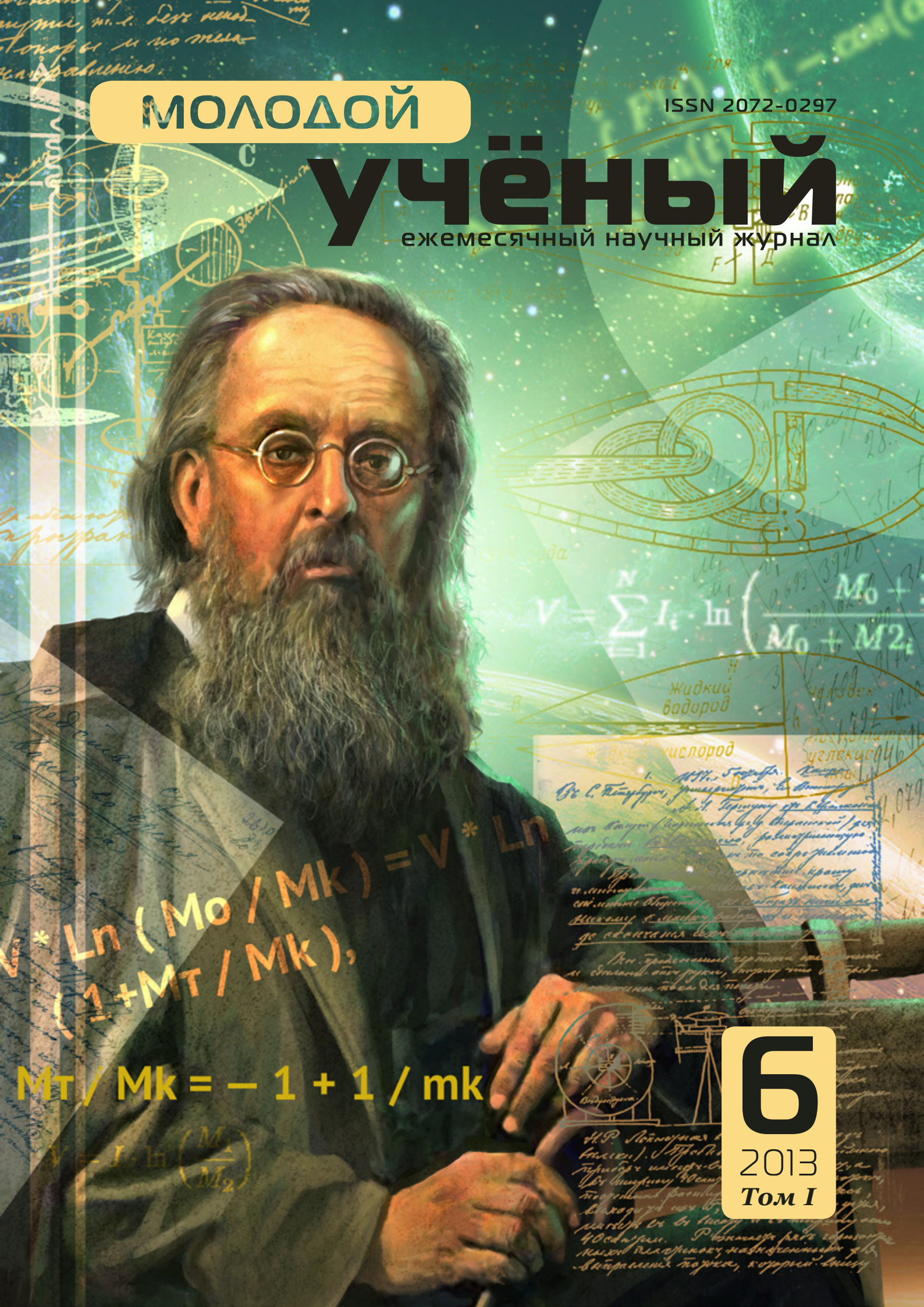


МОЛОДОЙ

# Учёный

ежемесячный научный журнал

ISSN 2072-0297



$$V \cdot \ln \left( \frac{M_0}{M_k} \right) = V \cdot \ln \left( \frac{1 + M_T / M_k}{1} \right),$$

$$M_T / M_k = -1 + 1 / m_k$$

$$V = I \cdot \ln \left( \frac{M_1}{M_2} \right)$$

$$V = \sum_{i=1}^N I_i \cdot \ln \left( \frac{M_0 + M_1}{M_0 + M_2} \right)$$

Жидкий водород

Жидкий кислород

От С. Кельвина, Гельмгольца, Клапейрона, Гей-Люссака, Террикса и Вильямсона

показывает (вспомогательная) зависимость от температуры, равновесия между жидким и газообразным состоянием, и т.д.

Видеограмма

6  
2013  
Том I



ISSN 2072-0297

# Молодой учёный

Ежемесячный научный журнал

№ 6 (53) / 2013

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

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

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

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

**Главный редактор:**

Ахметова Галия Дуфаровна, *доктор филологических наук*

**Члены редакционной коллегии:**

Ахметова Мария Николаевна, *доктор педагогических наук*

Иванова Юлия Валентиновна, *доктор философских наук*

Лактионов Константин Станиславович, *доктор биологических наук*

Комогорцев Максим Геннадьевич, *кандидат технических наук*

Ахметова Валерия Валерьевна, *кандидат медицинских наук*

Брезгин Вячеслав Сергеевич, *кандидат экономических наук*

Котляров Алексей Васильевич, *кандидат геолого-минералогических наук*

Яхина Асия Сергеевна, *кандидат технических наук*

Насимов Мурат Орленбаевич, *кандидат политических наук*

**Ответственный редактор:** Кайнова Галина Анатольевна

**Художник:** Евгений Шишков

**Верстка:** Павел Бурьянов

*На обложке изображен Константин Эдуардович Циолковский, российский учёный, основоположник теоретической космонавтики.*

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.

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

Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.

При перепечатке ссылка на журнал обязательна.

Материалы публикуются в авторской редакции.

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

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

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

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

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

Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии «Ваш полиграфический партнер»

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

## СОДЕРЖАНИЕ

### ФИЗИКА

- Емельянов А.А., Медведев А.В., Кобзев А.В., Евдокимов О.В., Габзалилов Э.Ф., Авдеев А.С.**  
 Моделирование асинхронного двигателя с укладкой обмотки статора ( $Z_1 = 6$ ) через спинку ярма .....1

### ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Абрамов В.В.**  
 Многокритериальная оптимизация процесса трелевки на выборочных рубках в малолесных районах .....12
- Абрамов В.В.**  
 Исследование продолжительности трелевки на выборочных рубках .....15
- Аверин К.И.**  
 Исследование кинетики формирования многокомпонентных материалов .....21
- Бильфельд Н.В.**  
 Моделирование систем с использованием блока чистого запаздывания .....25
- Бойко И.А., Гурьянов Р.А.**  
 Математические модели технических систем в условиях неопределенности .....30
- Бойко И.А., Гурьянов Р.А.**  
 Распознавание объектов на основе видеосигнала, полученного с камеры, установленной на подвижной платформе .....34
- Будылина Е.А., Гарькина И.А., Данилов А.М., Петренко В.О.**  
 Приложение ортогональных полиномов Чебышева к оценке психофизиологической напряженности оператора .....37

- Будылина Е.А., Гарькина И.А., Данилов А.М., Пылайкин С.А.**  
 Подходы к многокритериальности сложных систем .....40
- Данатаров А., Ашыров С.Ч., Мухамметмырадов К., Шаммедов М., Рустамов С.**  
 Механизация агромелиоративных работ на тяжелых минеральных почвах .....43
- Денисов В.А.**  
 Напорное течение жидкости в поле центробежных сил .....47
- Денисов В.А.**  
 Особенности дроссельного регулирования гидроприводов .....49
- Добриньков А.В.**  
 Разработка компьютерной модели процесса ротационной сборки цилиндрических деталей с малыми зазорами .....52
- Дятлов М.Н., Авдеюк Д.Н.**  
 Проектирование, изображение и визуализация резьбовых поверхностей с использованием современных CAD-систем .....57
- Кашеев Д.А.**  
 Использование разработанного алгоритма фрагментации нейронной сети для оптимизации большой нейронной сети на примере коммутаторной сети в подсистеме диагностики ЧПУ .....60
- Кудашов А.А.**  
 Исследование качественного и количественного состава золь ортокремневой кислоты .....63
- Лукин А.А.**  
 Функциональные свойства подсолнечного масла .....68

<b>Мерко М.А., Меснянкин М.В., Колотов А.В.</b> Передаточные отношения механизмов с ЗСТК с диаметрами равной величины и зазором при вращении внутреннего кольца и вводе поправки по дорожке качения наружного кольца ..... 71	<b>Савчиц А.В., Шкляр В.Н.</b> Разработка системы управления котельной «NOVITER» с целью повышения экономической эффективности ..... 133
<b>Музычук Д.С., Медведев М.С.</b> Использование преобразования Гильберта-Хуанга для формирования моделей фонем русского языка в задаче распознавания речи ..75	<b>Салиев Э.А., Савурбаев А., Ташпулатов М.А., Кувандиков Ж.Т.</b> Численное моделирование и исследование переходных процессов при высокоскоростном ударе цилиндрического тела о жесткую преграду ..... 138
<b>Музычук Д.С., Медведев М.С.</b> Сегментация, шумоподавление и фонетический анализ в задаче распознавания речи .....86	<b>Сафаров Б.Д., Исломов У.Н., Уринов Р.Ж.</b> Адсорбционная очистка легких углеводородных смесей и газов ..... 142
<b>Науменко Е.Н.</b> Исследование технологий дистанционного обучения при подготовке специалистов в области автоматизации и управления .....96	<b>Семахин А.М., Баталов И.С.</b> Динамическое программирование в решении задачи оптимального размещения электронных компонентов системы управления ..... 144
<b>Нежданов К.К., Кузьмишкин А.А., Гарькин И.Н.</b> Способ рихтовки неразрезных подкрановых балок .....99	<b>Сурков В.О.</b> Точности определения местоположения подвижных наземных объектов в сотовых сетях GSM и UMTS ..... 147
<b>Нежданов К.К., Кузьмишкин А.А., Гарькин И.Н.</b> Повышение долговечности неразрезных подкрановых балок: способ снижения локальных напряжений..... 102	<b>Тугов В.В., Гаибова Т.В., Саморуков С.А.</b> Учет риска прогара трубчатой печи при оптимизации процесса пиролиза нефтешлама ..... 150
<b>Немеш Д.А.</b> Модифицированный аппарат вложенных гибридных сетей Петри ..... 105	<b>Тугов В.В., Давлетов Р.К.</b> Разработка алгоритма прогнозирования появления коррозии на внутренней и внешней поверхности теплообменника ..... 153
<b>Немеш Д.А.</b> Моделирование типовых динамических звеньев в терминах модифицированного аппарата сетей Петри ..... 107	<b>Фадеева Г.Д., Паршина К.С., Родина Е.В.</b> Повышение энергетической эффективности жилого фонда за счёт малозатратных технологий (на примере г. Пензы) ..... 156
<b>Перов Б.Г., Голков В.Б., Черанёв М.А., Полторак В.П.</b> Анализ математических моделей каналов связи с белым гауссовым шумом ..... 114	<b>Фадеева Г.Д., Паршина К.С., Родина Е.В.</b> Методы усовершенствования конструкций .... 158
<b>Перов Б.Г., Черанёв М.А., Полторак В.П.</b> Разработка математической модели канала связи с белым гауссовым шумом ..... 116	<b>Фадеева Г.Д., Паршина К.С., Родина Е.В.</b> Железнодорожные шпалы: настоящее и будущее ..... 161
<b>Примеров О.С., Макеев П.В., Клинков А.С.</b> Обзор методов переработки отходов полимерных материалов и анализ рынка вторичного сырья ..... 121	<b>Фролов М.С., Жумагалиев А.М., Кондрашин В.В.</b> Ветроэнергетическая установка на гибком валу..... 163
<b>Розметов К.С., Оразкылыджов Б.</b> Технология микроволновой предпосевной обработки семян хлопчатника в условиях Туркменистана ..... 123	<b>Хайитов Р.Р., Адизов Б.З., Мавлянов Н.С.</b> Использование нового сорбента СТРГ с целью импортзамещения для очистки циклогексана..... 165
<b>Савчиц А.В., Мещеряков А.А.</b> Разработка системы управления миксером баночной линии с целью повышения экономической эффективности..... 128	<b>Хайитов Р.Р., Обидов Х.О.</b> Анализ углеводородов бензина Аи-80 методом ГЖХ ..... 167
	<b>Хайитов Р.Р., Хужакулов А.Ф., Джумаев М.А.</b> Адсорбенты для выделения и анализа ароматических углеводородов ..... 169



**Хоробрых М.А., Каширский Д.А.**  
 Методы изготовления деталей из композиционных материалов методом вакуумной пропитки в оснастке ..... 171

**Худайбердыев Н., .**  
 Особенности технологических процессов в човцеводстве Туркменистана ..... 178

**Черанёв М.А., Перов Б.Г.**  
 Анализ математических моделей речевого тракта ..... 181

**Шатковский О.Ю., Родяков А.Ю., Гоман А.А.**  
 Проблемы организации распределенной обработки алгоритмов функций логики централизации и методы их решения ..... 184

## ИНФОРМАТИКА

**Хуссейн Али Абдулла**  
 Probability Generating Functions for Markov Matrix ..... 187

**Бекчанова И.А.**  
 Реализация маршрутизатора на основе протокола RIP..... 190

**Власов С.А., Маркина С.Э.**  
 Обзор веб-сервисов для визуализации научных типов данных..... 192

**Кудрин А.А., Силаев А.А.**  
 Автоматизированная система контроля и анализа механических испытаний лаборатории изготовления и испытания образцов на ОАО «Волжский трубный завод»..... 198

**Кульпин М.А., Силаев А.А.**  
 Подсистема анализа и визуализации в составе автоматизированной системы контроля технологических параметров производства резиновых смесей на ОАО «Волтайр-Пром» ... 200

**Лучникова Е.В., Чекал Е.Г.**  
 Проектирование распределённой системы инфокоммуникационных услуг детских реабилитационных учреждений ..... 205

**Маховиков С.А., Домнина Е.Г.**  
 Тенденции внедрения информационных систем в дистанционное обучение ..... 207

**Рыбанов А.А., Виноградов П.М.**  
 Модификация подсистемы контроля знаний LMS Moodle для оценки результатов тестирования с учетом динамики процесса формирования пользователем ответов на тестовые задания .. 209

**Сарапулова Т.В., Тайлакова А.А., Трофимов И.Е.**  
 Применение информационных технологий для реализации методики анализа эколого-экономической эффективности природоохранной деятельности ..... 212

**Свиридова О.В., Михайлов А.В.**  
 Обобщенный анализ методов проектирования и разработки автоматизированного составления расписания образовательных учреждений .... 214

**Тыртышный А.И., Филонов А.С.**  
 Разработка автоматизированной информационной системы бронирования билетов на автобусы междугородних сообщений с целью расширения диапазона оказываемых услуг ... 217

**Чегодаев Н.И.**  
 Linux Implementation of AVR Program Assembling ..... 220

## ХИМИЯ

**Гаджиева С.Р., Алиева Т.И., Мурадова Г.Г., Абдуллаев Р.А., Халилова Ф.К., Велиева З.Т.**  
 Фотометрическое определение скандия (III) в пирексените..... 226

**Рогачков В.В.**  
 Газочувствительные нанокompозиты на основе диоксида олова, полученные методом химического соосаждения..... 228

**Толчинский Ю.А., Ковальчук А.А.**  
 О некоторых возможных механизмах замедления каталитических реакций ..... 231

**Чупрова Л.В., Муллина Э.Р., Ершова О.В., Родионова Н.И.**  
 Химико-технологические аспекты процесса регенерации нефтеотходов ..... 235

## БИОЛОГИЯ

**Бублик Е.М.**  
 Влияние генов MC4R, POU1F1, PRLR, ESR на продуктивные качества свиней ..... 238

**Кизеев А.Н.**  
 Позиционно-типовой и позиционно-видовой состав триацилглицеринов из масла семян подсолнечника ..... 241

**Цыбулина М.В.**  
 Общий анализ флоры папоротников Северо-Западного Кавказа ..... 244





## ФИЗИКА

### Моделирование асинхронного двигателя с укладкой обмотки статора ( $Z_1 = 6$ ) через спинку ярма

Емельянов Александр Александрович, старший преподаватель;

Медведев Алексей Владимирович, аспирант;

Кобзев Антон Валерьевич, студент;

Евдокимов Олег Викторович, студент;

Габзалилов Эльвир Фиргатович, студент;

Авдеев Александр Сергеевич, студент

Российский государственный профессионально-педагогический университет (г. Екатеринбург)

В пакете учебных программ при моделировании асинхронного двигателя с помощью магнитных схем замещения представляет определенный интерес к способу намотки статорной обмотки через спинку ярма. В этом случае расширяется возможность управления напряжением в проводниках каждого паза. Такой тип укладки обмотки приводит к существенному изменению конфигурации заполнения элементов матриц и, следовательно, к увеличению вариантов при программировании в Matlab, что немаловажно в учебном процессе. Данную работу полезно сопоставить с работой [4], в которой рассматривался двигатель с таким же числом пазов на статоре, но с классическим типом обмотки.

На рис. 1,а показана линейная развертка кругового асинхронного двигателя с одной парой полюсов ( $2p = 2, Z_1 = 6$ ) с укладкой обмотки через спинку ярма статора. На рис. 1,б дана его магнитная схема замещения, где токи и потоки на входе двигателя являются соответствующими токами и потоками на его выходе.

Запишем основные уравнения для « $n$ »-ого участка схемы замещения.

#### Баланс магнитных напряжений магнитной цепи

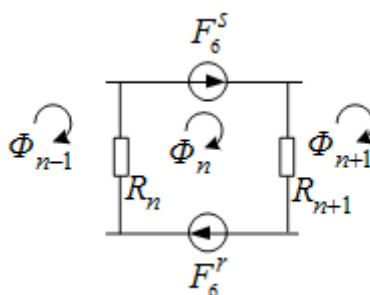


Рис. 2. Магнитная схема замещения

$\Phi_{n-1}, \Phi_n, \Phi_{n+1}$  – контурные магнитные потоки;

$R_n, R_{n+1}$  – магнитные сопротивления воздушных участков;

$F_n^s = \omega_n^s \cdot i_n^s$  – магнитодвижущая сила, созданная статорным током  $i_n^s$ , протекающим по всем проводникам паза ( $\omega_n^s$ );

$F_n^r = \omega_n^r \cdot i_n^r$  – М.Д. С. тока ротора в стержне ( $\omega_n^r = 1$ ).

Баланс М.Д. С. для « $n$ »-го участка имеет следующий вид:

$$F_n^s + F_n^r = \Phi_n \cdot (R_{n+1} + R_n) - \Phi_{n+1} \cdot R_{n+1} - \Phi_{n-1} \cdot R_n.$$

Отсюда ток в стержне ротора определится по следующему выражению:

$$i_n^r = -\omega_n^s \cdot i_n^s - \Phi_{n-1} \cdot R_n + \Phi_n \cdot (R_{n+1} + R_n) - \Phi_{n+1} \cdot R_{n+1}. \tag{1}$$

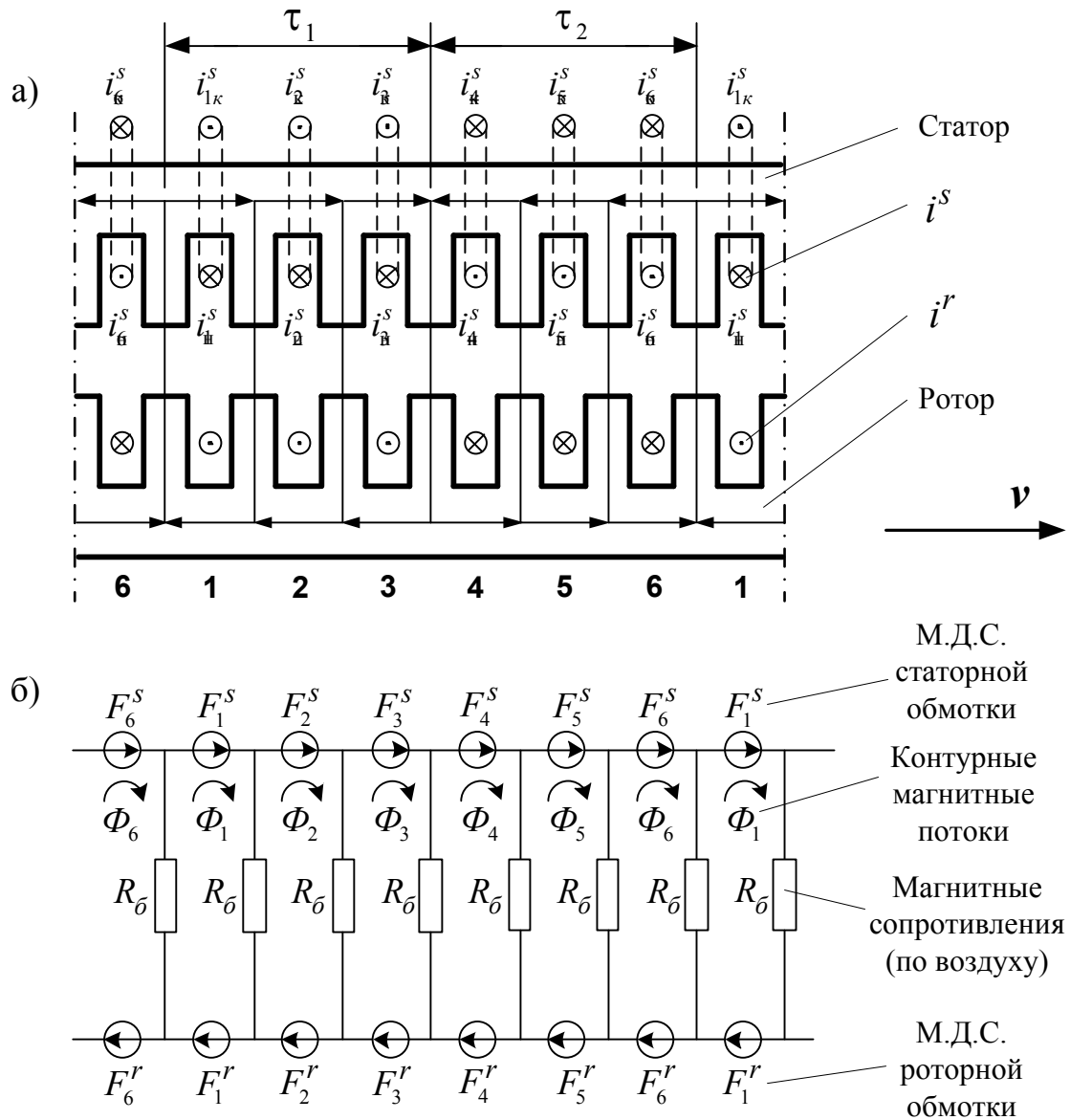


Рис. 1. а) Асинхронный двигатель ( $2p=2, Z_1=6$ ); б) Магнитная схема замещения

**Уравнение баланса напряжений электрической цепи ротора**

$$r^r \cdot i_n^r + L^r \cdot \frac{\partial i_n^r}{\partial t} + L^r \cdot \nu \cdot \frac{\partial i_n^r}{\partial x} = -\frac{\partial \Phi_n}{\partial t} - \nu \cdot \frac{\partial \Phi_n}{\partial x} \tag{2}$$

Выразим производные во времени через конечные разности:

$$\frac{\partial i_n^r}{\partial t} = \frac{i_{n,k}^r - i_{n,k-1}^r}{\Delta t}; \quad \frac{\partial \Phi_n}{\partial t} = \frac{\Phi_{n,k} - \Phi_{n,k-1}}{\Delta t},$$

где  $n$  – номер зубцового деления;  
 $k$  – номер шага разбиения по времени.

В формуле (2) скорость подвижного элемента принимаем равным  $\nu = \nu_{k-1}$  и в пределах « $k$ » интервала считается постоянным.

