. — p.131–138.
12. Kuznetsov, G. V., Strizhak P. A. 3D problem of heat and mass transfer at the ignition of a combustible liquid by a heated metal particle // J. Engineering Thermophysics. — 2009. — v.18. — № 1. — p.72–79.
13. Kuznetsov, G. V., Strizhak P. A. The influence of heat transfer conditions at the hot particle-liquid fuel interface on the ignition characteristics // J. Engineering Thermophysics. — 2009. — v.18. — № 2. — p.162–167.
14. Vysokomornaya, O. V., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Simulation of the ignition of liquid fuel with a local source of heating under conditions of fuel burnout // J. Physical Chemistry. — 2011. — v.5. — № 4. — p.668–673.
15. Kuznetsov, G. V., Strizhak P. A. Heat and mass transfer at the ignition of a liquid substance by a single «hot» particle // J. Engineering Thermophysics. — 2008. — v.17. — № 3. — p.244–252.
16. Тарунин, Е. Л. Вычислительный эксперимент в задачах свободной конвекции. — Иркутск: Изд-во Иркут.ун-та, 1990. — 225 с.
17. Самарский, А. А., Вабищевич П. Н. Вычислительная теплопередача. — М.: Едиториал УРСС, 2003. — 784 с.

Эквалайзирование канала данных системы LTE с частотно-селективными замираниями и аддитивным гауссовым шумом

Крюков Яков Владимирович, аспирант;

Ушарова Дарья Николаевна, аспирант;

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Вершинин Александр Сергеевич, кандидат технических наук

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

В статье получен результат эквалайзирования сигнала, прошедший канал передачи с частотно-селективными замираниями и аддитивным гауссовым шумом в системе LTE методом интерполяции кубическим сплайном. Представлена системная модель, позволяющая исследовать влияние канала передачи на синхронизацию и опорные сигналы системы LTE. Показана эффективность интерполяции методом кубического сплайна.

Ключевые слова: интерполяция кубическим сплайном, эквалайзирование, LTE, математическая модель.

Технология ортогонального частотного разделения каналов (OFDM — Orthogonal frequency division multiplexing) [1] используется во многих системах связи следующего поколения, таких как Long Term Evolution (LTE) [2] и Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) [3]. Она не только обеспечивает высокую скорость передачи информации, но и имеет высокую устойчивость к частотно-селективным замираниям в канале. Частотно-селективные замирания возникают в том случае, когда приемник принимает несколько копий одного и того же сигнала, которые имеют отличный друг от друга пространственный путь и, соответственно, задерживаются на величину времени, которая зависит от разности путей прохождения между прямым лучом и его копиями, что приводит к проблеме демодуляции сигнала.

В технологии LTE для оценки канала передачи рассмотрены специальные опорные сигналы (Reference Signal, RS). Существует несколько видов опорных сигналов. В данной работе рассматривается только основной опорный сигнал, определяющий ячейку (Cell-Specific), так как этот сигнал передается в любом случае, независимо от того, есть ли подключенные к сети абоненты или нет. Остальные виды RS являются вспомогательными. Задачей эквалайзера является наиболее точное сглаживание спектра OFDM-символа по принятым сигналам RS. Приемнику заранее известен вид RS и его расположение в ресурсной сетке, поэтому приемнику не составляет труда выделить RS в частотной плоскости. Далее, для определения влияния канала нужно определить разницу между принятым и изначальными сигналами RS.

Технология LTE была выбрана для систем связи следующего поколения (4G), однако, на данный момент существует мало информации о том, как те или иные методы эквалайзирования влияют на правильную демодуляцию данных. В этой статье приведены результаты оценки канала передачи методом интерполяции кубическим сплайном [4], а также влияние разных каналов передачи на различные методы цифровой модуляции. Метод интер-

поляции кубическим сплайном был выбран потому, что он является одним из самых распространенных и простых в реализации методов. Целью данной статьи является исследование применения метода интерполяции кубическим сплайном для эквалайзирования в системе LTE.

Канал передачи, H&AWGN: Канал с частотно-селективными замираниями и белым гауссовым шумом. Модель канала состоит из двух частей: реализация частотно-селективных замираний и добавление белого гауссова шума.

Реализация частотно-селективных замираний: реализована с помощью задержки каждого луча на определенное количество отсчетов:

$$S_H = Y + T,$$

где S_H — вектор сигнала — OFDM символ с частотно-селективными замираниями;

Y — вектор сигнала — OFDM символ без частотно-селективных замираний;

T — отсчеты задержки.