Производные по пространственной координате « $x$ » выразим через центральные конечные разности:

$$\frac{\partial i_{n,k}^r}{\partial x} = \frac{i_{n+1,k}^r - i_{n-1,k}^r}{2 \cdot t_z}; \quad \frac{\partial \Phi_{n,k}}{\partial x} = \frac{\Phi_{n+1,k} - \Phi_{n-1,k}}{2 \cdot t_z}.$$



С учетом вышеприведенных замечаний уравнение (2) примет следующий вид:

$$r^r \cdot i_{n,k}^r + L^r \cdot \frac{i_{n,k}^r - i_{n,k-1}^r}{\Delta t} + L^r \cdot v_{k-1} \cdot \frac{i_{n+1,k}^r - i_{n-1,k}^r}{2 \cdot t_z} = \frac{\Phi_{n,k} - \Phi_{n,k-1}}{\Delta t} - v \cdot \frac{\Phi_{n+1,k} - \Phi_n}{2 \cdot t_z} \quad (3)$$

Исключим из уравнения (3) токи в роторе. Для этого подставим выражение (1) в уравнение (3) и получим:

$$\begin{aligned} & \left[ \frac{\omega_n^s \cdot L^r \cdot v_{k-1}}{2t_z} \right] \cdot i_{n-1,k}^s + \left[ -\omega_n^s \cdot \left( r^r + \frac{L^r}{\Delta t} \right) \right] \cdot i_{n,k}^s + \left[ -\omega_n^s \cdot \frac{L^r \cdot v_{k-1}}{2t_z} \right] \cdot i_{n+1,k}^s + \left[ \frac{R_{n-1} \cdot L^r \cdot v_{k-1}}{2t_z} \right] \cdot \Phi_{n-2,k} + \\ & + \left[ -R_n \cdot \left( r^r + \frac{L^r}{\Delta t} \right) - ((R_n + R_{n-1}) \cdot L^r + 1) \cdot \frac{v_{k-1}}{2t_z} \right] \cdot \Phi_{n-1,k} + \\ & + \left[ (R_{n+1} + R_n) \cdot \left( r^r + \frac{L^r}{\Delta t} \right) + (R_n - R_{n+1}) \cdot \frac{L^r \cdot v_{k-1}}{2t_z} + \frac{1}{\Delta t} \right] \cdot \Phi_{n,k} + \\ & + \left[ -R_{n+1} \cdot \left( r^r + \frac{L^r}{\Delta t} \right) + ((R_{n+2} + R_{n+1}) \cdot L^r + 1) \cdot \frac{v_{k-1}}{2t_z} \right] \cdot \Phi_{n+1,k} + \left[ -R_{n+2} \cdot \frac{L^r \cdot v_{k-1}}{2t_z} \right] \cdot \Phi_{n+2,k} = \\ & = \left[ -\omega_n^s \cdot \frac{L^r}{\Delta t} \right] \cdot i_{n,k-1}^s + \left[ -R_n \cdot \frac{L^r}{\Delta t} \right] \cdot \Phi_{n-1,k-1} + \left[ \frac{(R_{n+1} + R_n) \cdot L^r + 1}{\Delta t} \right] \cdot \Phi_{n,k-1} + \left[ -R_{n+1} \cdot \frac{L^r}{\Delta t} \right] \cdot \Phi_{n+1,k-1}. \end{aligned} \quad (4)$$

Это уравнение может быть реализовано при произведении матрицы **A**, элементы которой записаны в квадратных скобках, на матрицу-столбец **X**, состоящей из потоков ( $\Phi$ ) и токов статорной обмотки. Правая часть уравнения (4) формирует первые шесть элементов матрицы-столбца свободных членов **S** в  $(k-1)$  момент времени. Остальные шесть будут сформированы из баланса напряжений статорной обмотки. Матрица-столбец **X** сформирована из первых шести элементов, которые соответствуют потокам, а с 7 по 12 – токам  $i_1, \dots, i_6$ . Общий вид матриц при числе полюсов  $2p = 2$  и общем числе пазов статора  $Z_1 = 6$  примет следующий вид:

Матрица <b>A</b>												<b>X</b>	<b>S</b>
$a_{1,1}$	$a_{1,2}$	$a_{1,3}$	0	0	0	$a_{1,7}$	$a_{1,8}$	0	0	0	$a_{1,12}$	$x_1 = \Phi_1$	$s_1$
$a_{2,1}$	$a_{2,2}$	$a_{2,3}$	$a_{2,4}$	0	0	$a_{2,7}$	$a_{2,8}$	$a_{2,9}$	0	0	0	$x_2 = \Phi_2$	$s_2$
$a_{3,1}$	$a_{3,2}$	$a_{3,3}$	$a_{3,4}$	$a_{3,5}$	0	0	$a_{3,8}$	$a_{3,9}$	$a_{3,10}$	0	0	$x_3 = \Phi_3$	$s_3$
0	$a_{4,2}$	$a_{4,3}$	$a_{4,4}$	$a_{4,5}$	$a_{4,6}$	0	0	$a_{4,9}$	$a_{4,10}$	$a_{4,11}$	0	$x_4 = \Phi_4$	$s_4$
0	0	$a_{5,3}$	$a_{5,4}$	$a_{5,5}$	$a_{5,6}$	0	0	0	$a_{5,10}$	$a_{5,11}$	$a_{5,12}$	$x_5 = \Phi_5$	$s_5$
0	0	0	$a_{6,4}$	$a_{6,5}$	$a_{6,6}$	$a_{6,7}$	0	0	0	$a_{6,11}$	$a_{6,12}$	$x_6 = \Phi_6$	$s_6$
$a_{7,1}$	0	0	0	0	0	$a_{7,7}$	0	0	0	0	0	$x_7 = i_1^s$	$s_7$
0	$a_{8,2}$	0	0	0	0	0	$a_{8,8}$	0	0	0	0	$x_8 = i_2^s$	$s_8$
0	0	$a_{9,3}$	0	0	0	0	0	$a_{9,9}$	0	0	0	$x_9 = i_3^s$	$s_9$
0	0	0	$a_{10,4}$	0	0	0	0	0	$a_{10,10}$	0	0	$x_{10} = i_4^s$	$s_{10}$
0	0	0	0	$a_{11,5}$	0	0	0	0	0	$a_{11,11}$	0	$x_{11} = i_5^s$	$s_{11}$
0	0	0	0	0	$a_{12,6}$	0	0	0	0	0	$a_{12,12}$	$x_{12} = i_6^s$	$s_{12}$

Так как в асинхронном двигателе сопротивления на всех зубцовых делениях одинаковы  $R_n = R_6$ , то уравнение (4) примет следующий вид:

$$\begin{aligned}
& \left[ \frac{\omega_n^s \cdot L^r \cdot v_{k-1}}{2t_z} \right] \cdot i_{n-1,k}^s + \left[ -\omega_n^s \cdot \left( r^r + \frac{L^r}{\Delta t} \right) \right] \cdot i_{n,k}^s + \left[ -\omega_n^s \cdot \frac{L^r \cdot v_{k-1}}{2t_z} \right] \cdot i_{n+1,k}^s + \left[ \frac{R_\sigma \cdot L^r \cdot v_{k-1}}{2t_z} \right] \cdot \Phi_{n-2,k} + \\
& + \left[ -R_\sigma \cdot \left( r^r + \frac{L^r}{\Delta t} \right) - (2R_\sigma \cdot L^r + 1) \cdot \frac{v_{k-1}}{2t_z} \right] \cdot \Phi_{n-1,k} + \left[ 2R_\sigma \cdot \left( r^r + \frac{L^r}{\Delta t} \right) + \frac{1}{\Delta t} \right] \cdot \Phi_{n,k} + \\
& + \left[ -R_\sigma \cdot \left( r^r + \frac{L^r}{\Delta t} \right) + (2R_\sigma \cdot L^r + 1) \cdot \frac{v_{k-1}}{2t_z} \right] \cdot \Phi_{n+1,k} + \left[ -R_\sigma \cdot \frac{L^r \cdot v_{k-1}}{2t_z} \right] \cdot \Phi_{n+2,k} = \\
& = \left[ -\omega_n^s \cdot \frac{L^r}{\Delta t} \right] \cdot i_{n,k-1}^s + \left[ -R_\sigma \cdot \frac{L^r}{\Delta t} \right] \cdot \Phi_{n-1,k-1} + \left[ \frac{2R_\sigma \cdot L^r + 1}{\Delta t} \right] \cdot \Phi_{n,k-1} + \left[ -R_\sigma \cdot \frac{L^r}{\Delta t} \right] \cdot \Phi_{n+1,k-1}.
\end{aligned} \tag{5}$$

Введем следующие обозначения:

Элементы матрицы **A**, перемножаемые на потоки матрицы-столбца **X**:

$$\begin{aligned}
B &= 2R_\sigma \cdot \left( r^r + L^r / \Delta t \right) + 1 / \Delta t; \\
C &= -R_\sigma \cdot \left( r^r + L^r / \Delta t \right) + \left( 2R_\sigma \cdot L^r + 1 \right) \cdot v_{k-1} / 2t_z; \\
D &= -R_\sigma \cdot L^r \cdot v_{k-1} / 2t_z; \\
E &= -R_\sigma \cdot \left( r^r + L^r / \Delta t \right) - \left( 2R_\sigma \cdot L^r + 1 \right) \cdot v_{k-1} / 2t_z;
\end{aligned}$$

Элементы матрицы **A**, перемножаемые на токи  $i_1, \dots, i_6$  матрицы **X**:

$$\begin{aligned}
T &= -\omega_i^s \cdot L^r \cdot v_{k-1} / 2t_z; \\
Y &= -\omega_i^s \cdot \left( r^r + L^r / \Delta t \right);
\end{aligned}$$

Элементы матрицы-столбца свободных членов **S**:

$$\begin{aligned}
W1 &= -\omega_n^s \cdot L^r / \Delta t; \\
P &= -R_\sigma \cdot L^r / \Delta t; \\
Q &= \left( 2R_\sigma \cdot L^r + 1 \right) / \Delta t.
\end{aligned}$$

С учетом обозначений уравнение (5) примет следующий вид:

$$\begin{aligned}
& [-T] \cdot i_{n-1,k}^s + [Y] \cdot i_{n,k}^s + [T] \cdot i_{n+1,k}^s + [-D] \cdot \Phi_{n-2,k} + [E] \cdot \Phi_{n-1,k} + [B] \cdot \Phi_{n,k} + [C] \cdot \Phi_{n+1,k} + \\
& + [D] \cdot \Phi_{n+2,k} = [W1] \cdot i_{n,k-1}^s + [Q] \cdot \Phi_{n,k-1} + [P] \cdot \left( \Phi_{n-1,k-1} + \Phi_{n+1,k-1} \right).
\end{aligned} \tag{6}$$

Уравнение (6) позволит определить для первых шести строк элементы матрицы **A** и с первой по шестой элементы матрицы-столбца **S**, для этого последовательно зададимся  $n$ :

$n = 1$ .

$$\begin{aligned}
& \underbrace{[-T]}_{a_{1,12}} \cdot \underbrace{i_{6,k}^s}_{x_{12}} + \underbrace{[Y]}_{a_{1,7}} \cdot \underbrace{i_{1,k}^s}_{x_7} + \underbrace{[T]}_{a_{1,8}} \cdot \underbrace{i_{2,k}^s}_{x_8} + \underbrace{[-D]}_{a_{1,5}} \cdot \underbrace{\Phi_{5,k}}_{x_5} + \underbrace{[E]}_{a_{1,6}} \cdot \underbrace{\Phi_{6,k}}_{x_6} + \underbrace{[B]}_{a_{1,1}} \cdot \underbrace{\Phi_{1,k}}_{x_1} + \underbrace{[C]}_{a_{1,2}} \cdot \underbrace{\Phi_{2,k}}_{x_2} + \underbrace{[D]}_{a_{1,3}} \cdot \underbrace{\Phi_{3,k}}_{x_3} = \\
& = \underbrace{[W1] \cdot i_{1,k-1}^s + [Q] \cdot \Phi_{1,k-1} + [P] \cdot \left( \Phi_{6,k-1} + \Phi_{2,k-1} \right)}_{s_1}.
\end{aligned}$$

Запишем элементы матрицы **A**:

$$a_{1,1}=B; a_{1,2}=C; a_{1,3}=D; a_{1,5}=-D; a_{1,6}=E; a_{1,7}=Y; a_{1,8}=T; a_{1,12}=-T.$$

В правой части сформирован элемент  $s_1$  матрицы-столбца **S**:

$$s_1 = [W1] \cdot i_{1,k-1}^s + [P] \cdot \left( \Phi_{6,k-1} + \Phi_{2,k-1} \right) + [Q] \cdot \Phi_{1,k-1}.$$



$n = 2.$

$$\begin{aligned} & \underbrace{[-T]}_{a_{2,7}} \cdot \underbrace{i_{1,k}^S}_{x_7} + \underbrace{[Y]}_{a_{2,8}} \cdot \underbrace{i_{2,k}^S}_{x_8} + \underbrace{[T]}_{a_{2,9}} \cdot \underbrace{i_{2,k}^S}_{x_9} + \underbrace{[-D]}_{a_{2,6}} \cdot \underbrace{\Phi_{6,k}}_{x_6} + \underbrace{[E]}_{a_{2,1}} \cdot \underbrace{\Phi_{1,k}}_{x_1} + \underbrace{[B]}_{a_{2,2}} \cdot \underbrace{\Phi_{2,k}}_{x_2} + \underbrace{[C]}_{a_{2,3}} \cdot \underbrace{\Phi_{3,k}}_{x_3} + \underbrace{[D]}_{a_{2,4}} \cdot \underbrace{\Phi_{4,k}}_{x_4} = \\ & = \underbrace{[W1] \cdot i_{2,k-1}^S + [Q] \cdot \Phi_{2,k-1} + [P] \cdot (\Phi_{1,k-1} + \Phi_{3,k-1})}_{S_2}. \end{aligned}$$

Отсюда элементы матрицы **A**:

$$a_{2,1}=E; a_{2,2}=B; a_{2,3}=C; a_{2,4}=D; a_{2,12}=-D; a_{2,7}=-T; a_{2,8}=Y; a_{2,9}=T.$$

Второй элемент  $s_2$  матрицы-столбца **S**:

$$s_2 = [W1] \cdot i_{2,k-1}^S + [Q] \cdot \Phi_{2,k-1} + [P] \cdot (\Phi_{1,k-1} + \Phi_{3,k-1}) ..$$

$n = 3.$

$$\begin{aligned} & \underbrace{[-T]}_{a_{3,8}} \cdot \underbrace{i_{2,k}^S}_{x_8} + \underbrace{[Y]}_{a_{3,9}} \cdot \underbrace{i_{3,k}^S}_{x_9} + \underbrace{[T]}_{a_{3,10}} \cdot \underbrace{i_{4,k}^S}_{x_{10}} + \underbrace{[-D]}_{a_{3,1}} \cdot \underbrace{\Phi_{1,k}}_{x_1} + \underbrace{[E]}_{a_{3,2}} \cdot \underbrace{\Phi_{2,k}}_{x_2} + \underbrace{[B]}_{a_{3,3}} \cdot \underbrace{\Phi_{3,k}}_{x_3} + \underbrace{[C]}_{a_{3,4}} \cdot \underbrace{\Phi_{4,k}}_{x_4} + \underbrace{[D]}_{a_{3,5}} \cdot \underbrace{\Phi_{5,k}}_{x_5} = \\ & = \underbrace{[W1] \cdot i_{3,k-1}^S + [Q] \cdot \Phi_{3,k-1} + [P] \cdot (\Phi_{2,k-1} + \Phi_{4,k-1})}_{S_3}. \end{aligned}$$

Отсюда элементы матрицы **A**:

$$a_{3,1}=-D; a_{3,2}=E; a_{3,3}=B; a_{3,4}=C; a_{3,12}=D; a_{3,8}=-T; a_{3,9}=Y; a_{3,10}=T.$$

Третий элемент  $s_3$  матрицы-столбца **S**:

$$s_3 = [W1] \cdot i_{3,k-1}^S + [Q] \cdot \Phi_{3,k-1} + [P] \cdot (\Phi_{2,k-1} + \Phi_{4,k-1}) ..$$

$n = 4.$

$$\begin{aligned} & \underbrace{[-T]}_{a_{4,9}} \cdot \underbrace{i_{3,k}^S}_{x_9} + \underbrace{[Y]}_{a_{4,10}} \cdot \underbrace{i_{4,k}^S}_{x_{10}} + \underbrace{[T]}_{a_{4,11}} \cdot \underbrace{i_{5,k}^S}_{x_{11}} + \underbrace{[-D]}_{a_{4,2}} \cdot \underbrace{\Phi_{2,k}}_{x_2} + \underbrace{[E]}_{a_{4,3}} \cdot \underbrace{\Phi_{3,k}}_{x_3} + \underbrace{[B]}_{a_{4,4}} \cdot \underbrace{\Phi_{4,k}}_{x_4} + \underbrace{[C]}_{a_{4,5}} \cdot \underbrace{\Phi_{5,k}}_{x_5} + \underbrace{[D]}_{a_{4,6}} \cdot \underbrace{\Phi_{6,k}}_{x_6} = \\ & = \underbrace{[W1] \cdot i_{4,k-1}^S + [Q] \cdot \Phi_{4,k-1} + [P] \cdot (\Phi_{3,k-1} + \Phi_{5,k-1})}_{S_4}. \end{aligned}$$

Отсюда элементы матрицы **A**:

$$a_{4,2}=-D; a_{4,3}=E; a_{4,4}=B; a_{4,5}=C; a_{4,6}=D; a_{4,9}=-T; a_{4,10}=Y; a_{4,11}=T.$$

Четвертый элемент  $s_4$  матрицы-столбца **S**:

$$s_4 = [W1] \cdot i_{4,k-1}^S + [Q] \cdot \Phi_{4,k-1} + [P] \cdot (\Phi_{3,k-1} + \Phi_{5,k-1}) ..$$

$n = 5.$

$$\begin{aligned} & \underbrace{[-T]}_{a_{5,10}} \cdot \underbrace{i_{4,k}^S}_{x_{10}} + \underbrace{[Y]}_{a_{5,11}} \cdot \underbrace{i_{5,k}^S}_{x_{11}} + \underbrace{[T]}_{a_{5,12}} \cdot \underbrace{i_{6,k}^S}_{x_{12}} + \underbrace{[-D]}_{a_{5,3}} \cdot \underbrace{\Phi_{3,k}}_{x_3} + \underbrace{[E]}_{a_{5,4}} \cdot \underbrace{\Phi_{4,k}}_{x_4} + \underbrace{[B]}_{a_{5,5}} \cdot \underbrace{\Phi_{5,k}}_{x_5} + \underbrace{[C]}_{a_{5,6}} \cdot \underbrace{\Phi_{6,k}}_{x_6} + \underbrace{[D]}_{a_{5,1}} \cdot \underbrace{\Phi_{1,k}}_{x_1} = \\ & = \underbrace{[W1] \cdot i_{5,k-1}^S + [Q] \cdot \Phi_{5,k-1} + [P] \cdot (\Phi_{4,k-1} + \Phi_{6,k-1})}_{S_5}. \end{aligned}$$

Отсюда элементы матрицы **A**:

$$a_{5,1}=D; a_{5,3}=-D; a_{5,4}=E; a_{5,5}=B; a_{5,6}=C; a_{5,10}=-T; a_{5,11}=Y; a_{5,12}=T.$$

Пятый элемент  $s_5$  матрицы-столбца **S**:

$$s_5 = [W1] \cdot i_{5,k-1}^S + [Q] \cdot \Phi_{5,k-1} + [P] \cdot (\Phi_{4,k-1} + \Phi_{6,k-1}) ..$$

$n = 6$ .

$$\begin{aligned} & \underbrace{[-T]}_{a_{6,11}} \cdot \underbrace{i_{5,k}^S}_{x_{11}} + \underbrace{[Y]}_{a_{6,12}} \cdot \underbrace{i_{6,k}^S}_{x_{12}} + \underbrace{[T]}_{a_{6,7}} \cdot \underbrace{i_{1,k}^S}_{x_7} + \underbrace{[-D]}_{a_{6,4}} \cdot \underbrace{\Phi_{4,k}}_{x_4} + \underbrace{[E]}_{a_{6,5}} \cdot \underbrace{\Phi_{5,k}}_{x_5} + \underbrace{[B]}_{a_{6,6}} \cdot \underbrace{\Phi_{6,k}}_{x_6} + \underbrace{[C]}_{a_{6,1}} \cdot \underbrace{\Phi_{1,k}}_{x_1} + \underbrace{[D]}_{a_{6,2}} \cdot \underbrace{\Phi_{2,k}}_{x_2} = \\ & = \underbrace{[W1] \cdot i_{6,k-1}^S + [Q] \cdot \Phi_{6,k-1} + [P] \cdot (\Phi_{5,k-1} + \Phi_{1,k-1})}_{S_6}. \end{aligned}$$

Отсюда элементы матрицы  $\mathbf{A}$ :

$$a_{6,1} = C; a_{6,2} = D; a_{6,4} = -D; a_{6,5} = E; a_{6,6} = B; a_{6,7} = T; a_{6,11} = -T; a_{6,12} = Y.$$

Шестой элемент  $s_6$  матрицы-столбца  $\mathbf{S}$ :

$$s_6 = [W1] \cdot i_{6,k-1}^S + [Q] \cdot \Phi_{6,k-1} + [P] \cdot (\Phi_{5,k-1} + \Phi_{1,k-1}).$$

Остальные элементы матрицы  $\mathbf{A}$  ( $n = 7, \dots, 12$ ) и соответствующие элементы матрицы-столбца  $\mathbf{S}$  определяются из *баланса электрических напряжений обмоток статора* [2].

В данной работе принято отдельное управление напряжением каждого паза ( $Z_1 = 6$ ), следовательно, необходимо задать шесть напряжений. В качестве одного из вариантов примем синусоидальные напряжения со сдвигом на  $\pi/3$ :

$$u_1 = U_m \cdot \cos(\omega t);$$

$$u_2 = U_m \cdot \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{3}\right);$$

$$u_3 = U_m \cdot \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right);$$

$$u_4 = U_m \cdot \cos(\omega t - \pi);$$

$$u_5 = U_m \cdot \cos\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right);$$

$$u_6 = U_m \cdot \cos\left(\omega t - \frac{5\pi}{3}\right);$$

Рассмотрим баланс напряжений для первой обмотки.

$$u_1 = \omega_n^S \cdot \frac{d\Phi_1}{dt} + r^S \cdot i_{1,k}^S + L^S \cdot \frac{di_{1,k}^S}{dt},$$

где  $\omega_n^S$  – число витков паза (обмотки);

$r^S$  – сопротивление обмотки, проходящей через спинку ярма;

$L^S$  – индуктивность обмотки первого паза.

Выразим производные через конечные разности:

$$\frac{di_{1,k}^S}{dt} = \frac{i_{1,k}^S - i_{1,k-1}^S}{\Delta t}; \quad \frac{d\Phi_1}{dt} = \frac{\Phi_{1,k} - \Phi_{1,k-1}}{\Delta t}.$$

Тогда после подстановки получим:

$$u_{1,k} = \frac{\omega_n^S}{\Delta t} \cdot \Phi_{1,k} - \frac{\omega_n^S}{\Delta t} \cdot \Phi_{1,k-1} + r^S \cdot i_{1,k}^S + \frac{L^S}{\Delta t} \cdot i_{1,k}^S - \frac{L^S}{\Delta t} \cdot i_{1,k-1}^S.$$

Преобразуем выражение к виду:

$$\left[ \frac{\omega_n^S}{\Delta t} \right] \cdot \Phi_{1,k} + \left[ r^S + \frac{L^S}{\Delta t} \right] \cdot i_{1,k}^S = \frac{\omega_n^S}{\Delta t} \cdot \Phi_{1,k-1} + \frac{L^S}{\Delta t} \cdot i_{1,k-1}^S + u_{1,k}.$$

Обозначим:

$$UA = \frac{\omega_n^S}{\Delta t}; \quad KS = r^S + \frac{L^S}{\Delta t}.$$

Тогда для элементов седьмой строки матрицы **A** и седьмого элемента матрицы-столбца **S** ( $n = 7$ ):

$$\underbrace{[UA]}_{a_{7,1}} \cdot \underbrace{\Phi_{1,k}}_{x_1} + \underbrace{[KS]}_{a_{7,7}} \cdot \underbrace{i_{1,k}^s}_{x_7} = \underbrace{UA \cdot \Phi_{1,k-1} + \frac{L^s}{\Delta t} \cdot i_{1,k-1}^s + u_{1,k}}_{s_7}$$

Отсюда элементы матрицы **A**:  $a_{7,1} = UA$ ;  $a_{7,7} = KS$ .

Седьмой элемент  $s_7$  матрицы-столбца **S**:

$$s_7 = UA \cdot \Phi_{1,k-1} + \frac{L^s}{\Delta t} \cdot i_{1,k-1}^s + u_{1,k}$$

Аналогично для  $n = 8, \dots, 12$  запишем:

$$n = 8. \quad \underbrace{[UA]}_{a_{8,2}} \cdot \underbrace{\Phi_{2,k}}_{x_2} + \underbrace{[KS]}_{a_{8,8}} \cdot \underbrace{i_{2,k}^s}_{x_8} = \underbrace{UA \cdot \Phi_{2,k-1} + \frac{L^s}{\Delta t} \cdot i_{2,k-1}^s + u_{2,k}}_{s_8}$$

$$n = 9. \quad \underbrace{[UA]}_{a_{9,3}} \cdot \underbrace{\Phi_{3,k}}_{x_3} + \underbrace{[KS]}_{a_{9,9}} \cdot \underbrace{i_{3,k}^s}_{x_9} = \underbrace{UA \cdot \Phi_{3,k-1} + \frac{L^s}{\Delta t} \cdot i_{3,k-1}^s + u_{3,k}}_{s_9}$$

$$n = 10. \quad \underbrace{[UA]}_{a_{10,4}} \cdot \underbrace{\Phi_{4,k}}_{x_4} + \underbrace{[KS]}_{a_{10,10}} \cdot \underbrace{i_{4,k}^s}_{x_{10}} = \underbrace{UA \cdot \Phi_{4,k-1} + \frac{L^s}{\Delta t} \cdot i_{4,k-1}^s + u_{4,k}}_{s_{10}}$$

$$n = 11. \quad \underbrace{[UA]}_{a_{11,5}} \cdot \underbrace{\Phi_{5,k}}_{x_5} + \underbrace{[KS]}_{a_{11,11}} \cdot \underbrace{i_{5,k}^s}_{x_{11}} = \underbrace{UA \cdot \Phi_{5,k-1} + \frac{L^s}{\Delta t} \cdot i_{5,k-1}^s + u_{5,k}}_{s_{11}}$$

$$n = 12. \quad \underbrace{[UA]}_{a_{12,6}} \cdot \underbrace{\Phi_{6,k}}_{x_6} + \underbrace{[KS]}_{a_{12,12}} \cdot \underbrace{i_{6,k}^s}_{x_{12}} = \underbrace{UA \cdot \Phi_{6,k-1} + \frac{L^s}{\Delta t} \cdot i_{6,k-1}^s + u_{6,k}}_{s_{12}}$$

Окончательно, матрица **A** примет следующий вид, удобный для программирования в MatLab:

$$A = \begin{array}{cccccc|cccccc} B & C & D & 0 & -D & E & Y & T & 0 & 0 & 0 & -T \\ E & B & C & D & 0 & -D & -T & Y & T & 0 & 0 & 0 \\ -D & E & B & C & D & 0 & 0 & -T & Y & T & 0 & 0 \\ 0 & -D & E & B & C & D & 0 & 0 & -T & Y & T & 0 \\ D & 0 & -D & E & B & C & 0 & 0 & 0 & -T & Y & T \\ C & D & 0 & -D & E & B & T & 0 & 0 & 0 & -T & Y \\ \hline UA & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & KS & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & UA & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & KS & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & UA & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & KS & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & UA & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & KS & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & UA & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & KS & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & UA & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & KS \end{array}$$

Неизвестные переменные (потоки и токи в статорной обмотке) в  $k$ -ый момент времени определяется в результате следующей операции с матрицами:

$$X = A^{-1} \cdot S,$$

Далее, подставляя в уравнение (1)  $n = 1 \dots 12$ , определяем токи в роторе:

$$i_1^R = -\omega_n^S \cdot x_7 - R_\delta \cdot x_6 + 2 \cdot R_\delta \cdot x_1 - R_\delta \cdot x_2;$$

$$i_2^R = -\omega_n^S \cdot x_8 - R_\delta \cdot x_1 + 2 \cdot R_\delta \cdot x_2 - R_\delta \cdot x_3;$$

$$i_3^R = -\omega_n^S \cdot x_9 - R_\delta \cdot x_2 + 2 \cdot R_\delta \cdot x_3 - R_\delta \cdot x_4;$$

$$i_4^R = -\omega_n^S \cdot x_{10} - R_\delta \cdot x_3 + 2 \cdot R_\delta \cdot x_4 - R_\delta \cdot x_5;$$

$$i_5^R = -\omega_n^S \cdot x_{11} - R_\delta \cdot x_4 + 2 \cdot R_\delta \cdot x_5 - R_\delta \cdot x_6;$$

$$i_6^R = -\omega_n^S \cdot x_{12} - R_\delta \cdot x_5 + 2 \cdot R_\delta \cdot x_6 - R_\delta \cdot x_6.$$

Электромагнитные усилия на зубцовом делении определяются по следующим формулам:

$$F_1 = \frac{x_2 - x_6}{2t_z} \cdot i_1^r; \quad F_2 = \frac{x_3 - x_1}{2t_z} \cdot i_2^r; \quad F_3 = \frac{x_4 - x_2}{2t_z} \cdot i_3^r;$$

$$F_4 = \frac{x_5 - x_3}{2t_z} \cdot i_4^r; \quad F_5 = \frac{x_6 - x_4}{2t_z} \cdot i_5^r; \quad F_6 = \frac{x_1 - x_5}{2t_z} \cdot i_6^r;$$

$$\text{Суммарное усилие: } F_\Sigma = \sum_{n=1}^6 F_n.$$

$$\text{Скорость в } k\text{-ый момент времени: } v_k = v_{k-1} + \frac{F_\Sigma}{m} \cdot \Delta t.$$

Произведем построение математической модели асинхронного двигателя методом Гаусса-Жордана с использованием языка программирования MatLab. Ниже приведен пример кода:

```
function ADq1spin
% Исходные данные асинхронного двигателя
Rb=0.1003*10^7;
rs=9.5;
Ls=0.037;
rr=4.6345*10^-5;
Lr=0.0372*10^-5;
dt=0.001;
tz=9.769*10^-3;
m=0.95;
v0=0;
wn=200;
f=50;
w=2*pi*f;
UA=wn/dt;
Um=310/(2*1.73);
x=zeros(12,1);
F=0;
K=input('длительность цикла k=');

for k=1:(K+1)
    v(1,k)=v0; % создание вектор-строки для графика скорости
    f(1,k)=sum(F); % создание вектор-строки для графика усилия
```



```

U (1)=Um*cos (w* (k-1)*dt);
U (2)=Um*cos (w* (k-1)*dt-2*pi/6);
U (3)=Um*cos (w* (k-1)*dt-2*pi*2/6);
U (4)=Um*cos (w* (k-1)*dt-2*pi*3/6);
U (5)=Um*cos (w* (k-1)*dt-2*pi*4/6);
U (6)=Um*cos (w* (k-1)*dt-2*pi*5/6);

% создание матрицы A
A=zeros (12);
B=2*Rb* (rr+Lr/dt)+1/dt;
C=-Rb* (rr+Lr/dt)+ (2*Rb*Lr+1)*v0/ (2*tz);
D=-Rb*Lr*v0/ (2*tz);
E=-Rb* (rr+Lr/dt) - (2*Rb*Lr+1)*v0/ (2*tz);
T=-wn*Lr*v0/ (2*tz);
Y=-wn* (rr+Lr/dt);
W1=-wn*Lr/dt;
P=-Rb*Lr/dt;
Q= (2*Rb*Lr+1)/dt;
KS=rs+Ls/dt;

% Матрица A
for n=1:6
    A (n,n)=B;
    A (n,n+6)=Y;
    A (n+6,n)=UA;
    A (n+6,n+6)=KS;
end;
for n=1:5
    A (n+1,n)=E;
    A (n,n+1)=C;
    A (n+1,n+6)=-T;
    A (n,n+7)=T;
end;
for n=1:4
    A (n+2,n)=-D;
    A (n,n+2)=D;
end;
for n=1:2
    A (n+4,n)=D;
    A (n,n+4)=-D;
end;
A (1,6)=E;
A (6,1)=C;
A (1,12)=-T;
A (6,7)=T;

% Матрица свободных членов
S= [w1*x (7)+Q*x (1)+P* (x (6)+x (2));
    w1*x (8)+Q*x (2)+P* (x (1)+x (3));
    w1*x (9)+Q*x (3)+P* (x (2)+x (4));
    w1*x (10)+Q*x (4)+P* (x (3)+x (5));
    w1*x (11)+Q*x (5)+P* (x (4)+x (6));
    w1*x (12)+Q*x (6)+P* (x (5)+x (1));
    UA*x (1)+ (Ls/dt)*x (7)+U (1);
    UA*x (2)+ (Ls/dt)*x (8)+U (2);
    UA*x (3)+ (Ls/dt)*x (9)+U (3);

```

```

UA*X (4)+ (Ls/dt)*X (10)+U (4);
UA*X (5)+ (Ls/dt)*X (11)+U (5);
UA*X (6)+ (Ls/dt)*X (12)+U (6)];

```

```
% Решение методом Гаусса-Жордана
```

```
Z=rref ([A S]); % Приведение расширенной матрицы к треугольному виду
X=Z (1:12,13:13); % Выделение последнего столбца из матрицы
```

```
% Ток ротора
```

```

Ir (1)=-wn*X (7)+Rb* (-X (6)+2*X (1)-X (2));
Ir (2)=-wn*X (8)+Rb* (-X (1)+2*X (2)-X (3));
Ir (3)=-wn*X (9)+Rb* (-X (2)+2*X (3)-X (4));
Ir (4)=-wn*X (10)+Rb* (-X (3)+2*X (4)-X (5));
Ir (5)=-wn*X (11)+Rb* (-X (4)+2*X (5)-X (6));
Ir (6)=-wn*X (12)+Rb* (-X (5)+2*X (6)-X (1));

```

```
% Электромагнитное усилие
```

```

F (1)= (X (2)-X (6))*Ir (1)/ (2*tz);
F (2)= (X (3)-X (1))*Ir (2)/ (2*tz);
F (3)= (X (4)-X (2))*Ir (3)/ (2*tz);
F (4)= (X (5)-X (3))*Ir (4)/ (2*tz);
F (5)= (X (6)-X (4))*Ir (5)/ (2*tz);
F (6)= (X (1)-X (5))*Ir (6)/ (2*tz);

```

```
% Скорость
```

```
v0=v0+ (sum (F)/m)*dt;
end;
```

```
% Построение графиков
```

```

k=0:K;
subplot (2,1,1);
plot (k*dt,v);
title ('Скорость');
xlabel ('t, с');
ylabel ('v, м/с');
grid on
subplot (2,1,2);
plot (k*dt,f);
title ('Электромагнитное усилие');
xlabel ('t, с');
ylabel ('F, Н');
grid on
end

```

Результаты моделирования представлены на рис. 3.

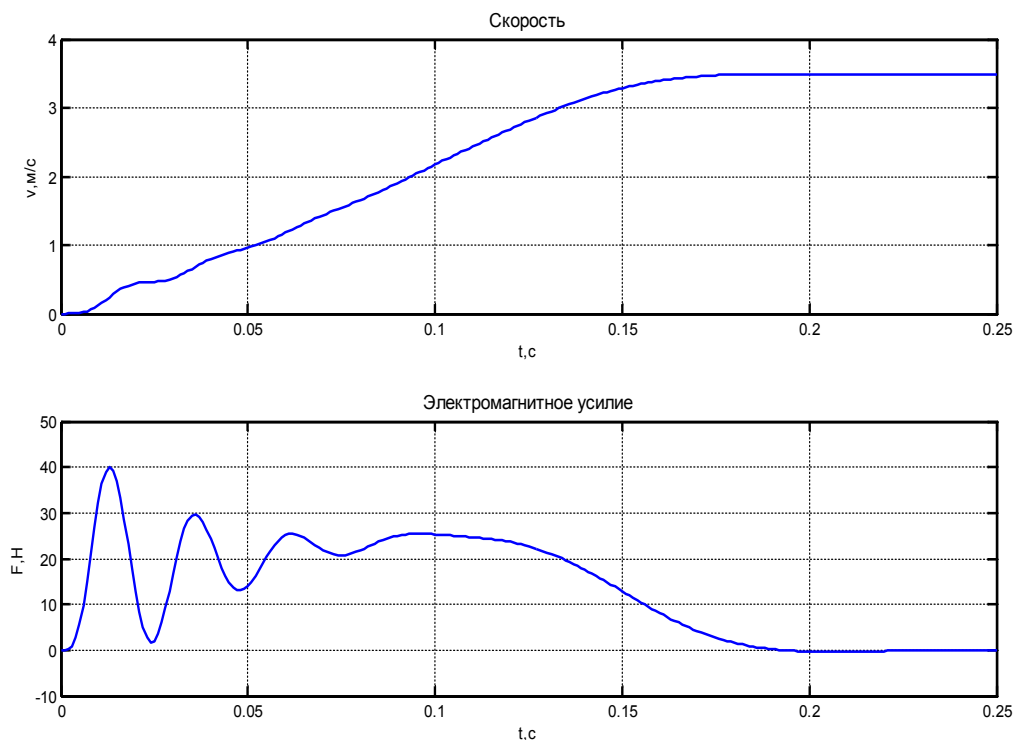


Рис. 3. Результат моделирования асинхронного двигателя в режиме прямого пуска

Литература:

1. Сарапулов Ф.Н., Емельянов А.А., Иваницкий С.В., Резин М.Г. Исследование электромеханических переходных процессов линейного асинхронного короткозамкнутого двигателя // Электричество. – 1982. – № 10. – С. 54–57.
2. Емельянов А.А., Богатов Е.А., Клишин А.В., Медведев А.В., Симонович В.Г. Математическая модель линейного асинхронного двигателя на основе магнитных схем замещения // Молодой ученый. – 2010. – № 5. – с. 14–22.
3. Емельянов А.А., Медведев А.В., Богатов Е.А., Кобзев А.В., Бочкарев Ю.П. Программирование линейного асинхронного двигателя в MATLAB // Молодой ученый. – 2013. – № 3. – С. 129–143.
4. Емельянов А.А., Медведев А.В., Кобзев А.В., Бочкарев Ю.П., Евдокимов О.В. Моделирование асинхронного двигателя с помощью магнитных и электрических схем замещения // Молодой ученый. – 2013. – № 4. – С. 1–10.
5. Ануфриев И.Е. и др. MATLAB 7 / Ануфриев И.Е., Смирнов А.Б., Смирнова Е.Н.. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 1104 с.

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

### Многокритериальная оптимизация процесса трелевки на выборочных рубках в малолесных районах

Абрамов Виталий Викторович, кандидат технических наук, старший преподаватель  
Воронежская государственная лесотехническая академия

В настоящее время для оценки технологических и операционных процессов используют несколько разновидностей критериев оптимальности: экономические, технико-экономические и технологические. В условиях выборочных рубок особую значимость имеет лесоводственно-экологическая оценка последствий выполнения операций или процессов. В этой связи, необходим комплексный подход при обосновании технико-технологических решений на лесосечных работах по следующим противоречивым направлениям: снижение себестоимости работ, сокращение общей доли непродуцирующих технологических площадей и уменьшение негативного воздействия оставляемому древостою, подросту, подлеску и почвенному покрову [4, с. 109]. Наиболее существенное воздействие на результат проводимых рубок с обозначенных позиций производит трелевка. Для оценки эффективности ее проведения предлагается следующий критерий:

$$C = C_{np} + C_k + C_d + EC_T = \frac{C_{м-см} M_i}{P_{см}} + Z_{ср} S_n \Delta_{тек} T + S_n C_{н.в.} + EC_T, \quad (1)$$

где  $C$  – общие затраты на выполнение трелевки, руб;  
 $C_{np}$  – прямые затраты на выполнение трелевки, руб;  
 $C_k$  – косвенные затраты на выполнение трелевки, руб;  
 $C_d$  – дополнительные затраты на выполнения трелевки, руб;  
 $C_{м-см}$  – себестоимость содержания машино-смены трелевочного средства, руб;  
 $M_i$  – вырубаемый объем древесины на лесосеке в  $i$ -й прием рубок; м<sup>3</sup>;  
 $P_{см}$  – сменная производительность трелевочной техники, м<sup>3</sup>;  
 $Z_{ср}$  – средняя цена заготавливаемой древесины, руб/м<sup>3</sup>;  
 $S_n$  – непродуцирующие площади на лесосеке, га;  
 $\Delta_{тек}$  – годичный прирост древесины, м<sup>3</sup>/га;

$T$  – интервал между приемами рубок, лет;  
 $C_{н.в.}$  – себестоимость подготовки 1 м<sup>2</sup> технологических площадей, руб/м<sup>3</sup>;

$EC_T$  – балансовая стоимость трелевочного средства, руб.

Прямые затраты представляют собой стоимость трелевки всей заготавливаемой на лесосеке в  $i$ -й прием рубок древесины. К косвенным затратам относится стоимость потерь в приросте из-за площадей занятых под волоки. Дополнительные затраты выражают собой стоимость подготовки транспортной сети для процесса трелевки. Таким образом, представленный критерий чувствителен к двум направлениям совершенствования процесса трелевки: снижению себестоимости трелевки за счет роста ее производительности; снижения денежных потерь путем уменьшения доли непродуцирующих площадей [5, с. 79]. В связи с этим представляется целесообразным общие затраты на выполнение трелевки  $C$  принять за основную целевую функцию, а остальные, необходимые для более полной и глубокой оценки эффективности исследуемых технологий и способов трелевки считать дополнительными. Таким образом, задача оптимизации трелевки становится многокритериальной.

Входящая в прямые затраты на трелевку  $C_{np}$  себестоимость содержания машино-смены используемой техники  $C_{м-см}$  складывается из следующих эксплуатационных расходов: зарплата основных рабочих с начислениями и доплатами; основной и дополнительной зарплат вспомогательных рабочих и обслуживающего персонала; стоимости текущих ремонтов; стоимости топлива и смазочных материалов; амортизационных отчислений; прочих производственных затрат.

Зарплата основных рабочих зависит от количества рабочих, обслуживающих трактор. К ним относятся тракторист и прицепщики. Опыт трелевки леса тракторами показывает, что количество прицепщиков зависит в основном от производственных условий (таксационной характеристики древостою и организации работ). Основная и дополнительная зарплата тракториста и прицепщика с начислениями может быть определена из следующего уравнения



$$Z = T(T_m + n_n T_n)(1 + k_\partial), \quad (2)$$

где  $T$  – продолжительность смены в часах;  
 $T_m$  – часовая тарифная ставка тракториста, руб;  
 $T_n$  – часовая тарифная ставка прицеппщика, руб;  
 $n_n$  – количество прицеппщиков, обслуживающих один трактор;

$k_\partial$  – суммарный нормативный коэффициент доплат к основной зарплате.

В статью зарплат вспомогательных рабочих и обслуживающего персонала включаются: зарплата вспомогательных рабочих, занятых на содержании тракторов (подвозка воды и ГСМ, подогрев воды и смазочных масел, охрана и перебазирование тракторов, прогрев тракторов зимой); зарплата рабочих, занятых на подготовительных работах (содержание трелевочных волоков). Основную и дополнительную зарплату вспомогательных рабочих с начислениями можно определить по следующей формуле

$$Z_\partial = T n_\partial T_\partial (1 + k_\partial), \quad (3)$$

где  $n_\partial$  – трудозатраты на содержание трактора и трелевочных волоков, чел.днях/см;

$T_\partial$  – часовая тарифная ставка вспомогательных рабочих, руб.;

$k_\partial$  – коэффициент доплат к основной зарплате вспомогательных рабочих.

Статья затрат на текущий ремонт представляет собой: затраты на профилактическое обслуживание и текущий ремонт трелевочных тракторов. Затраты на ремонтное обслуживание трактора, приходящиеся на одну машино-смену, могут быть определены исходя из балансовой стоимости трактора и годового процента отчислений на текущие ремонты

$$P_m = \frac{C_m \psi}{100 t}, \quad (4)$$

где  $C_m$  – балансовая стоимость трактора, руб.;

$\psi$  – годовой размер отчислений на техход и текущий ремонт (в % от первоначальной стоимости трактора);

$t$  – количество смен работы трактора в году.

Расход топлива зависит, в основном, от мощности двигателя трактора и степени его загрузки и может быть определен по следующей формуле

$$q_m = T \eta_N \eta_T q_n N, \quad (5)$$

где  $T$  – количество часов работы трактора в смену;

$N$  – мощность трактора, кВт.;

$\eta_N$  – коэффициент использования мощности двигателя;

$\eta_T$  – коэффициент использования двигателя по времени;

$q_n$  – норматив расхода топлива на 1 кВт в час, кг.

Расход смазочных масел устанавливается в процентах от расхода топлива. Для дизельных двигателей

$$q_m = 0,07 q_n. \quad (6)$$

Стоимость топлива и смазочных материалов может быть определена из следующего выражения

$$\Gamma = T \eta_N \eta_T N (q_m \alpha + q_m \alpha_1) \rho_m. \quad (7)$$

Обозначив  $T \eta_N \eta_T q_m = q$  получим

$$\Gamma = q (\alpha + 0,07 \alpha_1) \rho_m N, \quad (8)$$

где  $\alpha$  – стоимость 1 кг топлива, руб.;

$\alpha_1 \partial$  – стоимость 1 кг смазочных масел, руб.;

$\rho_m$  – транспортные расходы.

Нормы амортизационных отчислений устанавливаются для полной реновации первоначальной стоимости трактора и проведения капитальных ремонтов. Размер амортизационных отчислений обычно устанавливается в процентах к балансовой стоимости оборудования и может быть определен по следующей формуле

$$H = \frac{C_m + \sum K - \Delta}{T_a C_m} 100\%, \quad (9)$$

где  $H$  – годовая норма амортизационных отчислений (в % к балансовой стоимости трактора);

$C_m$  – балансовая стоимость оборудования, руб;

$\sum K$  – стоимость всех капитальных ремонтов за период службы трактора, руб.;

$\Delta$  – ликвидационная стоимость трактора, руб.;

$T_a$  – амортизационный период, лет.

Ликвидационная стоимость механизма определяется по следующей формуле

$$\Delta = P_\kappa n f_m, \quad (10)$$

где  $P_\kappa$  – конструктивный вес механизма, кг.;

$n$  – выход металлолома от конструктивного веса в долях от единицы (0,8);

$f_m$  – стоимость 1 кг металлолома, руб.

Сменный размер амортизационных отчислений можно определить из следующего выражения

$$A = \frac{C_m H}{100 t}, \quad (11)$$

где  $t$  – число смен работы трактора за год.

Количество капитальных ремонтов и их стоимость зависят от принятых для определения норм амортизации сроков службы трактора, межремонтного цикла, стоимости и мощности трактора [3, с. 32]. С увеличением мощности трактора увеличивается его стоимость и затраты на проведение капитальных ремонтов. Структура затрат на проведение капитальных ремонтов трактора аналогична структуре затрат на изготовление трактора. Она состоит из затрат, не зависящих от мощности двигателя трактора (постоянных затрат) и переменных затрат, величина которых изменяется с изменением мощности. В общем виде сменная стоимость капитального ремонта трактора может быть выражена

$$K_2 = \frac{K_1 + K_2 N}{t}, \quad (12)$$

где  $K_1$  – постоянные затраты на капитальный ремонт трактора, руб.;

$K_2N$  – переменные затраты, руб.

Прочие производственные затраты включают в себя: постоянные затраты –  $P_1$  (малоценный и быстроизнашивающийся инструмент и приспособления, спецодежда); переменные расходы  $P_2N$ , величина которых зависит от мощности трактора. Это расходы на тросы и чокера, стоимость металла, идущего на изготовление крюков и колец чокеров. В общем виде формула для определения прочих затрат имеет вид

$$P_n = P_1 + P_2N. \quad (13)$$

Затраты на малоценный и быстроизнашивающийся инструмент, по данным лесхозов за 2007, составляют примерно 1450 рублей в год. Сумму возмещения износа спецодежды можно определить, исходя из норм расхода и стоимости спецодежды, бесплатно выдаваемой рабочим, занятым на трелевке.

В качестве дополнительных критериев к основному предлагается принять прямые  $C_{np}$ , косвенные  $C_k$  и дополнительные  $C_d$  затраты на трелевку, которые входят в основной критерий  $C$  в формуле 1; а также затраты труда

$$C_{mp} = \frac{n_p M_i}{P_{cm}}, \quad (14)$$

где  $n_p$  – количество задействованных в технологическом процессе рабочих);

и показатель повреждаемости оставляемых деревьев

$$W_{повр} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{m}, \quad (15)$$

где  $P_i$  – вероятность повреждения  $i$ -го количества деревьев;

$m$  – общее количество прогнозируемых повреждений.

Анализ отдельных критериев оптимизации позволяет сделать однозначные выводы об эффективности процесса трелевки, однако полное решение оптимизационной задачи требует рассмотрения взаимодействия дополнительных критериев, и их совокупности. Поэтому требуется использовать метод комплексного критерия. Для этого необходимо, применяя так называемый способ свертки критериев, определить вес каждого из них. Рекомендуется этот вес устанавливать, исходя из опыта и знаний исследователя, если предварительно накоплены сведения об оптимизируемом объекте. В этом случае отпадает необходимость прибегать к экспертной оценке, методу последовательных уступок, отбору критериев по методу множества Парето и другим приемам.

Литература:

1. Абрамов В.В. Имитационное моделирование работы трелевочных средств на выборочных рубках [Текст] / В.В. Абрамов; ВГЛТА. – Воронеж, 2008. – 96 с. – Деп. в ВИНТИ 22.07.2008, № 631-В2008.
2. Абрамов В.В. Разработка и обоснование эффективной технологии трелевки в малолесных районах [Текст]: дис.... к-та техн. наук: 05.21.01 / В.В. Абрамов. – Воронеж: ВГЛТА, 2009. – 288 с.
3. Абрамов В.В. Трелевка леса в малолесных районах России: деп. рукопись / Воронеж. гос. лесотехн. акад. – Воронеж, 2005. – 63 с.

Для формирования обобщенного критерия используем способ его выражения в виде дроби, где в числителе будет сумма всех частных критериев, которые надо минимизировать, а в знаменателе – максимизируемых критериев [6,7]. Необходимым условием свертки критериев в виде дроби является их одинаковая размерность. Предложенные нами критерии  $C$ ,  $C_k$ ,  $C_d$ ,  $C_{mp}$  этому условию не соответствуют, поэтому приведем их к безразмерной величине

$$q_1 = 1 - \frac{C_{\max} - C_{\min}}{C_{\max}}; \quad q_2 = 1 - \frac{C_{np.\max} - C_{np.\min}}{C_{np.\max}};$$

$$q_3 = 1 - \frac{C_{k.\max} - C_{k.\min}}{C_{k.\max}}; \quad q_4 = 1 - \frac{C_{d.\max} - C_{d.\min}}{C_{d.\max}};$$

$$q_5 = \frac{C_{mp.\max} - C_{mp.\min}}{C_{mp.\max}}; \quad q_6 = 1 - W_{повр.\min}. \quad (16)$$

где  $C_{\max}$ ,  $C_{\min}$ ,  $C_{np.\max}$ ,  $C_{np.\min}$ ,  $C_{k.\max}$ ,  $C_{k.\min}$ ,  $C_{d.\max}$ ,  $C_{d.\min}$ ,  $C_{mp.\max}$ ,  $C_{mp.\min}$ ,  $W_{повр.\min}$  – максимальные и минимальные значения результатов оптимизации по каждому критерию в отдельности.

В условиях малолесных районов, по мнению большинства экспертов, а также своих знаний и опыта исследований, значимость критерия качества проведения рубок несколько превосходит их экономическую целесообразность и затраты труда. В связи с этим, приняты следующие весовые коэффициенты:  $\lambda_1 = 0,1$ ;  $\lambda_2 = 0,1$ ;  $\lambda_3 = 0,1$ ;  $\lambda_4 = 0,1$ ;  $\lambda_5 = 0,1$ ;  $\lambda_6 = 0,5$ . Учитывая то, что проведенный анализ позволил нам предварительно установить влияние отдельных критериев оптимизации, единый обобщенный критерий в нашем случае можно определить на основании взвешивания каждого отдельного критерия следующим образом

$$Q = \frac{\lambda_1 q_1 + \lambda_2 q_2 + \lambda_3 q_3 + \lambda_4 q_4}{\lambda_5 q_5 + \lambda_6 q_6}. \quad (17)$$

где  $q_1$ ,  $q_2$ ,  $q_3$ ,  $q_4$ ,  $q_5$ ,  $q_6$  показатели общих, прямых, косвенных, дополнительных, трудовых затрат на трелевку и повреждаемости древостоя в безразмерном виде [2, с. 46].

Таким образом, для выполнения многокритериальной оптимизации процесса трелевки на базе разработанных имитационных моделей выработан комплексный критерий оценки выполнения операции с позиций технико-экономической и лесоводственно-экологической эффективности. Разработанный критерий позволяет одновременно учитывать прямые, дополнительные, косвенные и трудовые затраты, а также вероятность повреждения оставляемых деревьев [1, с. 38].

4. Пошарников Ф.В., Абрамов В.В. Выполнение трелевки в условиях постоянного и непрерывного лесопользования // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2008. – № 6. – С. 108–111.
5. Пошарников Ф.В., Абрамов В.В., Бондаренко А.В. Обоснование оптимальных параметров работы трелевочных средств на несплошных рубках // Лесотехнический журнал. – 2011. – № 1. – С. 76–80.
6. Абрамов В.В., Пошарников Ф.В., Бондаренко А.В., Оптимизация транспортно-технологических параметров первичной транспортировки древесины на выборочных рубках // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 1. URL: <http://www.science-education.ru/101-5486>.

## Исследование продолжительности трелевки на выборочных рубках

Абрамов Виталий Викторович, кандидат технических наук, старший преподаватель  
Воронежская государственная лесотехническая академия

На сегодняшний день существующие зависимости по определению продолжительности процесса трелевки не всегда адекватны для конкретных природно-производственных условий, так как в недостаточной степени учитывают технологические параметры работы техники, технологию разработки пасеки и формирования воя, а также таксационную характеристику древостоя и специфику малообъемной заготовки древесины. В этой связи актуальным становится изучение продолжительности цикла работы трелевочной техники с учетом обозначенных недостатков.

Общее уравнение по определению времени цикла трелевки [1, с. 76] имеет следующий вид:

$$T_{ц} = t_{ф.в.} + t_{р.в.} + t_{м.} = t_{ф.в.} + t_{р.в.} + \frac{V_p + V_x}{V_p V_x} l_{cp}, \quad (1)$$

где  $T_{ц}$  – продолжительность цикла работы трелевочной техники, с;

$t_{ф.в.}$  – затраты времени на формирование воя, с;

$t_{р.в.}$  – затраты времени на разгрузку воя, с;

$t_{м.}$  – транспортное время рейса, с;

$l_{cp}$  – среднее расстояние трелевки, м;

$V_p$  – средняя скорость рабочего хода трелевочного средства, м/с;

$V_x$  – средняя скорость холостого хода трелевочного средства, м/с.

Технология проведения несплошных рубок предполагает рассредоточенность лесоматериалов по ширине пасеки и соответственно перемещение их к волоку становится, возможно, только в единичном состоянии. В связи с этим время формирования воя разделится на подтрелевку лесоматериалов к волоку ( $t_{н.л.}$ ) и набор воя ( $t_{н.в.}$ ):

$$t_{ф.в.} = t_{н.л.} + t_{н.в.}, \quad (2)$$

Время подтрелевки единичного лесоматериала к волоку техническим средством выразим следующим образом:

$$\begin{aligned} t_{н.л.}^1 &= t_{н.н.д.} + t_{о.н.д.} + t_{м.м.с.} + t_{н.м.о.} + t_{д.н.у.} + t_{н.д.в.} + t_{р.н.м.} = \\ &= t_{н.н.д.} + t_{о.н.д.} + t_{м.м.с.} + t_{н.м.о.} + \frac{V_{д.н.у.} + V_{н.д.в.}}{V_{д.н.у.} V_{н.д.в.}} l_{cp.н.} + t_{р.н.м.}, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $t_{н.н.д.}$  – затраты времени на прицепку подтрелевываемой древесины, с;

$t_{о.н.д.}$  – затраты времени на отцепку подтрелевываемой древесины, с;

$t_{м.м.с.}$  – затраты времени на маневры технического средства при его установке для выполнения подтрелевки, с;

$t_{н.м.о.}$  – затраты времени на подготовку к работе технологического оборудования подтрелевочной техники (опускание щита, растормаживание лебедки, разбор прицепного оборудования), с;

$t_{д.н.у.}$  – затраты времени на доставку прицепного устройства на полупасеку, с;

$t_{н.д.в.}$  – затраты времени на перемещение древесины с полупасеки к подтрелевочному средству на волоке (технологическом коридоре), с;

$t_{р.н.м.}$  – затраты времени на разворот прибывшей техники для подтрелевки, с;

$V_{д.н.у.}$  – средняя скорость доставки прицепного устройства на полупасеку, м/с;

$V_{н.д.в.}$  – средняя скорость подтрелевки древесины, м/с;

$l_{ср.н.}$  – среднее расстояние подтрелевки, м.