Реализация аддитивного белого гауссова шума: реализована с помощью встроенного в MatLab генератора AWGN (Additive white Gaussian noise) [5]. Измеряется мощность сигнала в дБ и в зависимости от заданного отношения сигнал/шум (SNR — Signal-to-noise ratio), генерируется шум с определенной из SNR мощностью, после этого вектор сигнала складывается с вектором шума:

$$S_{H+W} = S_H + W,$$

где S_{H+W} — вектор сигнала — OFDM символ после канала передачи;

S_H — вектор сигнала — OFDM символ с частотно-селективными замираниями;

W — вектор белого гауссова шума.

Выделение RS и оценка канала: В приемнике генерируется такой же опорный сигнал, как и в передатчике. Приемник проходит первичную и вторичную синхронизацию, по которой он определяет конфигурацию сети LTE

и становится ему известно расположение в принятом сигнале опорных сигналов. Для оценки канала и выделения RS нужно провести следующую операцию:

$$R_{SH} = D_S \times RS_{GEN}$$

где RS_H — вектор отсчетов АЧХ канала передачи;
 D_S — вектор отсчетов принятого сигнала в частотной области;
 RS_{GEN}^* — вектор комплексно-сопряженных отсчетов опорного сигнала, корректно отображенные на частотной сетке.

Эквалайзирование сигнала выполняется по следующей формуле:

$$D_{EQ} = \frac{D_S}{RS_{INTERP}}$$

где D_{EQ} — вектор эквалайзированных отсчетов сигнала в частотной области;

D_S — вектор отсчетов принятого сигнала в частотной области;

RS_{INTERP} — вектор отсчетов передаточной характеристики канала, полученные с помощью интерполяции.

Структура модели OFDM, в рамках которой проведено эквалайзирование канала, представлена на рисунке 1.

В работе использованы модели каналов, в соответствии с рекомендациями [6] для тестирования аппаратуры системы LTE:

- EPA — Extended Pedestrian A model — модель “пешехода”.
- EVA — Extended Vehicular A model — модель “автомобиля”.

– EТУ — Extended Typical Urban model — модель “города”.

Для каждой из этих моделей определено количество путей прохождения луча, его задержка и ослабление, характеристики которых приведены в таблице 1 [6].

Моделирование проводилось в среде Matlab Simulink. Для этого была выбрана следующая конфигурация сети LTE [7], параметры которой приведены в таблице 2.

Результатом моделирования является график зависимости вероятности битовой ошибки (BER — bit error rate) от отношения сигнал/шум (SNR) для каждой из видов модуляции и для разных моделей каналов, приведенный на рис. 2. Для расчета каждой вероятности передается минимум 10^6 бит.

Как видно из рис. 2 каналы передачи оказывают существенное влияние на корректную демодуляцию данных. С увеличением индекса модуляции увеличивается скорость передачи информации, но так же увеличивается и требование к каналу передачи. Заметим, что при модуляции 16-QAM и 64-QAM и канала передачи EТУ, метод эквалайзирования кубическим сплайном не дает нужного результата. Этот результат так же находит подтверждение в работе, где для канала EТУ сделан вывод о том, что при данном методе интерполяции, корректная демодуляция 16QAM и 64QAM невозможна. Демодуляция считается корректной, если вероятность битовой ошибки меньше 10^{-6} , в противном случае считается, что состояние канала передачи не подходит для выбранного вида модуляции. Например, в случае модуляции 16QAM, в канале EPA требуется отношение сигнал/шум не меньше 33 дБ.