Среднее расстояние подтрелевки при равномерном распределении лесонасаждений по площади:

$$l_{ср.н.} = \frac{b_n - b_e - 2 \sin \alpha l_{ср.хл.}}{4 \sin \alpha}, \quad (4)$$

где  $b_n$  – ширина пасеки, м;

$b_e$  – ширина волока, м;

$\alpha$  – угол укладки дерева относительно трелевочного волока,

$l_{ср.хл.}$  – средняя длина подтрелевываемого лесоматериала, м.

Количество приемов подтрелевки единичного лесоматериала к волоку с одной технологической стоянки  $m$  ограничивается возможностями технологического оборудования техники, шириной пасеки, а также зависит от густоты насаждения и степени его изреживания [2, с. 11]. Среднее количество приемов подтрелевки лесоматериалов в необходимом объеме трелеваемого воста  $n$  зависит, кроме этого от таксационной характеристики древостоя:

$$n = \frac{k}{q} = \frac{Qp}{q}, \quad (5)$$

где  $k$  – объем древесины подтрелевываемый с одной технологической стоянки, м<sup>3</sup>;

$q$  – средний объем древесины подтрелевываемый за один прием, м<sup>3</sup>;

$p$  – доля подтрелевываемой древесины с одной технологической позиции относительно рейсовой нагрузки технического средства  $Q$ .

Таким образом, время на подтрелевку лесоматериалов к волоку в необходимом объеме трелеваемого воста примет следующий вид:

$$t_{н.л.} = nt_{н.л.}^1 = \frac{Qp}{q} \left( t_{н.н.д.} + \frac{(V_{д.н.у.} + V_{н.д.в.})(b_n - b_e - 2 \sin \alpha l_{ср.хл.})}{4 V_{д.н.у.} V_{н.д.в.} \sin \alpha} + t_{о.н.д.} \right) + t_{м.м.с.} + t_{н.м.о.} + t_{р.н.м.}, \quad (6)$$

Полученные выражения справедливо при условии ( $p = 1$ ). Однако, в условиях проведения несплошных рубок для подтрелевки лесоматериалов в необходимом объеме одной технологической стоянки, как правило, недостаточно ( $p < 1$ ). В связи с этим, время подтрелевки лесоматериалов ( $t_{н.л.}$ ) дополнительно будет включать в себя продолжительность перемещения техники, на смежную стоянку учитывая количество необходимых переездов:

$$t_{н.л.}^{11} = xt_{н.с.с.} = x \left( \frac{l_{м.н.}}{V_{м.н.}} \right), \quad (7)$$

где  $t_{н.с.с.}$  – время переезда подтрелевочной техники на смежную технологическую стоянку, с;

$x$  – количество необходимых переездов на смежные стоянки для подтрелевки лесоматериалов в необходимом объеме трелеваемого воста;

$l_{м.н.}$  – среднее расстояние переезда между технологическими стоянками, м;

$V_{м.н.}$  – средняя скорость переезда на смежные технологические стоянки.

Очевидно, что количество переездов  $x$  будет определяться из следующего выражения:



$$x = z - 1 = \frac{Q}{k} - 1. \quad (8)$$

где  $z$  – количество технологических остановок для формирования пачки необходимого объема.  
 При этом объем древесины подтрелевываемый с одной технологической стоянки (рис. 1) можно выразить как:

$$k = \frac{q_{za} S k_p}{10^4} = q_{za} \frac{b_n - b_e}{2} l_{o.l.} k_p 10^{-4}, \quad (9)$$

где  $q_{za}$  – запас древостоя на 1 га, м<sup>3</sup>;

$S$  – площадь лесосеки (зоны) обрабатываемой с одной технологической стоянки, м<sup>2</sup>;

$k_p$  – степень интенсивности проводимой рубки;

$l_{o.l.}$  – ширина обрабатываемой ленты (ограничивается возможностями технологического оборудования  $l_{m.k.}$  трелевочного средства и условия досягаемости лесоматериала), м.

Таким образом, учитывая вышесказанное время  $t_{n.l.}^{11}$  может быть выражено в следующем виде:

$$\begin{aligned} t_{n.l.}^{11} &= x \left( \frac{l_{m.n.}}{V_{m.n.}} \right) = \left( \frac{Q}{k} - 1 \right) \left( \frac{l_{m.n.}}{V_{m.n.}} \right) = \left( \frac{2Q10^4}{q_{za} (b_n - b_e) l_{o.l.} k_p} - 1 \right) \left( \frac{l_{m.n.}}{V_{m.n.}} \right) = \\ &= \frac{2Q10^4 l_{m.n.}}{q_{za} (b_n - b_e) l_{o.l.} k_p V_{m.n.}} - \frac{l_{m.n.}}{V_{m.n.}}, \end{aligned} \quad (10)$$

а общее уравнение определения времени на подтрелевку лесоматериалов к волоку в необходимом объеме трелеваемого вола примет следующий вид:

$$\begin{aligned} t_{n.l.} &= n t_{n.l.}^1 + t_{n.l.}^{11} = \frac{Qp}{q} \left( t_{n.n.d.} + t_{o.n.d.} + \frac{(V_{d.n.y.} + V_{n.d.e.})(b_n - b_e - 2 \sin \alpha l_{cp.xl.})}{4 V_{d.n.y.} V_{n.d.e.} \sin \alpha} \right) + \\ &+ t_{m.m.c.} + t_{n.m.o.} + t_{p.n.m.} + \frac{2(t_{m.m.c.} + t_{n.m.o.})Q \cdot 10^4}{q_{za} (b_n - b_e) k_p l_{m.n.}} + \frac{2Q \cdot 10^4 l_{m.n.}}{q_{za} (b_n - b_e) l_{o.l.} k_p V_{m.n.}} - \frac{l_{m.n.}}{V_{m.n.}} \end{aligned} \quad (11)$$

Время набора подтрелеванной с пасеки древесины для последующей ее трелевки  $t_{n.e.}$  выразим следующим образом:

$$\begin{aligned} t_{n.e.} &= t_{n.m.o.}^{11} + t_{o.m.} + t_{n.n.} + t_{n.m.d.} + t_{n.z.l.} + t_{z.c.e.} = t_{n.m.o.}^{11} + \frac{V_{o.m.} + V_{n.z.l.}}{V_{o.m.} \cdot V_{n.z.l.}} l_{cp.om.} + \\ &+ t_{n.n.} + t_{n.m.d.} + t_{z.c.e.}, \end{aligned} \quad (12)$$

где  $t_{n.m.o.}^{11}$  – затраты времени на подготовку к работе технологического оборудования трелевочной техники (опускание щита, растормаживание лебедки, разбор прицепного оборудования, раскрытие клещевого захвата), с;

$t_{o.m.}$  – затраты времени на оттаскивание тягово-собирающего троса вдоль волока для сбора трелеваемого вола, с;

$t_{n.n.}$  – затраты времени на переходы прицепщика при чокеровке, с;

$t_{n.m.d.}$  – затраты времени на чокеровку лесоматериалов, с;

$t_{n.z.l.}$  – затраты времени на перемещение тягово-собирающего троса с зачокерованными лесоматериалами к трелевочному средству, с;

$t_{z.c.e.}$  – время затаскивание собранного вола на щит, с;

$V_{o.m.}$  – средняя скорость оттягивания каната для сбора лесоматериалов в необходимом объеме трелеваемого вола, м/с;

$V_{n.z.l.}$  – средняя скорость перемещения зачокерованных лесоматериалов по волоку к трелевочному средству, м/с;

$l_{cp.om.}$  – средняя длина оттягивания каната для сбора лесоматериалов в необходимом объеме трелюемого веза, с.

Среднюю длину оттягивания каната при сборе лесоматериалов в необходимом объеме трелюемого веза выразим следующим образом:

$$l_{cp.om.} = \frac{2Q \cdot 10^4}{q_{za} (b_n - b_6) k_p}, \quad (13)$$

В условиях проведения несплошных рубок оттягивание каната на длину  $l_{cp.om.}$ , позволяющую собрать лесоматериалы в необходимом объеме трелюемого веза, может ограничиваться возможностями технологического оборудования [3, с. 109]. В такой ситуации требуемый объем трелюемого веза будет формироваться в несколько приемов:

$$c = \frac{l_{cp.om.}}{l_{m.o.}}, \quad (14)$$

где  $l_{m.o.}$  – длина оттягивания тягово-собирающего троса исходя из возможностей технологического оборудования используемой техники, м.

Таким образом, составляющие  $t_{o.m.}$  и  $t_{n.z.l.}$  при формировании необходимого объема трелюемого веза в несколько приемов:

$$t_{o.m.} + t_{n.z.l.} = \frac{4Q^2 \cdot 10^8 (V_3 + V_4)}{V_3 V_4 q_{za}^2 (b_n - b_6)^2 l_{m.o.} k_p^2}. \quad (15)$$

В случае многократного формирования затраты времени  $t_{n.m.o.}^{11}$  и  $t_{z.c.v.}$  будут определяться как:

$$(t_{n.m.o.}^{11} + t_{z.c.v.}) c = \frac{2(t_{n.m.o.}^{11} + t_{z.c.v.}) Q \cdot 10^4}{q_{za} (b_n - b_6) k_p l_{m.o.}}, \quad (16)$$

Величины  $t_{n.n.}$  и  $t_{n.m.d.}$  могут быть представлены в следующем виде:

$$t_{n.n.} + t_{n.m.d.} = (t_{n.n.}^1 + t_{n.m.d.}^1) \frac{Q}{q_{xl}} = \left( t_{n.n.}^1 + \frac{l_{cp.l.}}{V_{n.ch.v.}} \right) \frac{Q}{q_{xl}}, \quad (17)$$

где  $t_{n.n.}^1$  – затраты времени чокеровку единичного лесоматериала, с;

$t_{n.m.d.}^1$  – время на переходы при чокеровке, отнесенное к единичному лесоматериалу, с;

$q_{xl}$  – средний объем заготавливаемого лесоматериала, м<sup>3</sup>;

$l_{cp.l.}$  – среднее расстояние между лесоматериалами вдоль волока (при варианте с разрубкой технологических визиров  $l_{cp.l.} = l_{m.n.}$ ), м;

$V_{n.ch.v.}$  – средняя скорость перехода чокеровщика вдоль волока от одного лесоматериала к другому, м/с.

Таким образом, на основании вышесказанного время набора подтрелюемой с пасеки древесины для последующей ее трелювки можно выразить следующим образом:

$$t_{n.v.} = t_{n.m.o.}^{11} + t_{o.m.} + t_{n.n.} + t_{n.m.d.} + t_{n.z.l.} + t_{z.c.v.} = \quad (18)$$

$$= \frac{2Q \cdot 10^8 (V_{o.m.} + V_{n.z.l.})}{V_{o.m.} V_{n.z.l.} q_{za}^2 (b_n - b_6)^2 l_{m.o.} k_p^2} + \frac{(t_{n.m.o.}^{11} + t_{z.c.v.}) 10^4}{q_{za} (b_n - b_6) k_p l_{m.o.}} + \frac{t_{n.ch.}^1}{2q_{xl}} + \frac{l_{cp.l.}}{2V_{n.ch.v.} q_{xl}}$$

Затраты времени на разгрузку веза можно выразить следующим образом:

$$t_{p.v.} = t_{c.n.d.} + t_{p.l.} + t_{n.c.k.} + t_{m.o.} + t_{m.v.}, \quad (19)$$

где  $t_{c.n.d.}$  – время сброса пачки деревьев на погрузочную площадку, с;

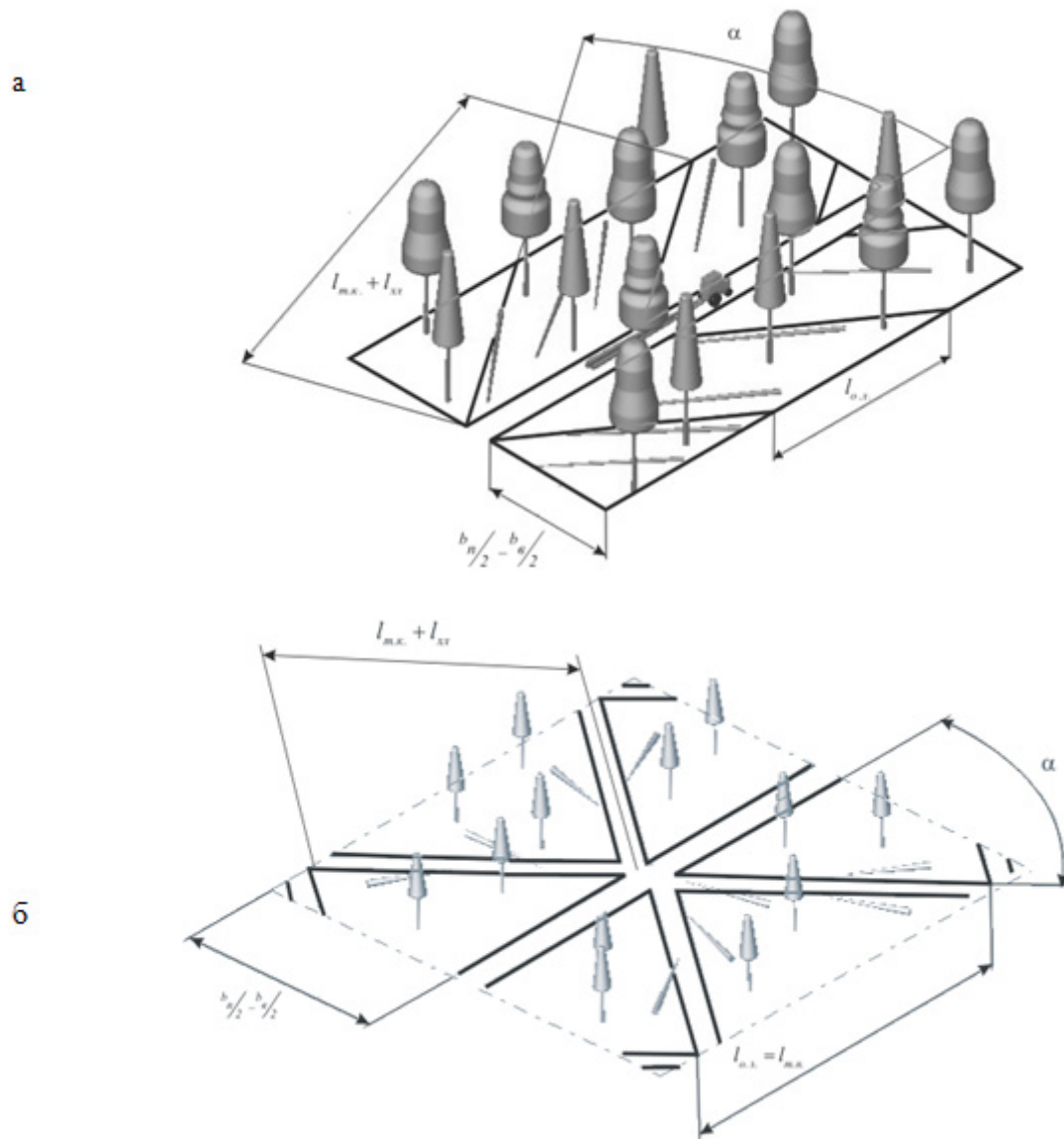


Рис. 1. Исследуемые варианты разработки пасеки:  
 а – без технологических визиров; б – с разрубкой технологических визиров

$t_{р.л.}$  – затраты времени на расчокеровку лесоматериалов, с;

$t_{н.с.к.}$  – затраты времени на подъем щита и сматывание собирающего каната, с;

$t_{м.о.}$  – продолжительность маневров трелевочного средства при выполнении окучивания лесоматериалов на погрузочной площадке, с;

$t_{м.в.}$  – продолжительность маневров трелевочного средства при выравнивании комлей лесоматериалов, с.

На основании полученных зависимостей общее уравнение для определения продолжительности процесса трелевки в условиях малообъемных лесозаготовок на несплошных рубках [4, с. 26] будет иметь следующий вид:

$$T_u = \frac{Qp}{q} \left( t_{н.н.д.} + t_{о.н.д.} + \frac{(V_{д.н.у.} + V_{н.д.в.})(b_n - b_е - 2 \sin \alpha l_{сп.хл.})}{4 V_{д.н.у.} V_{н.д.в.} \sin \alpha} \right) + \frac{2Q \cdot 10^4}{q_{за} (b_n - b_е) k_p} \times$$

$$\times \left( \frac{(t_{м.м.с.} + t_{н.м.о.})}{l_{м.н.}} + \frac{l_{м.н.}}{l_{о.л.} V_{м.н.}} + \frac{10^4 (V_{о.м.} + V_{н.з.л.})}{V_{о.м.} V_{н.з.л.} q_{за} (b_n - b_е) l_{м.о.} k_p} + \frac{t_{н.м.о.}^{11} + t_{з.с.в.}}{2 l_{м.о.} Q} \right) -$$

$$\begin{aligned}
& -\frac{l_{m.n.}}{V_{m.n.}} + t_{m.m.c.} + t_{n.m.o.} + t_{p.n.m.} + \frac{t_{n.ч.}^1}{2 \cdot q_{xl}} + \frac{l_{ср.л.}}{2V_{n.ч.в.}q_{xl}} + \frac{V_p + V_x}{V_p V_x} l_{ср} + t_{с.п.д.} + t_{р.л.} + \\
& + t_{н.с.к.} + t_{м.о.} + t_{м.в.} \quad (20)
\end{aligned}$$

Полученная модель продолжительности процесса трелевки отражает зависимость от следующего ряда факторов: технологические параметры функционирования техники ( $l_{ср}$ ,  $l_{m.n.}$ ,  $l_{m.o.}$ ,  $l_{o.l.}$ ,  $l_{ср.л.}$ ,  $q$ ,  $z$ ,  $\alpha$ ,  $n$ ); технические параметры работы трелевочных средств ( $Q$ ,  $l_{m.к.}$ ,  $t_{n.m.o.}$ ,  $t_{n.m.o.2}$ ,  $t_{o.z.}$ ,  $t_{z.n.v.}$ ,  $t_{n.c.k.}$ ,  $t_{m.o.}$ ,  $t_{m.v.}$ ); таксационные параметры насаждения ( $q_{за}$ ,  $q_{xl}$ ,  $l_{ср.хл.}$ ,  $t_{n.n.d.}$ ,  $t_{n.d.v.}$ ); лесоводственные параметры рубок ( $b_n$ ,  $b_e$ ,  $k_p$ ); система технических и таксационных параметров ( $t_{ч.м.в.}$ ,  $t_{з.с.в.}$ ,  $t_{з.т.в.}$ ,  $t_{с.т.в.}$ ,  $t_{с.п.д.}$ ,  $t_{р.л.}$ ); система технологических, таксационных и лесоводственных параметров ( $l_{ср.л.}$ ); система лесоводственных, технических параметров и условий работы ( $t_{д.п.у}$ ,  $t_{o.m.}$ ); система технологических, технических параметров и условий работы ( $t_m$ ); система технических параметров и условий работы ( $t_{n.d.v.}$ ,  $t_{n.c.c.}$ ,  $t_{n.z.l.}$ ,  $t_{n.c.c2}$ ,  $t_{m.m.c1}$ ,  $t_{m.m.c2}$ ,  $t_{p.n.m.}$ ,  $t_{y.m.n}$ ,  $t_{p.n.m2}$ ). Для ее реализации в задачах оптимизации [5, с. 78] величины  $t_{n.m.o.}$ ,  $t_{m.m.c1}$ ,  $t_{p.n.m.}$ ,  $t_{с.п.д.}$ ,  $t_{n.c.k.}$ ,  $t_{m.o.}$ ,  $t_{m.v.}$  определяются как средневзвешенные в результате обработки данных пассивного эксперимента, так как они не зависят от объема веза и характеристик насаждения. Затраты времени  $t_{n.n.d.}$ ,  $t_{р.л.}$  согласно имеющимся данным, зависят от среднего объема лесоматериала, величины необходимого объема веза, а также стороны чокеровки (комлевая, вершинная) лесоматериала. В связи с этим на кафедре ЛПМСиС проводятся экспериментальные исследования и определяются уравнения связи обозначенных факторов с рассмотренными величинами.

#### Литература:

1. Абрамов В.В. Имитационное моделирование работы трелевочных средств на выборочных рубках: Деп. в ВИНТИ 22.07.2008, № 631-В2008 – Воронеж, 2008 – С. 96
2. Абрамов В.В. Разработка и обоснование эффективной технологии трелевки в малолесных районах: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Воронеж, 2009. – 16 с.
3. Пошарников Ф.В., Абрамов В.В. Выполнение трелевки в условиях постоянного и непрерывного лесопользования // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник – МГУЛ, 2008. – №6 – С. 108–111.
4. Пошарников Ф.В., Абрамов В.В., Бондаренко А.В. Моделирование природных условий горной местности при исследовании первичного транспорта леса // Лесотехнический журнал – ГОУ ВПО «ВГЛТА», 2011. – Вып. 2 – С. 25–29.
5. Пошарников Ф.В., Абрамов В.В., Бондаренко А.В. Обоснование оптимальных параметров работы трелевочных средств на несплошных рубках // Лесотехнический журнал. – 2011. – № 1. – С. 76–80.



## Исследование кинетики формирования многокомпонентных материалов

Аверин Кирилл Игоревич, аспирант  
Пензенский государственный университет

*Представлены результаты исследований влияния условий синтеза в варианте метода термического испарения в вакууме на параметры роста пленок многокомпонентных материалов на примере хромоникелевых сплавов.*

**Ключевые слова:** многокомпонентные материалы, параметры роста, свойства, исследование, пересыщение, газовая фаза, зарождение, критический радиус.

Важной задачей нано-, микроэлектроники является повышение выхода годных изделий и временной стабильности эксплуатационных характеристик приборов, решение которой достигается за счет отработки технологии материалов с управляемыми свойствами [1–6]. К настоящему времени кинетические и термодинамические закономерности получения многокомпонентных материалов не систематизированы, при этом технология управляемого синтеза многокомпонентных систем требует как глубоких кинетических исследований, так и разработки качественных и количественных моделей свойств материалов, конденсируемых при различных термодинамических условиях.

Представленные в литературе модели зародышеобразования применяются, как правило, для объемных образцов и однокомпонентных систем [7], поэтому разработана модель для описания свойств многокомпонентной пленки через параметры роста, зависящие от условий ее приготовления. В основе данной модели лежит атомная теория зародышеобразования.

При использовании методов статистической физики для описания процессов зародышеобразования вводится функция потенциальной энергии и её зависимость от числа атомов в зародыше. Потенциальная энергия в атомной модели зародышеобразования, как предлагается в [8], представляет собой величину  $E_i$  – общей энергии связи атомов, входящих в зародыш. Для зародыша критического размера общая энергия связи атомов в нем обозначается как  $E_i^*$ . Она вычисляется как сумма энергий связи между атомами в зародыше  $E_b$ . Для одноатомного зародыша энергия  $E_i^* = 0$ . Двум атомам соответствует одна связь. Три атома в зародыше могут иметь как две, так и три связи в зависимости от конфигурации атомов в зародыше. В случае образования трехмерного зародыша общая энергия связи атомов в зародыше уменьшается на энергию адсорбции этого атома:

$$E_i = Z \cdot E_b - Y \cdot E_a, \tag{1}$$

где  $Z$  – общее число межатомных связей;  $Y$  – число атомов в зародыше, которые находятся во втором атомном слое;  $E_a$  – энергия адсорбции.

Т.Н. Родиныным и Д. Уолтером [9] предложено уравнение для скорости образования зародышей критических размеров

$$I^* = R_n a_0 y N_0 \left( \frac{R_n}{v_1 N_0} \right)^{i^*} \cdot \exp \left( \frac{(i^* + 1) E_a + E_i^* - E_d}{k T_n} \right), \tag{2}$$

где  $R_n$  – скорость испарения атомов с поверхности подложки;  $a_0$  – длина диффузионного перескока адсорбированного атома (приблизительно равная постоянной решетки подложки);  $y$  – длина окружности, ограничивающая поверхность зародыша критического размера, на которую возможно поступление атомов из паровой фазы;  $N_0$  – число мест, занимаемых адсорбированной частицей, приходящихся на единицу площади подложки;  $v_1$  – частота колебаний адсорбированного атома на поверхности подложки;  $E_d$  – энергия активации диффузии;  $T_n$  – температура подложки;  $k$  – постоянная Больцмана;  $i^*$  – число атомов в критическом зародыше.

Исследование вероятностей процессов испарения, диффузии адсорбированных атомов позволяет получить уравнение для концентрации зародышей, состоящих из  $i$  атомов [10]:

$$N_i(T_{исп}, T_n, g) = N_0(T_{исп}) \cdot \left( \frac{R_n(T_{исп}, T_n)}{N_0(T_{исп}) \cdot v_1(T_n)} \right)^i \cdot \exp \left( \frac{E_i^{пл}(T_{исп}, T_n, g) + i \cdot E_a(T_{исп}, T_n)}{k T_n} \right), \tag{3}$$

где  $T_{исп}$  – температура испарения исходной загрузки;  $E_i^{пл}$  – суммарная энергия межатомных связей для атомов разного сорта, входящих в состав многокомпонентной пленки, равная [11]

$$E_i^{пл}(T_{исп}, T_n, g) = F_{p1}(T_{исп}, T_n) \cdot E_{i1}(T_{исп}, g) + F_{p2}(T_{исп}, T_n) \cdot E_{i2}(T_{исп}, g) + \dots \tag{4}$$

$$\dots + F_{pj}(T_{исп}, T_n) \cdot E_{ij}(T_{исп}, g),$$

где  $F_{p1}(T_{исп}, T_{п})$ ,  $F_{p2}(T_{исп}, T_{п})$ , ...,  $F_{pj}(T_{исп}, T_{п})$  – функция распределения атомов на единице площади поверхности подложки соответственного 1, 2, ..., j-го сортов;  $E_{i1}, E_{i2}, \dots, E_{ij}$  – суммарная энергия межатомных связей для одного сорта атомов;  $E_a^{nn}$  – энергия адсорбции атомов разных сортов многокомпонентной пленки:

$$E_a^{nn}(T_{исп}, T_{п}, g) = F_{p1}(T_{исп}, T_{п}) \cdot E_{a1}(T_{исп}) + F_{p2}(T_{исп}, T_{п}) \cdot E_{a2}(T_{исп}) + \dots$$

$$\dots + F_{pj}(T_{исп}, T_{п}) \cdot E_{aj}(T_{исп}),$$
(5)

Здесь  $E_{a1}, E_{a2}, \dots, E_{aj}$  – энергия адсорбции атомов разного сорта;  $g$  – коэффициент, определяющий конфигурацию и число атомов в зародыше.

Уменьшение пересыщения газовой фазы над поверхностью подложки за счет увеличения температуры подложки приводит к уменьшению концентрации зародышей, состоящих из  $i$  атомов, при достижении некоторой критической температуры, дальнейшее увеличение температуры подложки приводит к слабому росту  $N_i$ . Увеличение температуры испарения исходной загрузки вызывает рост концентрации зародышей [12, 13].

При моделировании процессов роста пленок многокомпонентных систем необходимо рассчитать скорость образования зародышей, имеющих различную конфигурацию и состоящих из разных сортов атомов, путем адаптации уравнения для скорости образования зародышей критических размеров [9] к условиям настоящей модели [11]:

$$I_{кр}^*(T_{исп}, T_{п}, g) = R_n(T_{исп}, T_{п}) \cdot a_0 \cdot \gamma(T_{исп}, T_{п}, g) \cdot N_0(T_{исп}) \cdot \left( \frac{R_n(T_{исп}, T_{п})}{v(T_{п}) N_0(T_{исп})} \right)^i \times$$

$$\times \exp\left( \frac{(i+1)E_a^{nn}(T_{исп}, T_{п}) + E_i^{nn}(T_{исп}, T_{п}, g) - E_d^{nn}(T_{исп}, T_{п})}{kT_{п}} \right),$$
(6)

где  $E_d^{nn}$  – энергия диффузии атомов разных сортов многокомпонентной пленки:

$$E_d^{nn}(T_{исп}, T_{п}, g) = F_{p1}(T_{исп}, T_{п}) \cdot E_{d1}(T_{исп}) + F_{p2}(T_{исп}, T_{п}) \cdot E_{d2}(T_{исп}) + \dots$$

$$\dots + F_{pj}(T_{исп}, T_{п}) \cdot E_{dj}(T_{исп}),$$
(7)

где  $E_{d1}, E_{d2}, \dots, E_{dj}$  – энергия диффузии атомов разного сорта.

Длина окружности  $\gamma(T_{исп}, T_{п}, g)$ , ограничивающая поверхность зародыша критического размера, на которую возможно поступление атомов из паровой фазы, рассчитывается для различных конфигураций и числа атомов в зародыше в зависимости от условий синтеза по разработанной программе.

Рост пленки осуществляется за счет разрастания зародышей новой фазы. Вероятность разрастания или испарения зародыша определяется его размерами, которые характеризуются через радиус  $r$ . Зародыш, имеющий радиус меньше некоторого критического значения  $r_{кр}$ , является нестабильным и диссоциирует на отдельные атомы, так как его разрастание связано с увеличением свободной энергии. Зародыш с радиусом больше  $r_{кр}$  стабилен и обладает способностью к разрастанию за счет присоединения либо адсорбированных атомов, либо атомов из газовой фазы, при этом происходит уменьшение свободной энергии. Зародыши, имеющие радиус, равный  $r_{кр}$ , называются критическими. Величина критического радиуса определяется пересыщением газовой фазы вблизи поверхности подложки. Если критическими зародышами покрыта только относительно небольшая площадь поверхности подложки, то их разрастание осуществляется за счет диффузии атомов по поверхности подложки, причем вероятность этого процесса определяется коэффициентом и энергией диффузии отдельных адсорбированных атомов.

Энергия диффузии адсорбированных атомов хрома больше, чем у никеля в 1,1–13,4 раза в зависимости от температуры испарения исходной загрузки, поэтому при высоких температурах испарения зародыши разрастаются за счет атомов хрома, поступающих из газовой фазы, а для никеля рост зародышей осуществляется за счет атомов, диффундирующих по поверхности подложки.

Скорость образования зародышей критических размеров определяется числом исходных зародышей на единице площади поверхности и скоростью присоединения к ним отдельных адсорбированных атомов. Когда зародыши достигают сверхкритических размеров, они сливаются с другими зародышами, формируя при этом более крупные образования, называемые островками, которые также разрастаются, пока не соприкоснутся с другими такими же образованиями, в результате между ними возникает либо граница зерен, либо образуется зерно, если это энергетически выгодно. Как показали результаты экспериментов, слияние островков наиболее интенсивно протекает при высокой температуре подложки и близкой кристаллической ориентации соприкасающихся островков [14].

Образование зародыша радиусом  $r$  при давлении пересыщенного пара  $P$  сопровождается изменением свободной энергии  $\Delta G$ :

$$\Delta G = \Delta G_{пар} + \Delta G_{нов},$$
(8)

где  $\Delta G_{\text{пар}}$  – изменение свободной энергии пара при его конденсации;  $\Delta G_{\text{пов}}$  – изменение свободной энергии при образовании поверхности раздела фаз.

Изменение свободной энергии  $\Delta G_{\text{пар}}$  при образовании зародыша сферической формы

$$\Delta G_{\text{пар}} = \frac{-4\pi \cdot r^3 \cdot R \cdot T_{\text{п}} \cdot \ln\left(\frac{P}{P_0}\right)}{3 \cdot v_{\text{м}}}, \quad (9)$$

где  $v_{\text{м}}$  – мольный объем зародыша;  $P_0$  – равновесное давление.

Величина  $\Delta G_{\text{пов}}$  определяется формулой вида

$$\Delta G_{\text{пов}} = 4\pi \cdot r^2 \cdot \zeta, \quad (10)$$

где  $\zeta$  – удельная свободная энергия поверхности раздела фаз.

С учетом уравнений (9) и (10) изменение свободной энергии для образования зародыша радиусом  $r$

$$\Delta G = -\frac{4\pi \cdot r^3}{3 \cdot v_{\text{м}}} \cdot R_y T \cdot \ln\left(\frac{P}{P_0}\right) + 4\pi \cdot r^2 \cdot \zeta. \quad (11)$$

Определим максимум  $\Delta G$  относительно  $r$ :

$$\frac{\partial \Delta G}{\partial r} = -\frac{4\pi \cdot r^3}{v_{\text{м}}} \cdot R_y T \cdot \ln\left(\frac{P}{P_0}\right) + 8\pi \cdot r^2 \cdot \zeta. \quad (12)$$

Из этого уравнения рассчитаем критический радиус зародыша  $r_{\text{кр}}$ :

$$r_{\text{кр}} = \frac{2 \cdot \zeta \cdot v_{\text{м}}}{R_y T \cdot \ln\left(\frac{P}{P_0}\right)}. \quad (13)$$

Найдем изменение свободной энергии, соответствующее образованию зародышей критического размера, для чего подставим (13) в (11):

$$\Delta G_{\text{кр}} = \frac{16\pi \cdot v_{\text{м}}^2 \cdot \zeta^3}{3 \cdot \left[ R_y T \cdot \ln\left(\frac{P}{P_0}\right) \right]^2}. \quad (14)$$

Уравнение для изменения свободной энергии при образовании критического зародыша может использоваться для определения скорости образования зародышей через пересыщение, которая равна средней скорости увеличения размера зародыша, обладающего критическим радиусом:

$$I_{\text{кр}}^* = \omega_{\text{кр}} \cdot N_i, \quad (15)$$

где  $\omega_{\text{кр}} = S_{\text{кр}} \cdot q_{\text{к}}$  – частота захвата частиц зародышем критического размера;  $S_{\text{кр}} = 4\pi \cdot r_{\text{кр}}^2$  – площадь поверхности зародыша критического размера;  $q_{\text{к}}$  – скорость конденсации или поток частиц на подложку из газовой фазы.

Так как в процессе зарождения состояния равновесия не достигается, то в уравнение для расчета критической скорости образования зародышей необходимо ввести дополнительный член  $\Phi$ , учитывающий отклонение процесса зародышеобразования от равновесных условий и называемый фактором неравновесности. Он вычисляется:

$$\Phi = \left( \frac{\Delta G_{\text{кр}}}{3\pi \cdot k \cdot T_{\text{кр}}^2} \right)^{0,5}. \quad (16)$$

В результате уравнение (13) преобразуется к следующему виду:

$$I_{\text{кр}}^* = 4\pi \cdot r_{\text{кр}}^2 \cdot q_{\text{к}} \cdot N_i \cdot \Phi. \quad (17)$$

Величину критического радиуса зародыша применительно к многокомпонентным пленкам и методу термического испарения в вакууме можно вычислить:

$$r_{\text{кр}}(T_{\text{исп}}, T_{\text{п}}, g) = \sqrt{\frac{I_{\text{кр}}^*(T_{\text{исп}}, T_{\text{п}}, g)}{4\pi \cdot q_{\text{к}}(T_{\text{исп}}, T_{\text{п}}) \cdot N_i(T_{\text{исп}}, T_{\text{п}}, g) \cdot \Phi}}, \quad (18)$$

где  $\Phi$  определяется из условия наилучшего совпадения экспериментальных результатов скорости конденсации пленок многокомпонентных систем и рассчитанных значений по уравнению Герца-Кнудсена, он численно равен  $1 \cdot 10^{-1} - 3 \cdot 10^{-1}$ , что хорошо совпадает с литературными данными [11, 15–16].

Для нахождения зависимости критического радиуса зародыша от температуры подложки продифференцируем уравнение (12) по температуре, в результате получим

$$-\frac{1}{2} \cdot \left( \frac{dr_{\text{кр}}}{dT} \right) = \frac{\Delta G_{\text{пар}} \left( \frac{d\Delta G_{\text{пов}}}{T} \right) - \Delta G_{\text{пов}} \left( \frac{d\Delta G_{\text{пар}}}{dT} \right)}{\Delta G_{\text{пар}}^2} \quad (19)$$

Из анализа уравнения (19) следует, что увеличение температуры подложки приводит к росту критического радиуса зародыша, что соответствует результатам моделирования, представленных на рисунке 1.

Увеличение степени пересыщения приводит к росту скоростей конденсации пленки, образования зародышей и к уменьшению критического радиуса зародыша. Ход зависимостей  $r_{\text{кр}}$  от температур испарения исходной загрузки, подложки и абсолютные значения критического радиуса зародыша имеют близкие значения с экспериментальными данными, представленными в [10, 14].

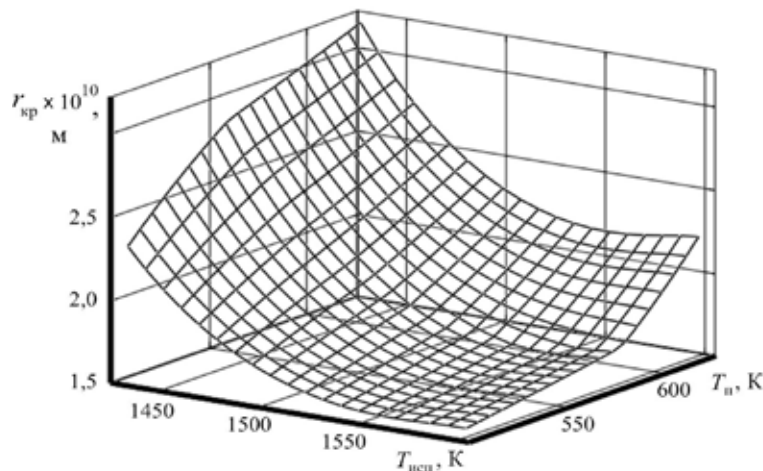


Рис. 1. Зависимость критического радиуса зародыша от температур испарения исходной загрузки и подложки

При расчете критических радиусов зародышей пленок многокомпонентных материалов на основе хромоникелевых сплавов с различной концентрацией и типом примесных атомов необходимо использовать установленную функциональную зависимость между основными параметрами роста пленки и порядковым номером в периодической системе Д.И. Менделеева. Для металлов, характеризующихся высокой температурой кипения (W, Mo, Ta, Ni, Cr), зародыши новой фазы являются устойчивыми, в то время как для материалов с низкой температурой кипения (Zn, Cd, Ag, Au, Cu) устойчивое состояние зародышей наблюдается только при достижении ими больших размеров. При слиянии зародышей образуются зерна, их размер определяется критическим радиусом зародыша. Размер зерен, задаваемый технологическими режимами, характеризует структуру синтезированного материала, которая определяет электрофизические и механические свойства пленки [17, 18–21].

Следовательно, разработанная модель позволяет определить основные параметры зарождения и роста пленок многокомпонентных материалов и описать как процесс формирования пленки, полученной при различных условиях синтеза в варианте метода термического испарения в вакууме, так и ее свойства.

#### Литература:

1. Аверин И.А., Аношкин Ю.В., Печерская Р.М. Влияния отжига на морфологию поверхности и выходные параметры резистивных структур / Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. — 2008. — Вып. 3. — С. 104–109.
2. Аверин И.А., Аношкин Ю.В., Коновалов А.Н., Печерская Р.М. Физико-математическая модель определения концентрации кислорода в пленках резистивных структур // Надежность и качество: Международный симпозиум. Пенза, 2011. — С. 278–279.
3. Аверин И.А., Аношкин Ю.В., Печерская Р.М. Исследование поверхностей слоев резистивных структур на низкоразмерном уровне / Нано- и микросистемная техника. 2010. — № 1. — С. 25–26.
4. Аверин И.А., Печерская Р.М. Управление параметрами резистивных структур посредством отжига / Труды международного симпозиума: Надежность и качество. 2008. — Т. 2. — С. 144–145.

5. Аверин И.А., Аверин К.И., Аношкин Ю.В., Бадерин К.В., Печерская Р.М. Влияние скорости конденсации на морфоструктуру пленок многокомпонентных материалов /Труды международного симпозиума: Надежность и качество. 2010. – Т. 2. – С. 100–101.
6. Аверин И.А., Печерская Р.М. Повышение стабильности пленочных резисторов на основе твердых растворов хрома и никеля /Труды международного симпозиума: Надежность и качество. 2007. – Т. 2. С. – 105–107.
7. Аверин И.А., Блохин Ю.Н., Луцкая О.Ф. Термодинамическое исследование условий синтеза слоев твердых растворов PbSI-xSex /Неорганические материалы, 1988. – Т. 24. – № 2. – С. 219–222.
8. Хирс, И.П., Паунд Г.М. Испарение и конденсация. – М.: Металлургия, 1963. – 325 с.
9. Rhodin, T.N., Walter D. под ред. М.Н. Francombe, Н. Sato.Single. Crystal Films. – New York: Pergamon Press, 1964. – 337 p.
10. Технология тонких пленок /Под ред. Л. Майссел, Р. Глэнг. – М.: Сов. Радио, 1977. – Т. 2. – 768 с.
11. Аверин И.А. Управляемый синтез гетерогенных систем: технология и свойства диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Пензенский государственный университет. Пенза, 2007. – 381 с.
12. Аверин К.И. Управление составом пленок многокомпонентных материалов // Труды Международного симпозиума: Надежность и качество. Пенза, 2011. – Т.2.– С. 85–86.
13. Аверин И.А., Печерская Р.М. Управление составом многокомпонентных систем / Известия высших учебных заведений. Поволжский регион, 2006. – № 5. – С. 184–191.
14. Физика тонких пленок / Под общей ред. Г. Хасса, Р.Э. Туна. – М.: Мир, 1967. – Т. 2. – 396 с.
15. Крапухин, В.В., Соколов И.А., Кузнецов Г.Д. Физико-химические основы технологии полупроводниковых материалов. – М.: Металлургия, 1982. – 352 с.
16. Таиров, Ю.М., Цветков В.Ф. Технология полупроводниковых и диэлектрических материалов. – М.: Высш. шк., 1983. – 271 с.
17. Аверин, И.А., Печерская Р.М. Управление качеством резистивных пленочных структур на стадии роста /Труды Международного симпозиума: Надежность и качество. Пенза, 2004. – Пенза, 2004. – С. 315–317.
18. Аверин К.И., Печерская Р.М. Исследование адгезии пленок твердых растворов на основе никеля и хрома / Труды Международного симпозиума: Надежность и качество, Пенза, 2012. – Т.– с. 186–188.
19. Аверин И.А., Печерская Р.М. Контролируемое изменение эксплуатационных характеристик чувствительных элементов и их временной стабильности /Нано- и микросистемная техника, 2007. – № 1. – С. 20–23.
20. Аверин И.А., Волохов И.В., Мокров Е.А., Печерская Р.М. Влияние переходных процессов в тонкопленочной гетероструктуре на надежность чувствительных элементов тензорезисторных датчиков давления /Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки, 2008. – № 2. – С. 123–127.
21. Аверин И.А., Печерская Р.М. Управление параметрами пленочных резисторов на основе хромоникелевых сплавов посредством технологических режимов синтеза /Труды международного симпозиума: Надежность и качество, Пенза, 2006. – Т.1. – С. 91–94.

## Моделирование систем с использованием блока чистого запаздывания

Бильфельд Николай Валентинович, кандидат технических наук, доцент  
Березниковский филиал Пермского национального исследовательского политехнического университета

*Рассмотрены особенности моделирования систем с использованием блока чистого запаздывания. Выявлены случаи некорректной работы блока, при времени запаздывания равно нулю. Приведены способы устранения некорректной работы блока. Приведены варианты программной корректировки структурной схемы модели.*

При моделировании систем управления в пакете Simulink, как правило, используется блок чистого запаздывания, так как большинство реальных объектов обладает этим запаздыванием. Пример такой модели приведен на рисунке 1.

Чтобы каждый раз не менять параметры модели, их задают в виде переменных, например параметры для блока чистого запаздывания приведены на рисунке 2.

В данном случае, время чистого запаздывания задается идентификатором  $ZP$ . Обозначив, таким образом, пере-

менные модели идентификаторами удобно управлять моделями из М-файлов.

Возьмем объект с передаточной функцией:

$$W1(s) = \frac{1}{50s^2 + 20s + 1} \cdot e^{-5s}$$

Оптимальные настройки ПИ – регулятора для данного объекта составляют  $Kp=2,6$ ;  $Tu=7,5$ .

Напишем следующий М-файл:

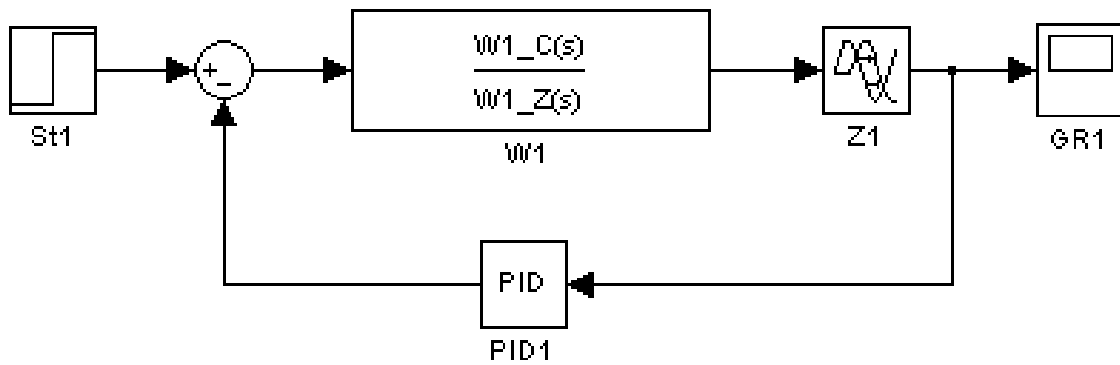


Рис. 1. Модель замкнутой системы управления (Z1)

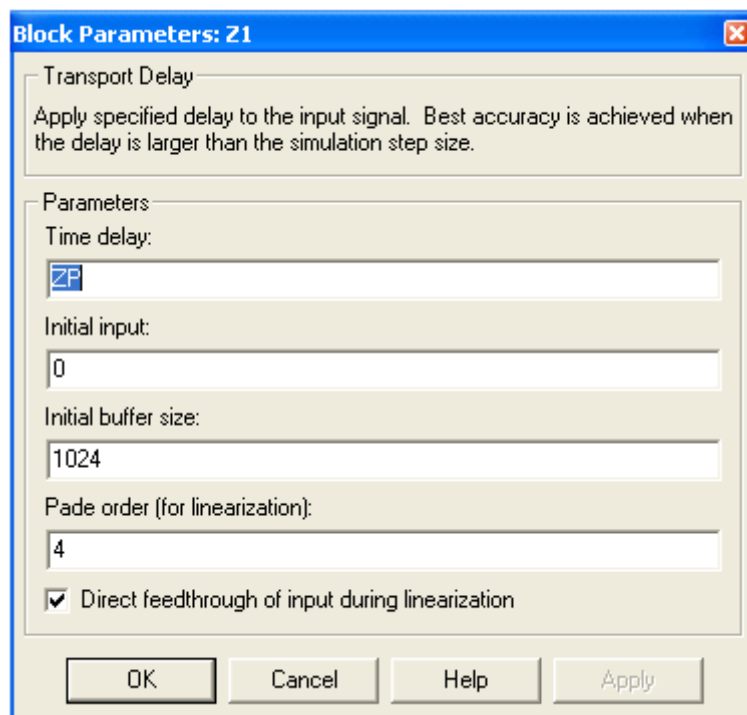


Рис. 2. Настройки блока чистого запаздывания

*Time delay* – время запаздывания в секундах.  
*Initial input* – начальное значение входного сигнала.  
*Initial buffer size* – размер буфера для хранения сигнала задержки.  
*Pade order* – Порядок рада Паде для аппроксимации выходного сигнала.

```
%открываем модель
open Z1
% параметры передаточной функции
W1_C= [1]; W1_Z= [50 20 1];
% параметры регулятора
Kr1=2.6; Ti1=7.5; Td1=0;
% значение запаздывания
ZP=5;
% запускаем модель
sim Z1
% строим график
```

$G1=GR1(:,2); figure; plot(tout,G1,'b'),grid;$   
 Выполнив файл, получим график переходного процесса, приведенный на рисунке 3.

Возьмем объект с этой же передаточной функцией, но не обладающим чистым запаздыванием.

$$W2(s) = \frac{1}{50s^2 + 20s + 1}$$

Оптимальные настройки ПИ – регулятора составляют  $Kp=20; Tu=0.3$ . Изменим соответствующие строки М-файла:



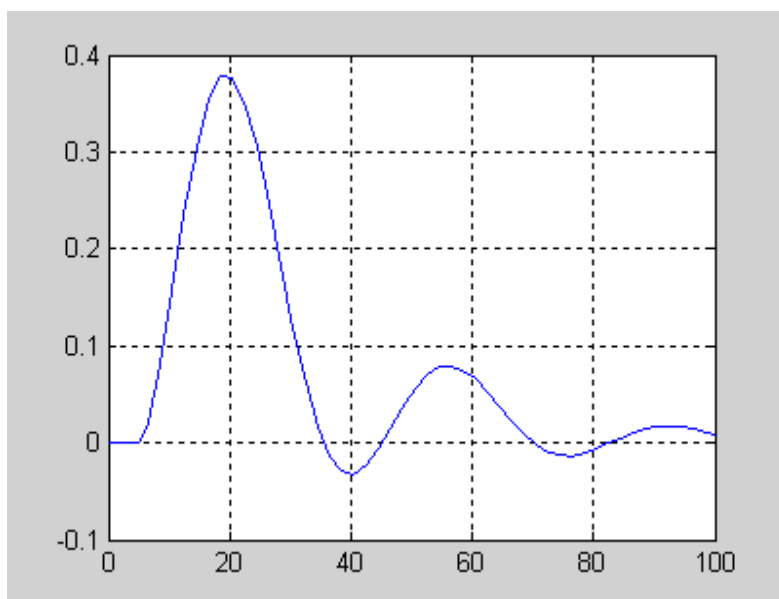


Рис. 3. Переходный процесс для передаточной функции W1 (s)

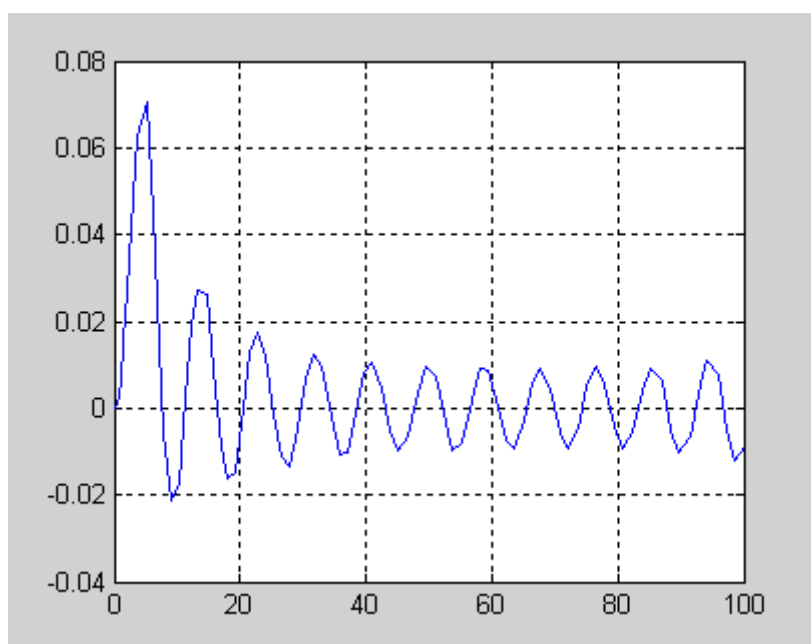


Рис. 4. Переходный процесс для передаточной функции W2 (s)

*% параметры регулятора*  
 $Kr1=20; Ti1=0.3; Td1=0;$   
*% значение запаздывания*  
 $ZP=0$

В результате получим переходный процесс, приведенный на рисунке 4.

Как видно из рисунка 4 в системе появились незатухающие колебания, чего в принципе быть не должно, т.к. настройки регулятора являются оптимальными.

Проверим это утверждение. Сформируем переходный процесс аналитическим способом. Для этого напишем М-файл со следующими командами:

*% Передаточная функция объекта*  
 $Wo=tf(11, [50 20 1])$   
*% Передаточная функция регулятора*  
 $Wp=tf(16 1, [0.3 0])$   
*% Передаточная функция замкнутой системы*  
 $Wc=Wo/(1+Wo*Wp)$   
*% Строим график*  
 $step(Wc,100),grid$

В результате получим переходный процесс, приведенный на рисунке 5.

Как видно их рисунка 5 переходный процесс является затухающим. Дело в том, что колебания в процесс вносит

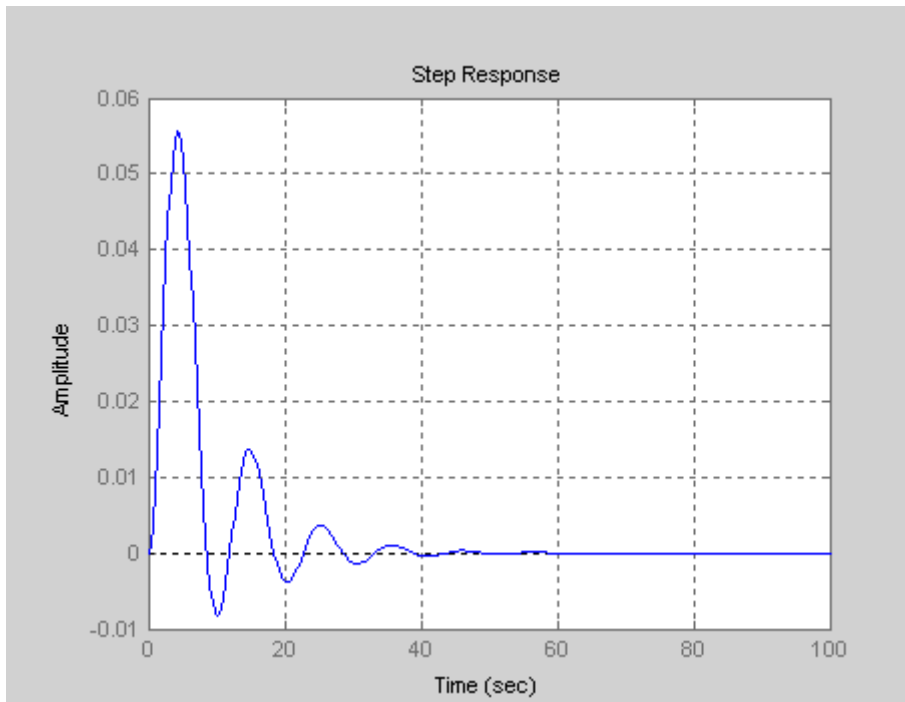


Рис. 5. Переходный процесс

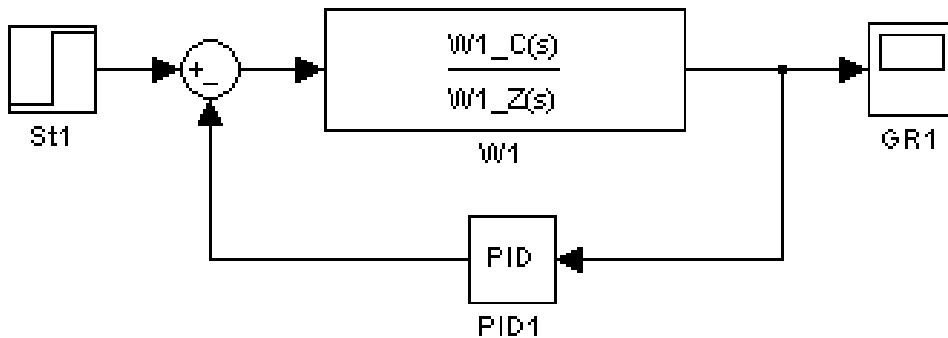


Рис. 6. Модель с удаленным блоком (Z2)

блок чистого запаздывания при нулевом значении времени запаздывания. К сожалению, это недоработка разработчиков пакета MATLAB. Не помогает также установка в ноль параметра *Pade order* (количество членов ряда Пада).