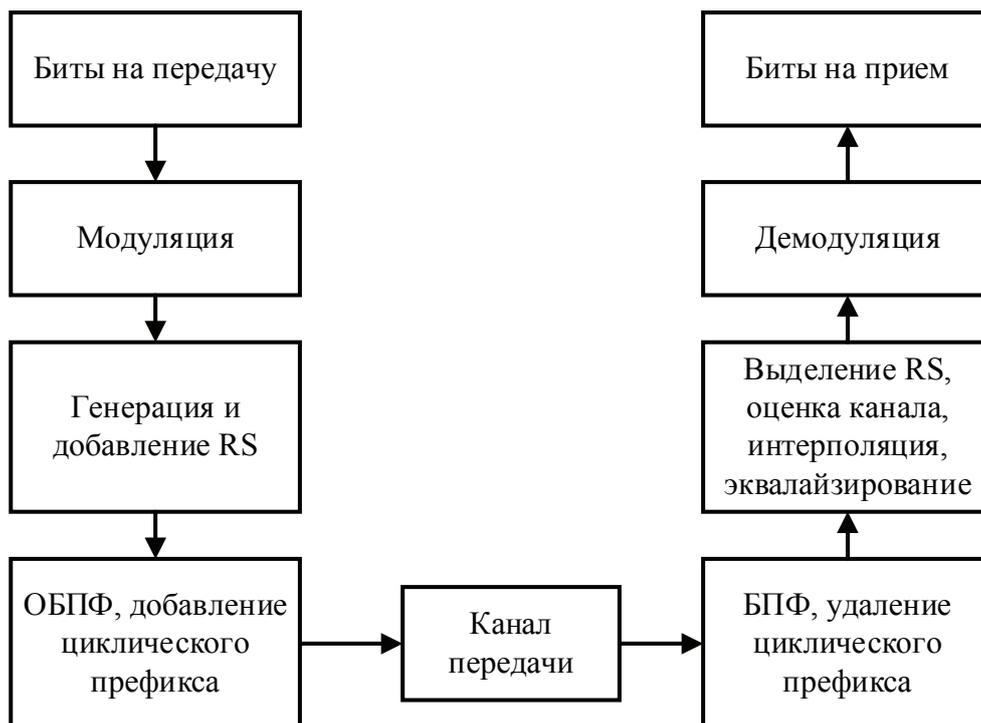


Рис. 1. Структура модели OFDM передатчика/приемника

Таблица 1. Характеристики моделей каналов передачи

Номер луча	EPA		EVA		ETU	
	Временная задержка (нс)	Ослабление мощности (дБ)	Временная задержка (нс)	Ослабление мощности (дБ)	Временная задержка (нс)	Ослабление мощности (дБ)
1	0	0.0	0	0.0	0	-1.0
2	30	-1.0	30	-1.5	50	-1.0
3	70	-2.0	150	-1.4	120	-1.0
4	90	-3.0	310	-3.6	200	0.0
5	110	-8.0	370	-0.6	230	0.0
6	190	-17.2	710	-9.1	500	0.0
7	410	-20.8	1090	-7.0	1600	-3.0
8	нет	нет	1730	-12	2300	-5.0
9	нет	нет	2510	-16.9	5000	-7.0

Таблица 2. Параметры конфигурации сети LTE

Параметры конфигурации сети LTE	Значение
Полоса частот	15 МГц
Частота дискретизации	30.72 МГц
Количество активных поднесущих	900
Количество поднесущих с данными	750
Период чередования опорных поднесущих	6
Количество опорных поднесущих	150
Циклический префикс	144 отсчета
Модуляция	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM
Размер БПФ	2048
Количество передающих/приемных антенн	1/1

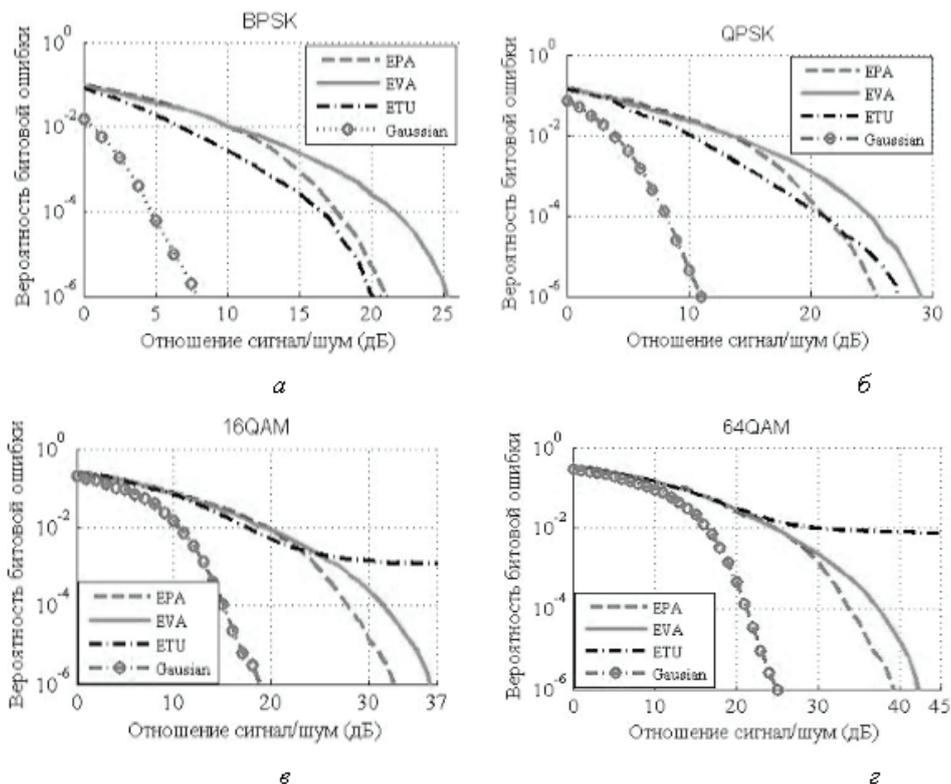


Рис. 2. Вероятность битовой ошибки в зависимости от отношения сигнал/шум: а — модуляция BPSK; б — модуляция QPSK; в-модуляция 16QAM; г — модуляция 64QAM

В статье приведен результат эквалайзирования в системе LTE методом интерполяции кубическим сплайном для канала с частотно-селективными замираниями и аддитивным гауссовым шумом. Результаты моделирования показывают, что данный метод интерполяции может быть применим для систем LTE. Улучшение результатов эквалайзирования может быть достигнуто путем применения другого метода интерполяции. Так же, существуют специальные дополнительные опорные сигналы, которые предоставляются индивидуально конкретной абонентской станции в случае необходимости. Это может привести к более точной оценке канала.

Работа выполнена за счет средств субсидии в рамках реализации Программы повышения конкурентоспособности ТПУ.

Литература:

1. Nee, R., Prasad R. OFDM for wireless multimedia communications. — Artech House, Inc., 2000.
2. Технология LTE [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.3gpp.org/LTE>, свободный (дата обращения 10.03.2014).
3. Технология WiMAX [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.netdocs.ru/articles/wimax-part1.html>, свободный (дата обращения: 10.03.2014).
4. Бутусов, П. Н. Интерполяция. Методы и компьютерные технологии их реализации. — СПб.: БХВ-Петербург, 2004. — 320 с.
5. Быков, В. В. Цифровое моделирование в статистической радиотехнике. — Советское радио, 1971.
6. 3GPP TS 36.104, version 9.4.0, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA), Base station (BS) radio transmission and reception, 2010.
7. 3GPP TS 36.211, version 9.1.0, 3rd Generation Partnership Project, Technical Specification Group Radio Access Network, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA), Physical Channels and Modulation, 2010.

Определение механических воздействий гидротехнических сооружений с помощью оптических волоконных датчиков

Курбанов Комил;

Очилов Лазиз Ибодович, ассистент

Бухарский филиал Ташкентского института ирригации и мелиорации (Узбекистан)

Определение и постоянное контроль механических воздействий типа давление, механических напряжений, различные деформации являются важным фактором при строение гидротехнических сооружений. Точность и диапазон определение физических параметров механическое и электромагнитное датчиков существенно расширился после появление мощных источников света, как лазеров.

Изучение процессов взаимодействие когерентных излучение с прозрачной средой, особенно с оптические волокна резко расширил область практической применение световодов. В настоящее время оптические волокна применяются не только в телекоммуникационное технике, а нашёл широкой применение в отраслях науке как, изучение радиационных процессов протекающие внутри вещества, контроль процессов возникающие в атмосфере под действием космических лучей и т.д. В том числе, разработка высокоточных датчиков температуры и давления.

Определение температуры вещества основано на резисторных и термопарных датчиков, которым влияние внешних электромагнитных полей существенно снижает точность и скорости получение информации. Таким образом, применение оптических датчиков приобретают особый важность, так как у них устраняются вышеуказанных недостаток. Такие датчики имеют высокий точность, стабильность на внешнее поле, легкость, минимальное энергопотребность и максимальное скорость обмена информации.

Первый патент на волоконнооптических сенсоров получен в 1960 году. Но как датчики, они широко использованы только в середине 80-х годов. Температурные оптические контактные датчики созданы на основе волноводов, запи- санный Брэгговский дифракционный решетка (БР) коэффициента преломления лучей. Эта решетка имеет точный пространственный распределение и период — Λ (рис.1). Пространственная решетка Брэгга установлен только на основание (1), а внешняя оболочка (2) остается неизменный. Такая структура имеет уникальное спектральное свойства, такие как низкочастотные коэффициент отражение излучения и очень узкий относительное спектральное ширине (10^{-6}).

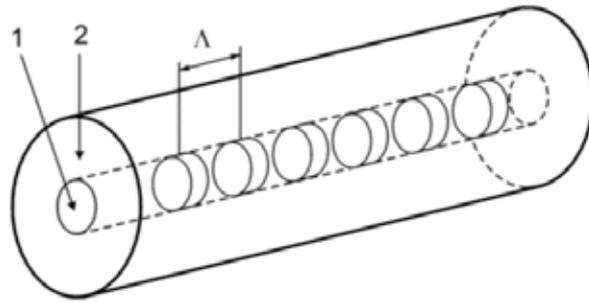


Рис.1. Оптическая волокна с пространственной решеткой Брэгга

Резонансная длина волны БР зависит от температуры и вложенный в ней внешней механической напряжений. На это и основывается работа волноводных датчиков. Сдвиг резонансных волн измеряется с помощью анализа спектров поглощения и пропускания широкополосных источников излучения или узкополосных лазеров.