Можно рассмотреть два варианта, чтобы обойти эту проблему.

Первый вариант – это программно добавлять и удалять блок чистого запаздывания в зависимости от значения времени запаздывания. Фрагмент, реализующий этот вариант, приведен в следующем М-файле:

```
ZP=5;
f=find_system('Z2','BlockType','TransportDelay')
u=char(f);L=length(u);
if(ZP==0) & (L==5)
%удаляем блок чистого запаздывания
delete_block('Z2/Z1');
```

```
delete_line('Z2',[300 40]);
delete_line('Z2',[355 40]);
add_line('Z2',[280 40;400 40]);
add_line('Z2',[380 40;380 130; 230 130]);
end
if(ZP>0) & (L==0)
%устанавливаем блок чистого запаздывания
delete_line('Z2',[365 40])
add_block('simulink/Continuous/Transport
Delay','Z2/Z1','delay','ZP')
set_param('Z2/Z1','Position',[320 25 350 55])
add_line('Z2',[285 40;320 40])
add_line('Z2',[350 40;410 40])
add_line('Z2',[380 40;380 130; 230 130])
end
```

Если  $ZP > 0$  то модель будет выглядеть как на рисунке 1. Если  $ZP = 0$  блок чистого запаздывания автоматически

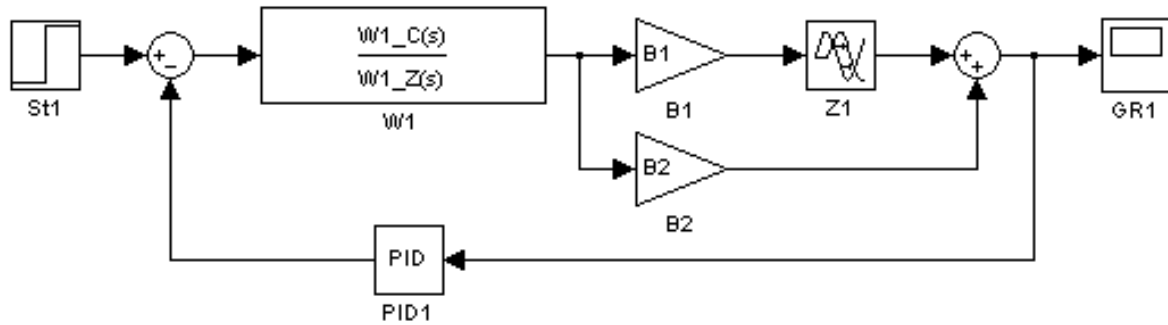


Рис. 7. Модель замкнутой системы управления (Z3)

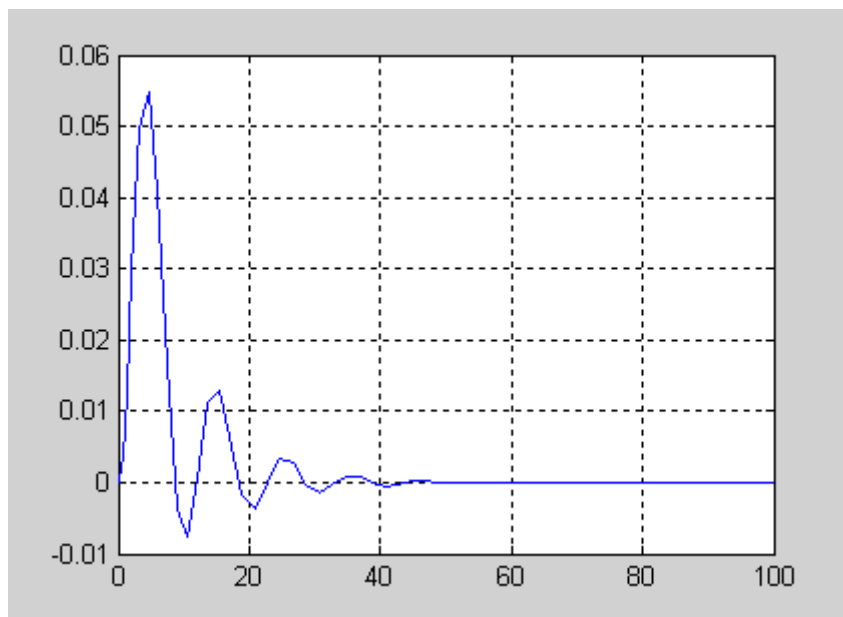


Рис. 8. Переходный процесс в модифицированной модели

удалится, и модель будет выглядеть, как показано на рисунке 6.

Хотя фрагмент М-файла и является рабочим, и тестировался автором на реальной модели – это не самый лучший вариант. Его можно повторить только на конкретной модели, где координаты, по которым размещены блоки и соединительные линии имеют конкретные значения. В противном случае придется менять все координаты под свою модель.

Второй вариант заключается в байпасировании блока чистого запаздывания. Поместим в модель еще два усилителя  $B1$  и  $B2$ , как показано на рисунке 7.

В приведенной модели от значений коэффициентов  $B1$  и  $B2$ , будет зависеть, по какому «пути» пойдет сигнал. Если  $B1=1$  и  $B2=0$  сигнал пойдет через блок запаздывания. Если  $B1=0$  и  $B2=1$  сигнал пойдет в обход блока запаздывания. Остается только проанализировать значение времени запаздывания  $ZP$  и в зависимости от него

установить коэффициенты  $B1$  и  $B2$ .

Для этого напишем следующий фрагмент М-файла.

*% значение запаздывания*

*ZP=0;*

*if ZP==0*

*B1=0; B2=1;*

*else*

*B1=1; B2=0;*

*end*

*% запускаем модель*

*sim Z3*

Если выполнить данный М-файл, получим переходный процесс, приведенный на рисунке 8.

Как видно из рисунка 8 незатухающие колебания в системе исчезли. Не смотря на то, что в данном варианте используется два дополнительных блока, код управления такой моделью короче, а самое главное, код не зависит от геометрического расположения блоков модели.

Литература:

1. Ротач В.Я. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами. М.: Энергоатомиздат, 1985. 296 с.
2. Ануфриев И.Е. MATLAB 7 / И.Е. Ануфриев, А.Б. Смирнова, Е.Н. Смирнова.— СПб.: БХВ-Петербург, 2005.— 1104 с.
3. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystem и Simulink. Питер ДМК, 2008.— 286 с.

## Математические модели технических систем в условиях неопределенности

Бойко Иван Александрович, бакалавр, студент магистратуры;  
Гурьянов Роман Андреевич, бакалавр, студент магистратуры  
Волгоградский государственный технический университет

Современные производственные объект представляют собой сложную систему, состоящую из совокупности взаимосвязанных многорежимных подсистем, функционирование которых направлено на достижение общих целей системы. Особенности такой производственной системы являются: наличие выделяемых частей (подсистем, элементов), для каждой из которых может быть определена цель функционирования; участие в работе системы людей, машин и среды; существование внутренних материальных, энергетических и информационных связей между частями системы, а также внешних связей рассматриваемой системы с другими объектами.

Большинство производственных комплексов, в которых протекают различные процессы, функционируют в условиях неопределенности. Эта неопределенность возникает по ряду причин, основными из которых являются:

- сложность объекта и недостаточная изученность процессов протекающих в нем;
- стохастическая природа основных параметров, описывающих функционирования объекта;
- наличие большого количества возмущающих воздействий и помех на производстве, зашумленность информации;
- недостаточная достоверность исходной статистической информации, обусловленная низкой надежностью, нехватки или отсутствием промышленных средств сбора и обработки такой информации;
- недостатки методов обработки информации;
- плохоформализуемые действия человека, участвующего в контуре управления, и субъективность его действий при принятии решений;
- нечеткость, качественный характер собранной у специалистов информации, описывающей состояние объекта;
- наличие нечетких ограничений и критериев оптимизации.

Неопределенность можно проклассифицировать различными способами, они представлены на рисунке 1.



Рис. 1. Классификация неопределенностей

Таким образом, основными источниками неопределенности в производственных условиях являются недостаточность и нечеткость исходной информации.

Одним из важнейших этапов реализации управления является синтез систем автоматического управления (САУ) и построение их адекватных математических моделей. От правильности или удачности выбора модели во многом зависит весь ход дальнейших исследований САУ. Конечно, при построении модели, желательно получить ее четкое математическое описание. Однако, попытки получить четкое математическое описание САУ в тех случаях, когда иная информация о них, кроме нечеткой, недоступна, путем задания строгих границ «волевым» методом или искусственным введением однозначности, приводит к огрублению исходных данных, которое может способствовать получению четких, но не адекватных моделей и поэтому не целесообразны. Тем не менее и в этом случае целесообразно попытаться выделить в нечеткой в целом САУ отдельные ее части, поддающиеся четкому математическому описанию.

Таким образом, уже в самом начале процесса построения модели следует ответить на вопрос, какой тип модели четкий или нечеткий может быть получен исходя из имеющейся информации об изучаемой САУ в целом и об ее отдельных составляющих частей. В случае наличия принципиальной возможности получения четкой модели САУ в целом или ее отдельных частей, следует начинать построения одной из следующих четких моделей.

Непрерывные линейные модели, описываемые системой линейных, обыкновенных дифференциальных уравнений состояния вида:

$$\frac{dy}{dt} = Ay + Bu + Cv + Df,$$

где:  $y$  –  $n$ -мерный вектор состояния системы;  $v$  –  $m$ -мерный вектор задания на управление;  $u$  –  $r$ -мерный вектор управляющего воздействия;  $f$  –  $k$ -мерный вектор возмущающих воздействий;  $A$  –  $(n \times n)$ -мерная постоянная матрица;  $B$  –  $(n \times r)$ -мерная постоянная матрица;  $C$  –  $(n \times m)$ -мерная постоянная матрица;  $D$  –  $(n \times k)$ -мерная постоянная матрица.

Для систем с запаздыванием переменных состояния или воздействий уравнения состояния представляют собой систему дифференциально-разностных уравнений вида:

$$\frac{dy(t)}{dt} = Ay(t - T_y) + Bu(t - T_u) + Cv(t - T_v) + Df(t - T_f),$$

где:  $T_y, T_u, T_v, T_f$  – время запаздывания соответствующего вектора.

К таким системам применим принцип суперпозиции и поэтому можно действия на систему векторов  $u, v, f$  изучать раздельно. Это явилось следствием того, что подобные системы описываются обычно уравнением вида:

$$\frac{dy}{dt} = Ay + Bu,$$

или:

$$\frac{dy(t)}{dt} = Ay(t - T_y) + Bu(t - T_u).$$

Ограничения в таких системах так же линейны:

$$s(y, u) = 0$$

$$h(y, u) = 0$$

где:  $s, h$  – линейные векторные функции.

Соответственно и целевая функция таких систем должна быть линейной:

$$J = \varphi(u, y),$$

где  $\varphi$  – линейная скалярная функция. Обычно целевая функция в этих системах является показателем качества, выражаемым скалярной величиной вида:

$$J = G(y(t_f), t_f) + \int_{t_0}^{t_f} F(y(t), u(t), t) dt,$$

где:  $G$  и  $F$  – скалярные функции, а  $t_0$  и  $t_f$  – начальный и конечный моменты времени соответственно

Случаи, когда ограничения или целевая функция не линейны относятся к непрерывным нелинейным системам, а случаи, когда целевая функция векторная – относятся к интеллектуальным нечетким системам.

Аналитическое решение уравнения состояния известно:

$$y(t) = e^{At} y_0 + \int_0^t e^{A(t-\tau)} Bu(\tau) d\tau,$$

где  $y_0$  – вектор начального состояния системы в момент времени  $t = 0$ .

Поэтому формализация описания САУ в этом виде является наиболее предпочтительным, но, к сожалению, редко достижимым.

Непрерывные нелинейные модели, описываемые системой нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка вида:

$$\frac{dy}{dt} = R(y, u, v, f, t),$$

где  $R$  –  $n$ -мерная нелинейная векторная функция.

Непрерывные нелинейные системы с запаздыванием описываются соответственно системой дифференциально-разностных уравнений:

$$\frac{dy(t)}{dt} = R(y(t - T_y), u(t - T_u), v(t - T_v), f(t - T_f), t).$$

В этом случае ограничения  $s$ ,  $h$  и целевая функция  $\varphi$  в могут быть нелинейными. Причем желательно, чтобы ограничения, образовывали выпуклые множества, функция была выпуклой или вогнутой, так как в противном случае традиционные вычислительные методы поиска оптимальных решений не дают гарантированного результата за приемлемой число итераций и требуется использовать новые интеллектуальные методы поиска оптимальных решений, например генетические алгоритмы.

Аналитического решения уравнений получить, как правило, не удается. Однако существует достаточно обширный класс систем, для которых удается получить численные решения достаточной точности за приемлемое число итераций.

Дискретные линейные модели при постоянном временном интервале могут быть описаны следующей системой разностных уравнений состояния:

$$y(k + 1) = Ay(k) + Bu(k) + Cv(k) + Df(k),$$

где  $k + 1$  и  $k$  – номера интервалов времени.

Вектор состояния  $y$  в любой дискретный момент времени  $t_k$  может быть определен в виде функции начального состояния и всех предшествующих векторов, например при  $v = 0$  и  $f = 0$  имеем:

$$y(k) = A^k y(0) + \sum_{i=1}^{k+1} A^{k-i-1} Bu(i).$$

Ограничения в каждый дискретный момент времени в этом случае имеют вид:

$$s_j(y(i), u(i - 1)) = 0, \quad j = 1, 2, \dots, q$$

$$h_j(y(i), u(i - 1)) = 0, \quad j = 1, 2, \dots, v,$$

где:  $s_j, h_j$  – линейные векторные функции.

Целевая функция принимает вид:

$$J = \sum_{i=1}^N F(y(i), u(i - 1), i),$$

где  $F$  – скалярная линейная функция.

Формализованное описание дискретных САУ в этом виде наиболее желательно, так как задачу синтеза оптимальной системы в этом случае обычно можно свести к задаче линейного программирования.

Дискретные нелинейные модели описываются следующими разностными уравнениями состояния:

$$y(i + 1) = R(y(i), u(i), v(i), f(i), i)$$

где:  $i = 1, 2, \dots, N - 1$  – номер временного интервала.

В каждый дискретный момент времени система должна быть подчинена дополнительной системе ограничений:

$$s_j(y(i), u(i - 1), v(i - 1), f(i - 1)) = 0, \quad j = 1, 2, \dots, r$$

$$h_j(y(i), u(i - 1), v(i - 1), f(i - 1)) = 0, \quad j = 1, 2, \dots, p,$$

где  $s_j$  и  $h_j$  – в общем случае нелинейные функции.

В этом случае функция  $F$  для целевой функции может быть нелинейной. Аналитического решения системы в общем случае не имеется. Однако существует класс систем, для которых можно получить достаточно точные численные решения. Очевидно, что и в этом случае желательно, чтобы ограничения  $s$  и  $h$  образовывали выпуклые множества, а функция  $F$  была выпуклой или вогнутой.

Стохастические модели используются для САУ со случайными параметрами или для САУ со случайными возмущающими воздействиями.



Системы со случайными параметрами можно описывать непрерывными и дискретными линейными или нелинейными моделями подобными предыдущим. Однако уравнения состояния, ограничений и целевых функций в этом случае записываются для статистических оценок параметров, наиболее используемыми из которых являются оценки математических ожиданий и дисперсий. В системах со случайными возмущающими воздействиями широко используются такие характеристики входных воздействий и выходных реакций системы, как корреляционные функции и спектральные плотности случайных функций времени. Однако при этом случайные входные воздействия должны обладать свойствами стационарности и эргодичности. В противном случае указанные характеристики становятся неопределенными, и тогда САУ приходится описывать нечеткими моделями.

Нечеткие модели используются при отсутствии принципиальной возможности получения четкой модели САУ или каких либо ее частей. Выбор нечеткой модели во многом зависит от выявленных неопределенностей в САУ.

После выявления имеющихся в данной задаче анализа и синтеза САУ неопределенностей может быть построена одна из следующих нечетких моделей

Логико-вероятностные модели с не изменяющимися вероятностями событий, описываемые системами логических уравнений или системами алгебраических уравнений по модулю 2. При этом логические переменные имеют в качестве атрибутов вероятности их истинности или ложности, которые не изменяются во времени. Систему логических уравнений обычно приводят к уравнениям вида линейной последовательностной машины.

Логико-вероятностные модели с изменяющимися во времени вероятностями событий так же описываются системами логических уравнений или алгебраических уравнений по модулю 2. Однако процесс вычисления минимума целевой функции при изменении во времени вероятностей событий усложняется, так как в этом случае целевая функция так же изменяется во времени. Последнее обстоятельство является характерной чертой систем эволюционно-генетического типа или человеко-машинных систем.

Логико-вероятностные модели с интервальным заданием вероятностей описываются системами логических или алгебраических по модулю 2. Однако процесс вычисления минимума целевой функции резко усложняется, так как вероятности каждого из возможных исходов теперь лежат в некоторых диапазонах, вычисление которых зависит от логического уравнения, из которого получена данная логическая величина исходов.

Логико-вероятностные модели с интервальным заданием вероятностей, меняющимся во времени так же описываются системами логических уравнений или алгебраических уравнений по модулю 2. Однако процесс вычисления минимума целевой функции при изменении во времени интервалов вероятностей событий усложняется, так как в этом случае целевая функция так же изменяется во времени. Такие модели характерны для ЧМС. Построение адекватных моделей таких систем связано с изучением поведения ЛПП и требует их предварительного тестирования с целью выявления характерных особенностей поведения при принятии решения в условиях неполной определенности.

Логико-вероятностные модели со случайными вероятностями событий описываются системами логических или алгебраических по модулю 2 уравнений.

Логико-лингвистические модели с неизменяющимися во времени функциями принадлежности описываются системами логических или алгебраических по модулю 2 уравнений.

Логико-лингвистические модели с изменяющимися во времени функциями принадлежности описываются аналогично предыдущим. Однако из-за изменения функций принадлежности во времени необходимо во-первых расчеты производить на порядок быстрее скорости изменения функций принадлежности, а во-вторых постоянно периодически повторять расчеты для коррекции воздействий вслед за изменениями функций принадлежности.

Логико-лингвистические модели с не формализуемыми атрибутами лингвистического типа, для описания логической части использующие по модулю 2. Однако при этом требуется задание правил или алгоритмов обработки лингвистической атрибутивной части, характеризующей нечеткость или не определенность логических переменных, при проведении над ними операций сложения и умножения по модулю 2.

В заключении следует отметить, что при исследовании и синтезе сложных САУ могут быть использованы методы идентификации, нечёткой логики и все рассмотренные виды моделей в любых сочетаниях.

#### Литература:

1. Лю Б. Теория и практика неопределенного программирования / Б.Лю. — М.: БИНОМ. Лаб.знаний, 2005. — 416 с.
2. Моисеев Н.Н. Элементы теории оптимальных систем / Н.Н. Моисеев. — М.:Наука,1975. — 528 с.
3. Рутковская Д., Плинский М., Рутковский Л., Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: Пер. с польск. И.Д. Рудинского. — М.: Горячая линия — Телеком, 2006. — 452 с.
4. Управление в условиях неопределенности / Под ред. д-ра техн. наук, проф. А.Е. Городецкого. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2002. 398 с.

## Распознавание объектов на основе видеосигнала, полученного с камеры, установленной на подвижной платформе

Бойко Иван Александрович, бакалавр, студент магистратуры;  
Гурьянов Роман Андреевич, бакалавр, студент магистратуры  
Волгоградский государственный технический университет

### Введение

Отличительная черта компьютерного зрения — это извлечение полезной и важной для нас информации из изображений или последовательности изображений. Компьютерное зрение сосредотачивается на обработке трех-мерных сцен, спроектированных на одно или несколько изображений. По одному или нескольким изображениям можно восстановить структуру или другую информацию о трехмерной сцене. Области применения компьютерного зрения необычайно широк: системы управления процессами (промышленные роботы, автономные транспортные средства), системы видеонаблюдения, системы организации информации (например, для индексации баз данных изображений), системы моделирования объектов или окружающей среды (анализ медицинских изображений, топографическое моделирование), системы взаимодействия (например, устройства ввода для системы человеко-машинного взаимодействия).

Для многих роботизированных систем необходимо обладать достаточными сведениями об окружающей области. На основе этой информации робот выбирает модель поведения. Таким образом, здесь используется информация о структуре окружающих объектов и отслеживается их движение, что позволяет роботу стабильно работать в условиях динамически меняющейся среды.

Главной задачей системы управления движением является планирование перемещений робота к некоторой целевой точке с учетом различных факторов. Информация об этих факторах содержится в видеопотоке, получаемом с камеры, расположенной на мобильной платформе. Значит, важно извлечь информацию из изображений. Для этого необходимо распознать образы окружающих предметов. А затем, система управления роботом может на основе этих данных, корректно сформировать целесообразное поведение робота, для выполнения поставленной задачи.

### Постановка задачи

Необходимо разработать программное обеспечение и общие алгоритмы функционирования программно-аппаратного комплекса для распознавания объектов окружающей среды.

### Методы исследования

Для решения поставленных задач используются методы теории, методы обработки цифровых изображений, теории нейронных сетей.

Программа, реализующая алгоритм, написана на языках C# и C++ с использованием библиотеки OpenCv.

### Распознавание образов окружающих объектов внешней среды

Представим структуру системы для распознавания образов. Данная система обработки производит обработку и анализ изображений, поступающие от оптико-электронных систем. Учитывая характер решаемых задач, необходимо учесть следующие ограничения и особенности:

1) Информация о характеристиках фона и наблюдаемых объектов чаще всего содержит неточные размеры объектов или вовсе отсутствует.

2) В связи с ограниченностью времени на принятие решений и наличием замкнутого контура управления движением обработка, анализ и распознавание должны выполняться в реальном времени.

3) Работа системы управления, слежения и обработки должна проводиться при минимальном участии человека или в автономном режиме.

В сложных условиях, улучшить качество сигнала и результата наблюдения можно с помощью алгоритмов оценивания параметров геометрических преобразований изображений и методов пространственно-временной фильтрации. Среди них можно выделить четыре основных метода.

1. Для измерения положения неподвижных и движущихся объектов, наблюдаемых на однородном и неоднородном фоне используются методы на основе сравнения с эталоном.

2. Используя информацию о статистических свойствах объекта и фона можно выделять движущиеся и неподвижные объекты, наблюдаемые на сравнительно однородном фоне. Такие методы называются методы статистической сегментации.

3. При обнаружении объектов на фоне ясного или облачного неба максимальную эффективность показывают методы выделения объектов с помощью пространственной фильтрации. Данные методы используют операции линейной и нелинейной пространственной фильтрации изображений.

4. Методы выделения динамических изменений основаны на выделении изменений, происходящих с течением времени в наблюдаемой группе изображений. Такие методы применяются при решении задачи выделения движущихся объектов.

На рисунке 1 представлена структура системы обнаружения объектов, которая включает перечисленные выше концепции.



Рис. 1. Структура программно-алгоритмического обеспечения оптико-электронной системы обнаружения объектов

### Реализация алгоритма распознавания объектов внешней среды

В процессе функционирования робототехнической системы получается поток изображений, содержащий большое количество информации об окружающем мире. Однако перед выделением необходимой информации из изображений, их предварительно необходимо обработать.

В процессе предварительной подготовки над видеоизображением производятся следующие операции:

- преобразование цветного 4-канального изображения в черно-белое одноканальное;
- цифровая коррекция аберрации объектива телекамеры;
- фильтрация видеоизображения.

Решаться эти задачи должны в реальном времени при наличии ограничений на вычислительные ресурсы.

Захват видеоизображения. Преобразование цветного изображения в черно – белое. При ограниченных вычислительных ресурсах важно выбрать допустимый размер видеоизображения в пикселях, а также для хранения в памяти организовать структуру данных, которая бы обеспечивала быстрый доступ к изображению и удобную работы с ним. Для этого в библиотеке OpenCV есть специальный тип данных – структура IplImage. По сути это матрица интерпретированная как изображение.

Для решения задач обнаружения препятствий и распознавания образов необходимо наличие неискаженного изображения. Однако большинство объективов телекамер обладают искажающим эффектом (абберацией). Объективы, в которых полностью устранена абберация, обладают высокой стоимостью и большими массогабаритными характеристиками.

Для устранения аберрации объектива телекамеры предлагается использование алгоритма цифровой коррекции искажений на видеоизображении. Необходимым требованием к этим алгоритмам является достижение максимального быстродействия.

OpenCV предоставляет нам готовый к использованию алгоритм исправления искажений (undistortion), который принимает сырые изображения и коэффициенты искажения из cvCalibrateCamera2 () и создает исправленное изображение.

При построении интеллектуального мобильного робота с высокой степенью интеллектуальности необходима такая система распознавания образов, которая позволила бы не только распознавать известные ей образы, но и обучаться новым.

Рассмотрим общий алгоритм распознавания

Общая последовательность действия при распознавании выглядит так:

- Предварительная обработка изображения – сглаживание, фильтрация помех, повышение контраста.
- Бинаризация изображения и выделение контуров объектов.
- Начальная фильтрация контуров по периметру, площади, коэффициенту формы.
- Приведение контуров к единой длине, сглаживание.
- Перебор всех найденных контуров, поиск шаблона, максимально похожего на данный контур.

Библиотека OpenCV предоставляет возможность разработчикам легко детектировать контуры изображения и манипулировать ими. Для поиска контуров предлагается использовать функцию cvFindContours ().

Функция `cvFindContours` отыскивает контуры от монохромного изображения и возвращает число найденных контуров.

После того, как контуры обнаружены — их можно вывести в изображении с помощью функции `cvDrawContours()`.

Для сглаживания и получения более аккуратных контуров можно воспользоваться функцией `cvApproxPoly()`.

Когда камера движется на каком-либо объекте, то важно определить направление движения. В этом случае можно использовать следующую функцию в OpenCV — `phaseCorrelate`.

Функция используется для определения сдвигов между двумя изображениями (массивами).

Покажем работы алгоритма перевода изображения в экранные образы:

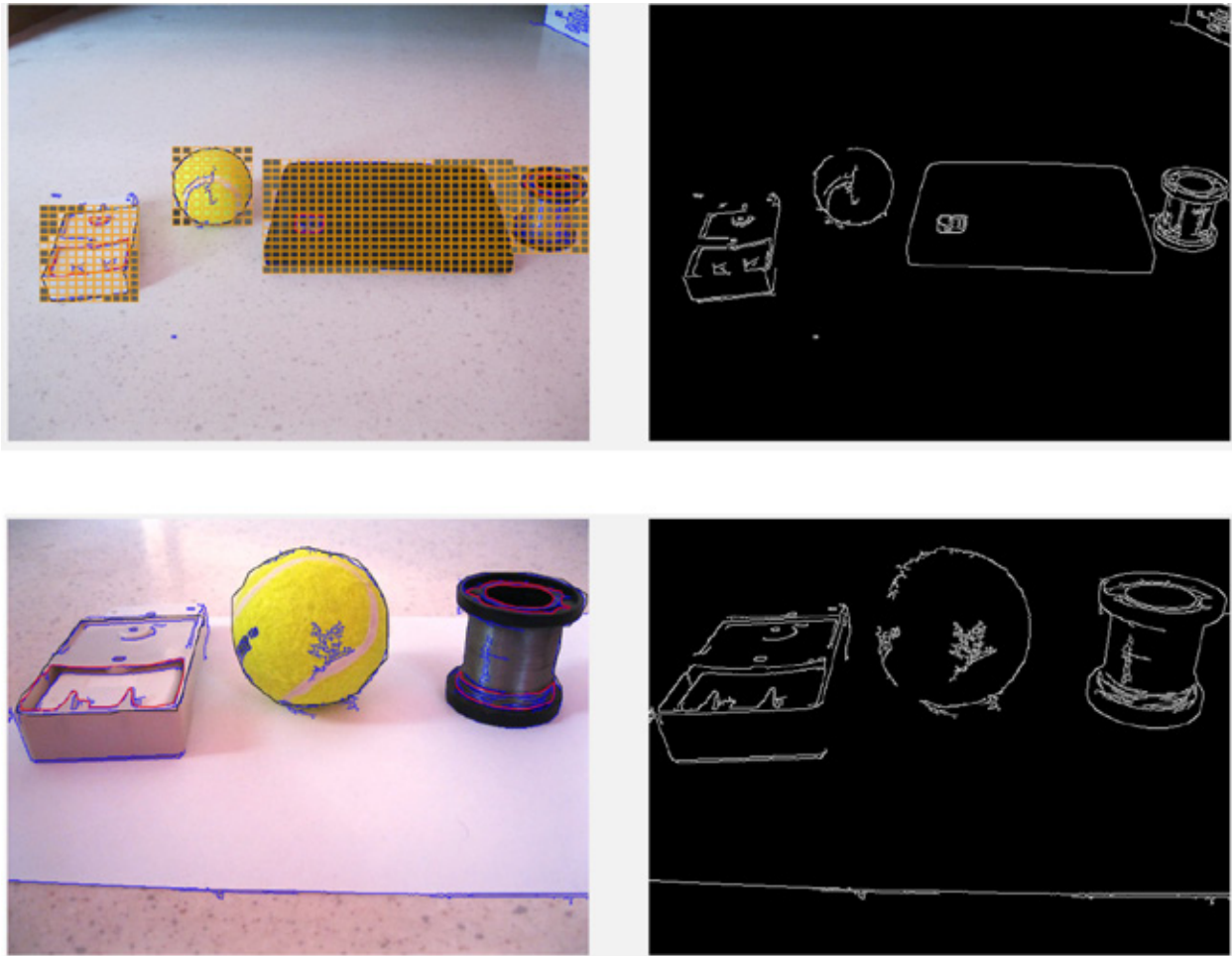


Рис. 2. Результат работы алгоритма перевода изображения в экранные образы

#### Литература:

1. Юревич Е.И. Основы робототехники. — СПб.: БХВ-Петербург, 2007. — 416 с.
2. Bradsky G., Kaehler A. Learning OpenCV — O'Reilly, 2008. — 556 с.

## Приложение ортогональных полиномов Чебышева к оценке психофизиологической напряженности оператора

Будылина Евгения Александровна, кандидат физико-математических наук, старший преподаватель  
Московский государственный машиностроительный университет

Гарькина Ирина Александровна, доктор технических наук, доцент;  
Данилов Александр Максимович, доктор технических наук, профессор;  
Петренко Вероника Олеговна, аспирант  
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

*Рассматривается оценка психофизиологической напряженности оператора в семибальной оценочной шкале при управлении транспортным средством в зависимости от жесткости рулевого колеса с использованием ортогональных полиномов Чебышева.*

Приведем предварительные сведения о разложении функций по ортонормированной системе функций, в частности, полиномов.

Пусть на множестве точек  $\{x_i\}$  ( $i = \overline{1, m}$ ) задана функция  $f(x)$  и определена система функций  $\{g_k(x)\}$  ( $k = 0, 1, 2, \dots$ ). Скалярным произведением функций  $g_k(x)$  и  $g_l(x)$  на множестве точек  $\{x_i\}$  ( $i = \overline{1, m}$ ) называется

$$(g_k, g_l) = \sum_{i=1}^m g_k(x_i)g_l(x_i).$$

Число  $\|g_k\| = \sqrt{(g_k, g_k)} = \sqrt{\sum_{i=1}^m g_k^2(x_i)}$  является нормой функции  $g_k(x)$  на множестве точек  $\{x_i\}$  ( $i = \overline{1, m}$ ).

Функции  $g_k(x)$  и  $g_l(x)$  называются ортогональными на множестве точек, если для скалярного произведения на этом множестве справедливо:

$$(g_k, g_l) = \begin{cases} \sum_{i=1}^m g_k(x_i)g_l(x_i) = 0 & (k \neq l) \\ \sum_{i=1}^m g_k(x_i)g_l(x_i) \neq 0 & (k = l). \end{cases} \quad (1)$$

Система функций  $\{g_k(x)\}$  ( $k = 0, 1, 2, \dots$ ) называется ортогональной на множестве точек  $\{x_i\}$  ( $i = \overline{1, m}$ ), если все функции этой системы попарно ортогональны на этом множестве.

Коэффициенты  $C_0, C_1, \dots, C_n$  обобщенного многочлена

$$Q_n(x) = C_0g_0(x) + C_1g_1(x) + \dots + C_n g_n(x)$$

называются коэффициентами Фурье функции  $f(x)$  относительно ортогональной системы функций, если они определяются по формулам

$$C_k = \frac{(f, g_k)}{\|g_k\|^2} = \frac{\sum_{i=1}^m f(x_i)g_k(x_i)}{\sum_{i=1}^m g_k^2(x_i)}, \quad (k = 0, 1, 2, \dots, n). \quad (2)$$

Для функции  $f(x)$ , определенной на множестве точек  $\{x_i\}$  ( $i = \overline{1, m}$ ), обобщенный многочлен  $n$ -й степени  $Q_n(x)$  с коэффициентами Фурье относительно ортогональной на множестве точек системы функций является многочленом наилучшего среднеквадратичного приближения этой функции, причем квадрат наименьшего отклонения равен

$$\|f\|^2 - \sum_{k=0}^n C_k^2 \|g_k\|^2, \quad (3)$$

где  $C_k$  – коэффициенты Фурье, определяемые по формулам (2).



Оценка погрешности приближения определяется величиной  $\sqrt{\|f\|^2 k^2}$ .

Многочленами Чебышева на множестве точек  $\{x_i\}$  ( $i = \overline{1, m}$ ) называются алгебраические многочлены, ортогональные на этом множестве, с нормой  $\|g_k\|$ , отличной от нуля, и определяемые следующими рекуррентными формулами:

$$g_0 \equiv 1; \quad g_1(x) = x - a; \\ g_k(x) = (x - a_k)g_{k-1}(x) - b_k g_{k-2}(x) \quad (k = 2, 3, \dots, m-1), \tag{4}$$

где

$$a = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_i,$$

$$a_k = \frac{\sum_{i=1}^m x_i g_{k-1}^2(x_i)}{\sum_{i=1}^m g_{k-1}^2(x_i)},$$

$$b_k = \frac{\sum_{i=1}^m x_i g_{k-2}(x_i) g_{k-1}(x_i)}{\sum_{i=1}^m g_{k-2}^2(x_i)}.$$

Соотношения для коэффициентов  $a, a_k, b_k$  получаются из условия ортогональности (1).

Можно показать, что многочлен  $g_m(x)$  степени  $m$  на множестве точек  $\{x_i\}$  ( $i = \overline{1, m}$ ), полученный по рекуррентным формулам (4), на этом множестве точек имеет норму, равную нулю, и уже не является многочленом Чебышева.

Рассмотрим одно приложение к решению актуальной задачи определения аналитической зависимости психофизиологической напряженности оператора  $y$  (в семибальной шкале [1]) от жесткости  $x_i$  [Н-м/градус] рулевого управления (приложение момента к рулевому колесу). Экспериментальные данные приведены в таблице:

Жесткость $x_i$ , Н-м/градус	0	1	3	4
Класс $y_i$	4	0	1	2

Составим ортогональные многочлены Чебышева  $g_0(x), g_1(x), g_2(x), g_3(x)$  на множестве точек  $\{0, 1, 3, 4\}$ . Имеем:

$$g_0(x) = 1; \quad g_1(x) = x - a; \quad a = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 x_i = \frac{1}{4}(0+1+3+4) = 2,$$

$$g_1(x) = x - 2; \quad g_2(x) = (x - a_2)g_1(x) - b_2 g_0(x);$$

$$\|g_0\|^2 = 4; \quad \|g_1\|^2 = g_1^2(0) + g_1^2(1) + g_1^2(3) + g_1^2(4) = 10,$$

$$a_2 = \frac{\sum_{i=1}^4 x_i g_1^2(x_i)}{\|g_1\|^2} = \frac{0 \cdot 4 + 1 \cdot 1 + 3 \cdot 1 + 4 \cdot 4}{10} = 2,$$

$$b_2 = \frac{\sum_{i=1}^4 x_i g_0(x_i) g_1(x_i)}{\|g_0\|^2} = \frac{0 \cdot 1 \cdot (-2) + 1 \cdot 1 \cdot (-1) + 3 \cdot 1 \cdot 1 + 4 \cdot 1 \cdot 2}{4} = \frac{5}{2},$$

$$g_2(x) = (x - 2)^2 - \frac{5}{2},$$



$$\|g_2\|^2 = \sum_{i=1}^4 g_2^2(x_i) = \frac{9}{4} + \frac{9}{4} + \frac{9}{4} + \frac{9}{4} = 9,$$

$$g_3(x) = (x - a_3)g_2(x) - b_3g_1(x),$$

$$a_3 = \frac{\sum_{i=1}^4 x_i g_2^2(x_i)}{\|g_2\|^2} = \frac{0 \cdot \frac{9}{4} + 1 \cdot \frac{9}{4} + 3 \cdot \frac{9}{4} + 4 \cdot \frac{9}{4}}{9} = 2,$$

$$b_3 = \frac{\sum_{i=1}^4 x_i g_1(x_i) g_2(x_i)}{\|g_1\|^2} = \frac{9}{10},$$

$$g_3(x) = (x - 2)^3 - \frac{17}{5}(x - 2),$$

$$\|g_3\|^2 = \sum_{i=1}^4 g_3^2(x_i) = \frac{36}{25} + \frac{144}{25} + \frac{144}{25} + \frac{36}{25} = \frac{72}{5}.$$

Значения многочленов  $g_0(x), g_1(x), g_2(x), g_3(x)$  на множестве точек  $\{0, 1, 3, 4\}$  представлены в таблице.

$i$	$x_i$	$g_0(x_i)$	$g_1(x_i)$	$g_2(x_i)$	$g_3(x_i)$
1	0	1	-2	1,5	-1,2
2	1	1	-1	-1,5	2,4
3	3	1	1	-1,5	-2,4
4	4	1	2	1,5	1,2

Многочлены наилучшего приближения имеют вид:

$$Q_0(x) = C_0 g_0(x),$$

$$Q_1(x) = C_0 g_0(x) + C_1 g_1(x),$$

$$Q_2(x) = C_0 g_0(x) + C_1 g_1(x) + C_2 g_2(x),$$

$$Q_3(x) = C_0 g_0(x) + C_1 g_1(x) + C_2 g_2(x) + C_3 g_3(x).$$

Здесь коэффициенты Фурье определены по формулам (2):

$$C_0 = \frac{7}{4}, C_1 = -\frac{3}{10}, C_2 = \frac{5}{6}, C_3 = -\frac{1}{3}.$$

Квадрат наименьшего среднеквадратичного отклонения определяется для приближения многочленом  $Q_3(x)$

$$\begin{aligned} & \|f\|^2 - \sum_{k=0}^3 C_k^2 \|g_k\|^2 = \\ & = 21 - \left( \frac{49}{16} \cdot 4 + \frac{9}{100} \cdot 10 + \frac{25}{36} \cdot 9 + \frac{1}{9} \cdot \frac{72}{5} \right) = 21 - \left( \frac{49}{4} + \frac{9}{10} + \frac{25}{4} + \frac{8}{5} \right) = 0. \end{aligned}$$

Значения алгебраических многочленов наилучшего среднеквадратичного приближения в точках  $x_i$  представлены в таблице:

$i$	$x_i$	$Q_0(x_i)$	$Q_1(x_i)$	$Q_2(x_i)$	$Q_3(x_i)$
1	0	1,75	2,35	3,6	4,00
2	1	1,75	2,05	0,8	0,00
3	3	1,75	1,45	0,2	1,00
4	4	1,75	1,15	2,4	2,00

Графики функций  $Q_0(x), Q_1(x), Q_2(x), Q_3(x)$  изображены на рис. 1 (очевидна целесообразность увеличения числа экспериментальных точек).

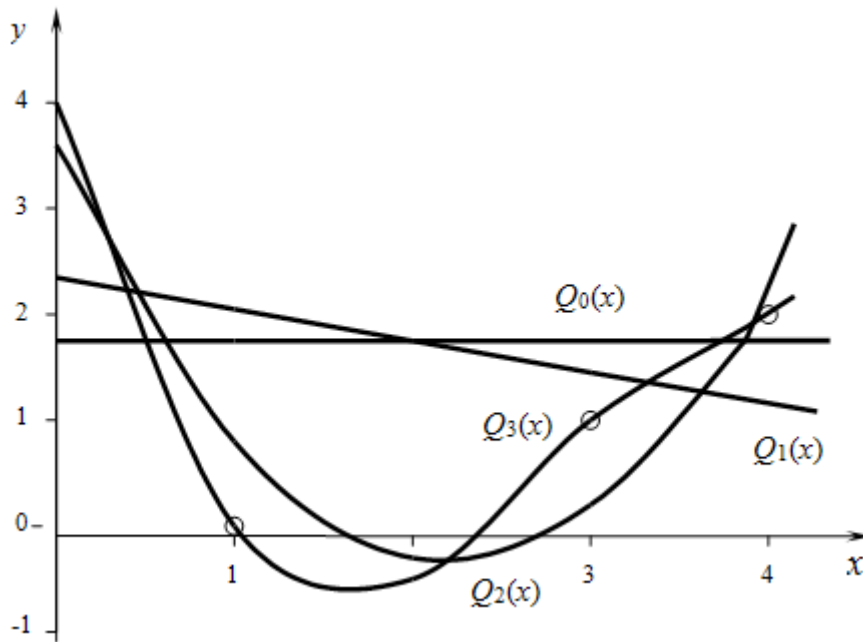


Рис. 1.

Эффективность использования аппроксимационных полиномов Чебышева подтвердилась при дальнейших исследованиях зависимости психофизиологической напряженности водителя от жесткости руля при надлежащем выборе числа экспериментальных точек.

Литература:

1. Леонова А.Б. Психодиагностика функциональных состояний человека. — М.: Изд-во Моск. ун-та. 1984. — 200 с.
2. Данилов А.М., Гарькина И.А. Сложные системы: идентификация, синтез, управление: монография. — Пенза: ПГУАС, 2011. — 308 с.

## Подходы к многокритериальности сложных систем

Будылина Евгения Александровна, кандидат физико-математических наук, старший преподаватель  
Московский государственный машиностроительный университет

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

Анализ и синтез сложных систем практически любой природы связаны с решением проблемы многокритериальности. К большому сожалению, в преобладающем большинстве отраслей, не является исключением и строительное материаловедение, за редким исключением [1] оптимизация по векторному критерию практически не используется. Обычно большинство авторов ограничиваются однокритериальной оптимизацией без надлежа-

щего ранжирования критериев и минимизации размерности критериального пространства [2]. Практически не используются и известные формализованные методы решения задач с ограничениями (в частности, метод последовательных уступок).

Заклучение об эффективности функционирования сложных систем невозможно сделать на основании регистрации какого-либо одного показателя. Оценка, как пра-

вило, является многокритериальной и не сводится к стандартной оценке качества по одному критерию. Задания всей совокупности критериев часто недостаточно для выделения важнейшего: необходима дополнительная информация об относительной важности каждого из них. Ниже ограничимся только детерминированными задачами управления, в которых множеством критериев полностью определяется качество управления.

В рассматриваемых задачах критериями  $K_i, i = \overline{1, n}$  являются числовые функции, заданные на множестве стратегий управления. Без нарушения общности рассуждений будем полагать, что по каждому из критериев качество системы тем выше, чем больше значение критерия (если не оговорено противное). Считается, что стратегия  $u$  предпочтительнее стратегии  $v$ , если справедливы неравенства

$$K_i(u) \geq K_i(v), i = \overline{1, n}.$$

Предполагается, что хотя бы одно из неравенств — строгое. Если  $K_i(u) = K_i(v)$ , то стратегии  $u$  и  $v$  считаются одинаковыми по качеству.

Наиболее серьезной при оценке качества процессов и систем является *проблема неопределенности* в постановке исходной задачи. С этим непосредственно связана *проблема нормализации* множества критериев качества, задания *приоритетов* (степени важности) для элементов множества критериев.

В некоторых случаях возможна оценка процесса или системы по некоторому обобщенному *глобальному критерию* качества  $K$ , являющемуся некоторой функцией локальных критериев  $K_i$ . При такой оценке обычно используются *два метода*.

В первом оценка сводится к решению задачи с ограничениями, имеющей две модификации. В первой из всего множества критериев выделяется основной критерий  $K_m$ , по которому и проводится оценка качества; остальные критерии  $K_i, i \neq m$  ограничиваются условиями: «не меньше, чем» или «не больше, чем». Во второй множество критериев представляется в виде упорядоченного по степени важности множества, а затем проводится последовательная оценка качества. *Критерий оптимальности из всего множества критериев выбирается субъективно*.

Второй метод состоит в формировании глобального критерия качества в виде суммы локальных, взятых со своими весовыми коэффициентами (скаляризация, свертывание критериев). Эффективность метода зависит от степени объективности этих констант.

*Нормализация* (приведение критериев к единой мере) связана с различными размерностями локальных критериев. Она может проводиться с учетом оптимального значения  $K_{i0}$  для каждого локального критерия и определения отклонений  $K_i - K_{i0}$ . *Успешное решение проблемы нормализации зависит от того, насколько точно определены оптимальные значения локальных критериев*.

При анализе и синтезе сложных систем *различной природы* (композиционные материалы модульной структуры, тренажные и обучающие комплексы для подготовки операторов транспортных систем, механические колебательные системы и т.д.) нами эффективно использовалась приводимая ниже *методика выбора весовых констант*. А именно, процедура определения весовых констант  $\alpha_i$  в

глобальном аддитивном критерии  $K = \sum_{i=1}^n \alpha_i K_i$  включала:

- задание начальных значений весов  $\alpha_i^{(0)}$ ;
- вычисление интегральной оценки  $K = \sum_{i=1}^n \alpha_i^{(0)} K_i$ ;
- определение коэффициентов корреляции

$$\rho_i = \frac{\sum_{\gamma} (K_i^{(\gamma)} - \overline{K_i}) \cdot (K^{(\gamma)} - \overline{K})}{\sqrt{\sum_{\gamma} (K_i^{(\gamma)} - \overline{K_i})^2} \sqrt{\sum_{\gamma} (K^{(\gamma)} - \overline{K})^2}}, i = \overline{1, n}$$

частных критериев качества  $K_i$  с глобальным критерием  $K$ ;

- уточнение значений весовых констант  $\alpha_i^1 = \frac{\rho_i}{\sum_{i=1}^n \rho_i}$ ,  $i = \overline{1, n}$ ;

- уточнение значений  $K^{(1)} = \sum_{i=1}^n \alpha_i^{(1)} K_i$ .

Итерационная процедура осуществляется до выполнения условия  $|\alpha_i^{(l)} - \alpha_i^{(l-1)}| < \epsilon, i = \overline{1, n}$ . В результате будет получена оценка  $K^{(l)} = \sum_{i=1}^n \alpha_i^{(l)} K_i$ . Найденные таким образом значения весовых констант не зависят от их начальных значений  $\alpha_i^{(0)}$ , а определяются только долей участия частных критериев  $K_i$  в глобальном критерии качества  $K$ . Методика легко обобщается и на случай, когда

$$K = \sum_{i=1}^n \alpha_i \sum_{v=1}^{m_i} \beta_{iv} K_{iv}$$

Например, при оценке качества композита [3] частными критериями  $K_i$  являются свойства: прочность, твердость, реологические свойства и т.д. В качестве критериев  $K_{iv}$  рассматриваются параметры кинетических процессов набора прочности, твердости и т.д. (определяются точкой в факторном пространстве: точки экстремума, экстремальные значения, точки перегиба и т.д.). Константы  $\beta_{iv}$  определяются аналогично определению  $\alpha_i$ .

Приведенная процедура использовалась и для объективизации субъективной оценки оператором эргатической транспортной системы *технических характеристик объекта* с точки зрения управления, а также *имитационных характеристик тренажных комплексов* (оценка имитационных характеристик непосредственно связана с задачей объективного контроля качества моделирования объекта и сводится к сравнению

управляющих воздействий в системах «оператор-объект» и «оператор-модель объекта»). Здесь в комплекс показателей, характеризующих деятельность оператора, входили:

– точность выдерживания заданных параметров движения, сохранения безопасных режимов движения при отказах оборудования;

– качество выполнения дополнительных задач, непосредственно не связанных с движением: надежность восприятия, время выполнения двигательных действий и т.д.;

– структура сбора информации (частота и длительность фиксации, маршруты перемещения и время переноса взгляда, дискретность восприятия);

– параметры психических процессов обнаружения, опознания и принятия решения;

– параметры, определяющие психофизиологическую напряженность оператора;

– субъективные мнения операторов (данные опроса, бесед).

На сегодня ни одну из затронутых выше проблем (с точки зрения практического использования методик) пока нельзя считать решенной до конца (на уровне когнитивного моделирования). Так, предварительная оценка деятельности оператора транспортной системы производилась на основе определения отклонений от заданных параметров движения в некоторый фиксированный момент времени или максимальных отклонений на некотором интервале (например, отклонение от заданной траектории при ручной посадке, взлете, маневре и т.д.). По полученным данным строились функции или плотности распределений, определялись моменты распределения (математическое ожидание, дисперсия, эксцесс, асимметрия и т.д.). При оценке качества управления в аварийной ситуации определялись максимальные отклонения от заданных величин; строились функции распределения отклонений для оценки вероятности выхода параметров за пределы безопасных значений. Осуществлялся корреляционно-спектральный анализ параметров движения. Это дало возможность определить не только средние и среднеквадратические отклонения в выдерживании заданного параметра  $x_i(t)$ , но и степень колебательности процесса. Для обеспечения необходимой точности полученных характеристик использовались реализации процессов большой длительности, что потребовало больших объемов вычислительных работ. При оперативных оценках управления пользовались математическим ожиданием  $m_i$ , среднеквадратическим отклонением  $\sigma_i$  и степенью колебательности процесса

$$\aleph_i = \frac{\int_0^T x_i^2 dt}{\int_0^T (x_i - m_i)^2 dt}.$$

Если  $a_n$  – амплитуды гармоник  $\omega_n$  в разложении  $x_i(t)$  в ряд Фурье на отрезке  $[0, T]$ , то оценка колебательности процесса принималась в виде

$$\aleph_i = \frac{\sum_n \omega_n^2 a_n^2}{\sum_n a_n^2}.$$

Интегральная оценка производилась по значению

$$\aleph_i = f(x_i) \sqrt{m_i^2 + \sigma_i^2}.$$

При заданной дисперсии  $\sigma_i^2$  решением изопериметрической задачи вариационного исчисления можно показать, что  $x_{i \min} = \frac{\pi^2}{T^2}$ , поэтому интегральная оценка  $\aleph_i$  принималась в виде

$$\aleph_i = \sqrt{m_i^2 + \sigma_i^2} \left( 1 + T_i \sqrt{x_i - \frac{\pi^2}{T^2}} \right),$$

$T_i$  – время переходного процесса в контуре стабилизации заданного параметра  $x_i$  (при управлении в  $j$ -ом установившемся режиме оператором обычно выдерживаются не более трех параметров ( $i \leq 3$ ; в горизонтальном полете – скорость, курс, высота; при выполнении спирали – скорость, крен, вертикальная скорость)). При одновременной оценке управления по всем параметрам каждого из установившихся режимов использовали безразмерный аддитивный глобальный критерий:

$$K_j = \sum_{i=1}^3 \frac{\aleph_{ij}}{c_{ij}} = \sum_{i=1}^3 \frac{\sqrt{m_{ij}^2 + \sigma_{ij}^2}}{c_{ij}} \left( 1 + \sqrt{x_{ij} - \frac{\pi^2}{T^2}} \right).$$

Заметим, фактически выбор значений  $c_i$  на выдерживание каждого  $i$ -го параметра равносильно введению значений весовых констант с присущими этому элементам субъективизма (избавиться в известной степени можно воспользовавшись приведенной выше методикой их выбора).

Эффективность предложенных подходов к решению проблемы многокритериальности подтвердилась при проектировании композитов и оценке имитационных характеристик тренажеров транспортных систем.

Литература:

1. Гарькина И.А., Данилов А.М. Управление в сложных технических системах: методологические принципы управления / Региональная архитектура и строительство, № 1 (12), 2012. – с. 39–43.
2. Данилов А.М., Логанина В.И., Смирнов В.А. Анализ показателей лакокрасочных покрытий методом главных компонент / «Известия КазГАСУ», № 1 (11), 2009. – с. 243–246.

3. Гарькина И.А., Данилов А.М. Управление качеством материалов со специальными свойствами / Проблемы управления. — 2008. — № 6. — С. 67–74.