Спектры рассеяния лазерных лучей в БР приведена в рис.2.

Для рассеяния лазерного излучения в БР необходима выполнение следующие условия:

$$\frac{2\pi}{\lambda} = 2 \frac{2\pi n_{эфф}}{\lambda}$$

Механический внешний фактор, как, давление, температурный перепад, деформация изменяет характеристики излучения, проходящее через образец, который в своей очередь проявляется на характеристиках обратного сигнала. Проанализировав спектры интенсивности проходящего и отраженного из БР излучения можно определить с большой точности механических параметров.

При попадание света на молекулярной решетки с термическим вибрациям возникает взаимодействие фотонов и электронов. Рассеяние такого рода в световоде с БР можно увидеть в Рамановском спектре. Резлейское рассеяние аналогично с лазерным излучением. Стоксовый компоненты Рамановского спектра появляются при поглощение (когда длина волны лазерного излучения больше чем длина волны стоксового компонента) или излучения (когда длина волны лазерного излучения меньше чем длина волны стоксового компонента). Антисксовые излучения оптического волокна зависят от температуры, но стоксовы смещения практически не зависят от температуры. Изучая отношение интенсивности этих компонент можно определить температуры образца.



Рис.2. Спектры рассеяния лазерных лучей в световодах с БР

Линии Бриллюэна по отношению к линии Стокса интенсивнее, но имеет слабое спектральное смещение. Это смещение происходит из-за акустического колебания кристаллической решетки и даёт информацию о механическом напряжении.

Лазерное или рентгеновское излучение при прохождении по световоду возбуждает индуцированное излучение. Под действием радиационного излучения на основе световода (диоксид кремния SiO_2) в энергетически запрещённых зонах появляются дополнительные энергетические зоны, благодаря которым происходит поглощения или люминесценция света. Изменения интенсивности света отрицательно влияют на качества и точность получаемой информации.

Анализ рентгеновских спектров в оптической волокне проводится по методике разделение образца на элементарной ячейки. Если, интенсивность индуцированное излучение на каждой элементарной ячейке равно $I_0(\lambda)$, коэффициент i — ячейке определяется из условия:

$$K_o(\lambda) + K_{\text{рент}}(\lambda) = \frac{1}{L - il} \cdot \text{Ln} \left[\frac{I_o(\lambda)}{I_i(\lambda)} \right]$$

Для образца с длиной l , реальное значение интенсивность индуцированное излучения равно:

$$I(\lambda) = N \times I_R(\lambda) \times \exp \left[\left(K_o(\lambda) + K_{\text{рент}}(\lambda) \right) \times L \right] \times \frac{\exp \left[(-l) \cdot \left(K_o(\lambda) + K_{\text{рент}}(\lambda) \right) \right] - 1}{1 - \exp \left[\left(K_o(\lambda) + K_{\text{рент}}(\lambda) \right) \cdot l \cdot N \right]}$$

Изучение зависимость длина образца на интенсивности Черенковского излучения даёт возможность, оценить интенсивности поглощения и рассеяния первичного сигнала. Если, при входе световода интенсивность Черенковского излучения $I_0(\lambda)$, при входе $I_1(\lambda)$, то коэффициент оптической потери $A(\lambda)$ можно определить из уравнение:

$$A(\lambda) = \frac{10}{L} \cdot \log \frac{I_o(\lambda)}{I_1(\lambda)}$$

В заключение, можно сказать, что изучение радиационные процессы в оптических волокнах резко расширяет прикладной возможности этих неорганических соединений, и создаются новые — новые приборы регистрирующих сверхтонких физических процессов в космосе, земле и под водой.

Литература:

1. E. Udda. Fiber Optic Sensors, Wiley Interscience, 2006, 520 p.
2. M. Kh.Ashurov, M. I. Baydjanov, et.al.Jap.J. Appl.Phys.:18, 2008.

Молодой ученый

Научный журнал
Выходит два раза в месяц

№ 10 (90) / 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.
Айдаров О. Т.
Алиева Т. И.
Ахметова В. В.
Брезгин В. С.
Данилов О. Е.
Дёмин А. В.
Дядюн К. В.
Желнова К. В.
Жуйкова Т. П.
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
<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