## Механизация агромелиоративных работ на тяжелых минеральных почвах

Данатаров Агахан, кандидат технических наук, докторант;

Ашыров Сердар Чашемович, старший преподаватель;

Мухамметмырадов Какамырат, аспирант;

Шаммедов Мердан;

Рустамов Сердар, преподаватель;

Туркменский сельскохозяйственный университет (г. Ашхабад)

*На основе теоретических и экспериментальных исследований разработаны оптимальные параметры аэрационного дренажа и глубоких рыхлителя. Обоснована технология нарезки аэрационного дренажа и рыхления подпахотного слоя глубоких рыхлителем, которая позволяет улучшить агротехнические показатели работы используемого оборудования при наименьших затратах. Технико-экономические расчёты показали, что нарезка аэрационного дренажа позволяет снизить расходы по эксплуатации техники до 30 %, обеспечить оптимальной водно-воздушной режим почв в условиях аридной зоны и повысить урожайность хлопчатника до 10 ц/га.*

**Ключевые слова:** аэрационный дренаж, глубоких рыхлитель, аридная зона, водно-воздушный режим почв, удобрение, хлопчатник.

*On the basis of theoretical and experimental researches optimum parameters of drainage aeration and chisel plow are developed. The technology of cutting drainage aeration and loosening of subsurface by means of chisel plow which allows to improve work agrotechnical indicators used equipment at the least expenses is proved. Technical and economic calculations have shown, that cutting drainage aeration allows to reduce expenses on technics operation up to 30 %, to provide optimum of soils water-air regime in the conditions of arid zone and raise cotton productivity up to 10 centner\hectares.*

Применение сельскохозяйственной техники, многократная обработка почвы, излишнее орошение, ориентированное на получение максимальной урожайности возделываемых культур, внесение больших доз азотных и калийных удобрений создают предпосылки для интенсивного разрушения структуры почвы по всему профилю с образованием иллювиальной прослойки на глубине 0,2...0,4 м. Уплотненный слой почвы препятствует распространению корневой системы, снижает объемы аккумуляции продуктивных влагозапасов, доступность растениям влаги и элементов минерального питания из более глубоких горизонтов. При орошении с увеличением плотности почвы уменьшается ее впитывающая способность и, как следствие, интенсифицируется процесс водной эрозии. Многочисленные исследования по обработке сельскохозяйственных угодий подтверждают тот факт, что повышение продуктивности угодий происходит за счет увеличения мощности корнеобитаемого слоя почвы путем механического его рыхления, регулярность применения которого без мероприятий, направленных на накопление органики в почве, может вызвать усиление деграционных процессов, обусловленных интенсивной сработкой гумуса. Результаты теоретических исследований и накопленный практический опыт свидетельствуют

о необходимости дальнейшего совершенствования технологических процессов возделывания сельскохозяйственных культур на орошаемых землях, основу которых должны составлять комплексные мелиоративные мероприятия, направленные как на получение необходимой продукции, так и на повышение плодородия почв [7].

В связи с этим необходимость совершенствования технологии основной обработки почвы, создание новых комбинированных рабочих органов, с учетом физико-биологических свойств почвы региона и агротехнических требований при возделывании сельскохозяйственных культур, снижающих уплотнение пахотного слоя, а также энергозатраты на ее выполнение без снижения толщины гумусового слоя является актуальной и своевременной. Жидкий навоз вносят тремя способами: поверхностно с последующей заделкой его в почву, внутрь почвы и при поливе. Наиболее рациональным и экологически безопасным способом внесения жидкого навоза является внутрпочвенное, резко сокращающее потери питательных веществ, особенно азота. Внутрпочвенное внесение жидких органических удобрений повышает урожай кормовых культур не менее чем на 10–15 % и в 7–10 раз снижает потерю питательных веществ за счет устранения поверхностного стока удобрений и испа-



рения аммиачного азота. Многолетний опыт использования отвальных плугов показывает, что они оказывают серьезное негативное влияние на агроэкологию и уплотнение почвы, образуя плужную подошву [2]. При этом до 50 % поливной воды отводится дренажной сетью безвозвратно, что приводит к истощению водных ресурсов и повышению эксплуатационных затрат орошаемого гектара [5].

Для решения изложенных задач нами были разработаны специальные универсальные рыхлители-кратователи новой конструкции, защищенные авторским свидетельством [1]. Получены теоретические выражения, определяющие их основные конструктивные параметры.

Таким образом, рассматриваемое устройство отличается от известных аналогов совокупностью признаков, обеспечивая подготовку почвогрунта на глубину и ширину возделываемого рядковым способом растения при одновременном внесении жидких удобрений в слои разрыхленного почвогрунта на весь его объём. Улучшение водопроницаемости и водного режима при глубоком рыхлении почвы связано с улучшением воздухопроницаемости аэрации. Этот комплекс условий благоприятствует развитию микробиологической деятельности и улучшению количества растворимых питательных веществ во всём корнеобитаемом слое культурных растений. Следовательно, для нарезки аэрационного дренажа и рыхления подпахотного уплотненного слоя теоретически и экспериментально исследованы и разработаны оптимальные параметры аэрационного дренажа и глубокорыхлителя (НАД-2-60), на ней также можно установить приспособление для внесения органоминеральных жидких удобрений (рис. 1,2).

Влажность грунта в придренной области будет находиться в пределах 22–25 процентов и со временем деформированный дренами влажный грунт консолидируется до природной прочности.

Устройство для нарезки кратовин состоит из вертикального ножа 1 с установленной в его нижней задней части режущей подковы 2 и двух дренов 3. Нож 1 по высоте имеет полость 4, а боковые грани снабжены соплами 5 малого расхода, выполненные в виде узких щелей 6 (рис. 1 а,б).

С тыльной стороны ножа 1 над дренами установлен клапан 7, соединённый с полостью 4. Передняя часть ножа 1 имеет два установленных друг над другом и вынесенными вперёд по ходу движения долотообразных зуба: нижнего 8 и верхнего 9, причем носок 10 верхнего зуба 9 вынесен вперёд носка 10 нижнего зуба 8 на отрезок 1, равный, или незначительно выступающий за линию 1 скола грунта, от действия передней режущей плоскости 11 нижнего зуба 8. Вертикальная режущая кромка ножа 1 имеет клиновидную симметричную форму 12. Дрены 3 имеют форму цилиндров, усечённых в передней части по ходу работы дренов скосами 13, обращёнными зеркально друг к другу. Носки дренов 3 связаны с концами режущей подковы 2 посредством шарниров 14, а средняя

часть подковы 2 посредством тяги 15 и шарнира 16 подвижно связана с пятой вертикального ножа 1.

При движении устройства в грунте, вертикальный нож 1 прорезает узкую вертикальную щель в грунте. Поверхность щели увлажняется поступающим через сопла 5 малого расхода, способствуя путём набухания процессу закрытия щели. Дрена 3, следует за ножом 1 и, благодаря скосам, направленным в междренную полость, формируют уплотнённую зону в междренье. Одновременная дозированная подача жидкой фазы из клапана 7 повышает влажность деформированного грунта. В результате создаются условия для формирования исходной структуры, которая существовала до прокладки кратовин. В качестве рабочей жидкости, помимо воды, может быть использована навозная жижа или раствор, содержащий личинки дождевых червей. Подача жидкости в вертикальный нож может производиться насосом, имеющим привод от тягового трактора. Таким образом, устройство позволяет осуществить строительство дренажа высокопроизводительным методом в тяжёлых грунтах аридной зоны, влажность которых обычно находится за пределами оптимальных величин. При этом уменьшается сопротивление грунта, что в последующем приведёт к снижению расхода топлива [10].

Технология нарезки аэрационного дренажа разработана с учетом грунтовых условий и биологических требований к развитию корневой системы хлопчатника. Показана возможность установки приспособления для внесения с помощью рыхлителя органоминеральных жидких удобрений. Обоснована технология нарезки аэрационного дренажа и рыхления подпахотного слоя глубокорыхлителем, которая позволяет улучшить агротехнические показатели работы орудий при наименьших энергетических затратах. При этом значительно улучшается экологическая обстановка, сокращается промывная и поливная норма до 30 %, предотвращаются повышения уровня грунтовых вод и процесс засоления [3,6]. Предлагаемая способ и технология внесения жидкого навоза позволяет получить обеззараживание органические удобрения, дополнительный источник энергии и улучшить экологическую обстановку [8,9,10].

Для повышения урожайности хлопчатника для рассматриваемой культуры определяют количество навоза в питательном растворе, вносимого подпочвенно, и устанавливают в количестве от 10 до 11 тонн на один гектар пашни или экономия органических удобрения составляют 5,5–7 раза.

Таким образом, использование данного агрегата решает техническую задачу энергосбережения топлива при подготовке тяжёлого почвогрунта к возделыванию культурного растения рядовым способом. Рыхлению подвергается не весь пахотный слой, а только траншейные ряды с профилем, соответствующим профилю корневой системы взрослого культурного растения, под которое производится подготовка почвогрунта. Пространственная подача жидких удобрений в рыхлый грунт образованной



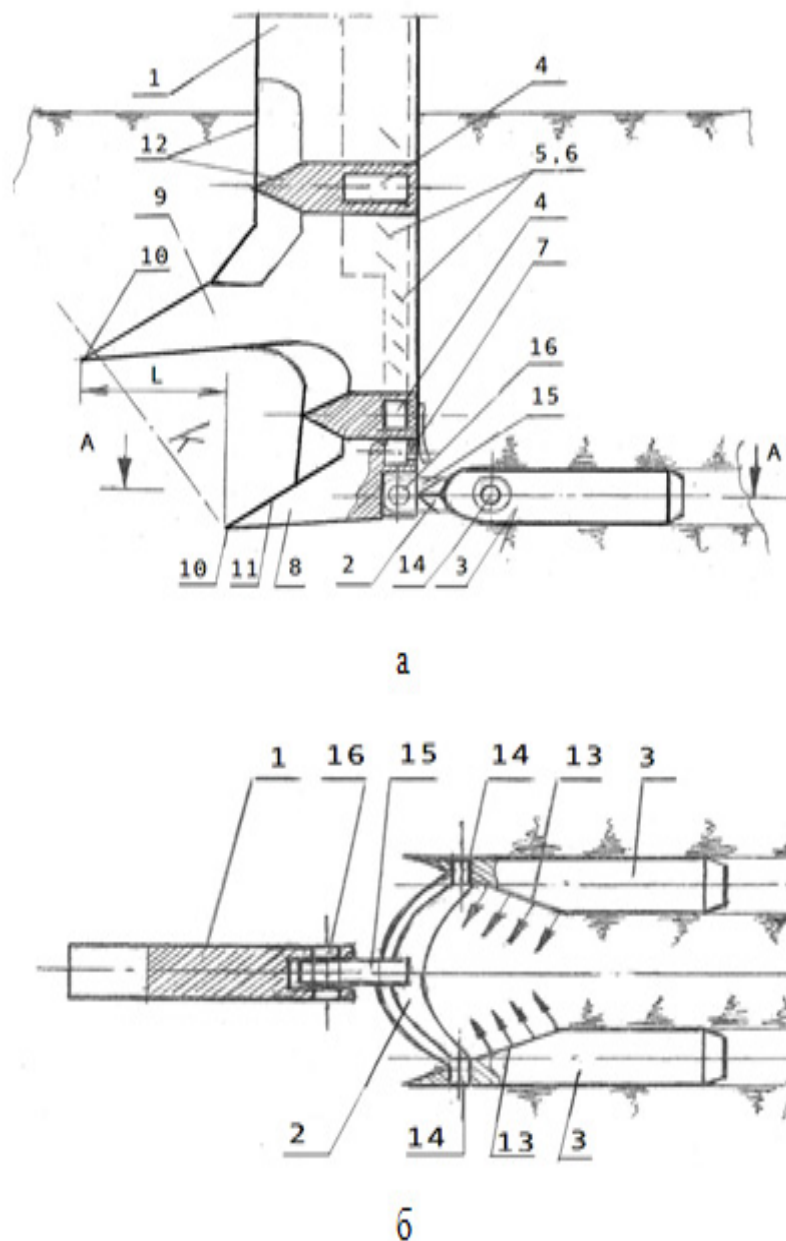


Рис. 1. Схема устройства, вид сбоку (а) и разрез А-А (б). 1 – вертикальный нож; 2 – нижний задний части режущей подковы; 3 – дренаеры; 4 – полость; 5 – боковые соплы; 6 – узкий щель; 7 – клапан; 8 – нижний долотообразный зуб; 9 – верхний долотообразный зуб; 10 – носок долотообразный зуб; 11 – нижний зуб; 12 – клиновидный зуб; 13 – усеченные дренаеры; 14 – шарнир; 15 – тяга; 16 – шарнир.

рыхлителем третьей траншеи обеспечивает полное и равномерное замачивание комьев почвы по всему её профилю. Жидкий навоз является прекрасным органическим удобрением и для его внесения вместе с растворёнными в нём минеральными удобрениями можно использовать стандартные ёмкости объёмом 4–10 м<sup>3</sup>, которые монтируются на раму прицепного шасси с навесным устройством для глубокого рыхления почвогрунта. Для перекачивания жидкого навоза используется типовой шламовый насос. Навоз вносится на глубину 0,5 м и более в разрыхлённый

грунт. Производительность насоса 250 л/мин. При этом существенно экономятся затраты на удобрения и на топливо для тракторов, вследствие чего растут доходы сельхозпроизводителя (рис. 2. а, б, в).

Технико-экономические расчеты показали, что нарезка аэрационного дренажа позволяет снизить эксплуатационные расходы до 30 %, сократить промывную и поливную норму на 20–30 %, обеспечить оптимальной водно-воздушной режим почвы в аридной зоне и повышает урожайность хлопчатника до 10 ц/га.

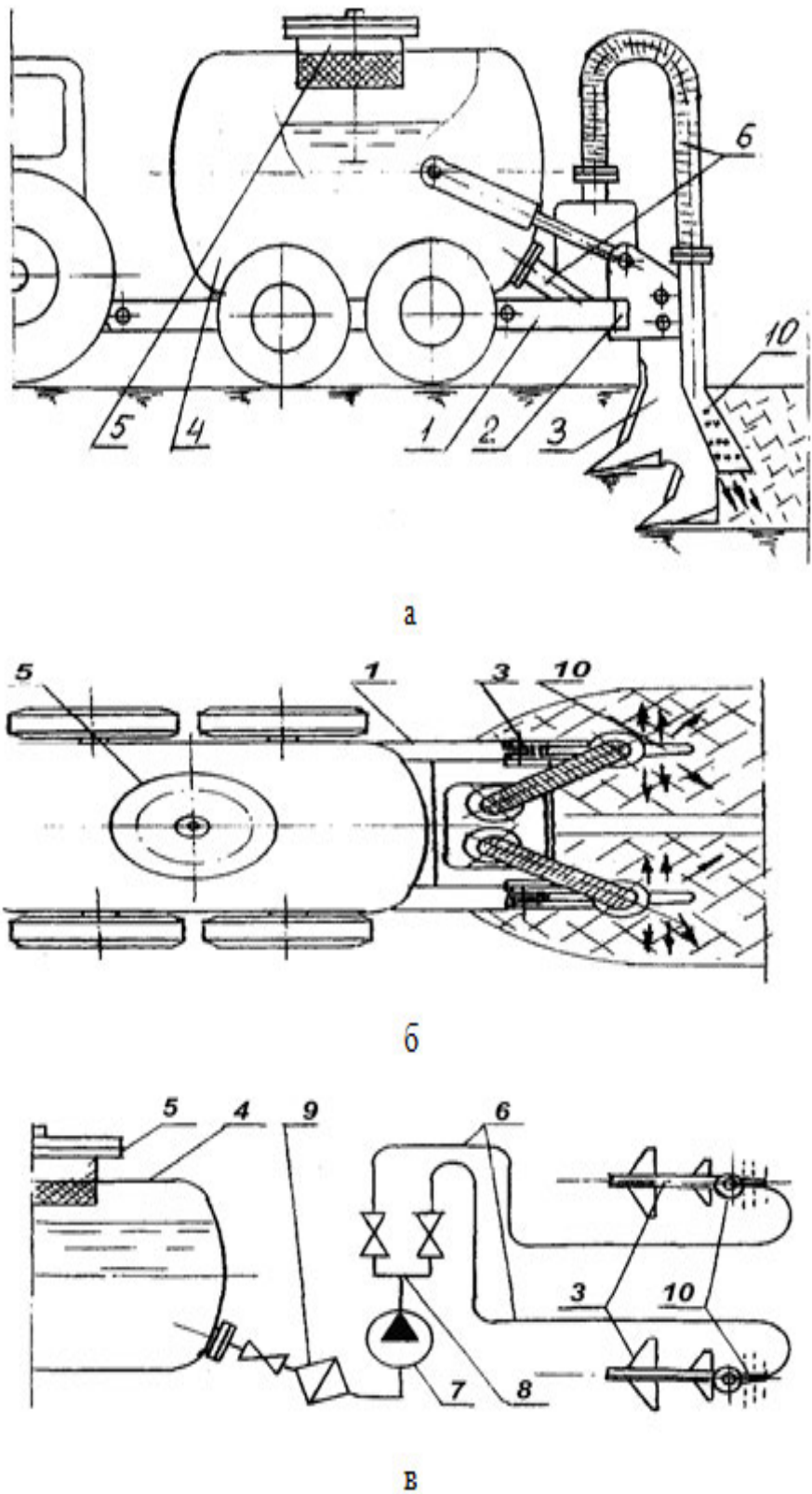


Рис. 2. Схема комбинированного устройства для глубокого рыхления грунта с одновременным внутрripочвенным внесением жидких органоминеральных удобрений (а – вид сбоку, б – сверху) и их подачи от ёмкости до устройства их внесения (в): 1 – прицепная колёсная рама; 2 – поперечная балка; 3 – рыхлитель грунта; 4 – ёмкость; 5 – заправочная горловина; 6 – трубопроводы; 7 – насос; 8 – система распределения жидких потоков; 9 – фильтр; 10 – устройство для внесения удобрений.

Литература:

1. А.С. 1751263 /СССР/. Устройство для нарезки кротовин //Хоммадов К., Данатаров А. – Москва. – 1992. – Бюл.№ 28.
2. Анискин В.И. Приоритеты стратегического развития механизации растениеводства. // Техника в сельском хозяйстве. 2004, № 3, с. 5–8.
3. Войтович И.В., Данатаров А. Оптимизация параметров рабочих органов кротователей. – В сб. научных трудов Гидротехника и мелиорация на Украине. вып. 3. 1994. с. 42–45.
4. Данатаров А., Сапаров К.Б. Устройство аэрационного дренажа в аридной зоне. Мелиорация и водное хозяйство. Международный научный журнал № 2. Москва. 1994. – с. 24–26.
5. Данатаров А., Ашыров С.Ч. Обработка почвы как фактор улучшения структурных качеств и строения пахотного и подпахотного слоев орошаемых тяжелых почв в условиях Туркменистана. Теоретичний і науково-практичний журнал. Вісник «Інженерної академії Україні». Випуск 3–4, Київ 2011. с. 65–70.
6. Данатаров А., Ашыров С.Ч. Интенсификация восстановления плодородия уплотненных почв на орошаемых землях в условиях Туркменистана. Производственно-технический и научно-практический журнал «Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение». Москва № 9 2011 с. 28–34.
7. Максименко В.П. Комплексная мелиорация уплотненных почв на орошаемых землях Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора с/х наук. Москва – 2011. 46 с.
8. Патент № 11/101144. Способ предпосевной обработки тяжелой малопроницаемой почвы под культуру рядкового посева в условиях орошения. Автор (ы): А.Данатаров, С.Ч. Ашыров, Б.Д. Тораев, К.Мухамметмырадов, М.К. Абылов (ТМ), 2011.
9. Патент № 11/101145. Комбинированное устройство для глубокого рыхления грунта с одновременным внутрипочвенным внесением жидких органоминеральных удобрений. Автор (ы): А.Данатаров, С.Ч. Ашыров, Б.Д. Тораев, Х.Назаров, К. Мухамметмырадов, М.К. Абылов (ТМ), 2011.
10. Патент № 13/J01219. Устройств для нарезки кротовин. Автор (ы): А.Данатаров, С.Ч. Ашыров, К.Мухамметмырадов, С.Рустамов, М.Шаммедов, Б.Д. Тораев, Х.Назаров, (ТМ), 2013.

## Напорное течение жидкости в поле центробежных сил

Денисов Валентин Александрович, кандидат технических наук, доцент  
 Национальный минерально-сырьевой государственный университет «Горный» (г. Санкт-Петербург)

При выборе напорного устройства системы охлаждения крупных электрических машин с внутренней полостью, заполненной жидким диэлектриком, [1] приходится учитывать то обстоятельство, что в так называемом «воздушном зазоре» машины (кольцевом канале) и в осевых каналах ротора (каналы круглого сечения, вращающиеся вокруг параллельной им внешней оси) течение жидкости происходит в дополнительном поле центробежных сил.

Для теоретического изучения влияния центробежных сил на движение жидкости в указанных выше каналах необходимо, чтобы они вошли в соответствующие уравнения, то есть, чтобы эти силы были внешними. Это, как известно, может быть достигнуто в том случае, если анализировать относительное движение.

Общее уравнение относительного напорного установившегося движения жидкости, составленное из основных размерных переменных параметров, характеризующих упомянутое движение, можно представить в виде:

$$F1(r1, d, D, qZ, qf, Dp, au, g, r, n) = 0; \tag{1}$$

для осевого канала

$$F2(d, R, \Delta, \mathcal{G}, \Delta p, au_o, g, \rho, \nu) = 0. \tag{2}$$

Введенные в уравнение (1) и (2) параметры относятся к трем категориям:

1) характерные линейные размеры, определяющие границы области (радиус  $r_1$  внутренней цилиндрической поверхности и высота  $\delta$  кольцевого канала, внутренний диаметр  $d$  осевого канала, шероховатость стенок каналов  $D$ );

2) кинематические и динамические характеристики движения (осевая  $qz$  и вращательная  $\mathcal{G}_\varphi$  компоненты средней относительной скорости в кольцевом канале, средняя относительная скорость  $\mathcal{G}$  в осевом канале, перепад давления  $Dp$  в каналах, среднее центробежное ускорение  $au_k$ , действующее на частицы жидкости в кольцевом канале, равное  $au_k = \frac{\mathcal{G}^2 \varphi}{rc}$ , где  $rc$  – средний радиус вращения, равный  $rc = 0,5d$ ; среднее центробежное ускорение  $au_o$ , действующее на частицы жид-

кости в осевом канале, равно  $a_{u_o} = u^2/R$ , где  $u$  – линейная скорость канала на радиусе  $R$  вращения его оси; ускорение свободного падения  $g$ );

физические свойства жидкости (плотность  $\rho$ , кинематический коэффициент вязкости  $\nu$ ).

Зависимостям (1) и (2) можно придать более определенный вид, сгруппировав все переменные размерные величины в безразмерные комплексы с использованием  $\pi$ -теоремы. В данном случае упомянутыми безразмерными комплексами являются:

для кольцевого канала

1) число Эйлера 5) число Фруда

$$Eu = \frac{\Delta\rho}{\rho g^2 z}; \quad Fr = \frac{g\delta}{g_z^2};$$

2) «осевое» число Рейнольдса 6) относительная шероховатость

$$Re_z = \frac{g_z \delta}{\nu}; \quad \frac{\Delta}{\delta}$$

3) «окружное» число Рейнольдса 7) симплекс

$$Re_\varphi = g_\varphi \delta \nu^{-1}; \quad \frac{\delta}{r_1}$$

4) число Тейлора

$$Ta = Re_\varphi \sqrt{\frac{\delta}{r_c}}$$

для осевого канала

число Эйлера 4) параметр ориентации

$$Eu = \frac{\Delta\rho}{\rho g^2}; \quad \kappa_{op} = \frac{d^*}{R}$$

2) число Рейнольдса 5) число Фруда

$$Re_z = \frac{g d}{\nu}; \quad Fr = \frac{g d}{g^2};$$

параметр вращения 6) относительная шероховатость

$$\kappa_{ep} = \frac{u^*}{g}; \quad \frac{\Delta}{d}.$$

\*) Терминология, принятая, согласно [2].

Средняя линейная скорость вращения  $g_\varphi$  жидкости в кольцевом канале может быть представлена в виде:

$$g_\varphi = \Omega_c r_c, \tag{3}$$

где  $\Omega_c$  – средняя угловая скорость вращения жидкости.

В узких кольцевых каналах  $r_c \approx r_1$ . Учитывая сказанное и опуская индекс «с» при угловой скорости  $\Omega$  в формуле (2), выражение для окружного числа Рейнольдса  $Re_\varphi$  и для числа Тейлора  $Ta$  принимают вид:

$$Re_\varphi = \frac{\Omega r_1 \delta}{\nu}; \quad Ta = \frac{\Omega r_1 \delta}{\nu} \sqrt{\frac{\delta}{r_1}}, \tag{4}$$

где  $\Omega$  – угловая скорость на радиусе  $r_1$ .

Если геометрические размеры канала известны и заданы скорости  $g_z$ ,  $\Omega$ ,  $g$ ,  $u$ , то числа  $Re_\varphi$ ,  $Ta$ ,  $\kappa_{ep}$ ,  $Fr$ , являются критериями, входящими в нижеследующие критериальные уравнения:

для кольцевого канала

$$Eu = f(Re_z, Re_\varphi, Fr, \frac{\delta}{r_1}, \frac{\Delta}{\delta}); \tag{5}$$

или

$$Eu = \varphi(Re_z, Ta, Fr, \frac{\delta}{r_1}, \frac{\Delta}{\delta}); \tag{6}$$

для осевого канала

$$Eu = \psi(Re, Fr, \kappa_{ep}, \kappa_{op}, \frac{\Delta}{d}). \tag{7}$$

Естественно, что отыскание функциональной зависимости числа Эйлера от столь большого числа одновременно действующих переменных величин, представляет собой трудную задачу. Очевидно, что эти переменные в зависимости от условий движения жидкости могут в различной степени влиять на  $Eu$ .

Задача может быть значительно облегчена в том случае, если представится возможность изучать движение жидкости в таких условиях, которые позволят исключить из рассмотрения некоторые переменные в зависимостях (5 ÷ 7). Иными словами, если представится возможность ограничить число переменных теми из них, которые главным образом характеризуют поток в данных условиях и влияют на потери напора.

В рассматриваемых здесь крупных электрических машинах с жидкостным охлаждением даже при сравнительно небольших частотах вращения ротора (300–500 мин<sup>-1</sup>) величина центробежного ускорения  $\Omega^2 r$  составляет порядка 100g, благодаря чему влиянием ускорения силы тяжести  $g$  на поток можно пренебречь и число Фруда из уравнений (5 ÷ 7) исключить. Кроме того, течение жидкости в рассматриваемых каналах будет происходить при значениях чисел Рейнольдса, соответствующих ламинарному и начальной стадии турбулентного режимов движения, при которых, как известно, влиянием относительной шероховатости на потери напора можно пренебречь.

С учетом сказанного, зависимости (5 ÷ 7) примут вид: для кольцевого канала

$$Eu = f(Re_z, Re_\varphi, \frac{\delta}{r_1}); \tag{8}$$

или

$$Eu = \varphi(Re_z, Ta, \frac{\delta}{r_1}). \tag{9}$$

для осевого канала

$$E_u = \psi(\text{Re}, K_{\text{вп}}, K_{\text{оп}}). \quad (10)$$

Свяжем перепад давления  $\Delta p$  в каналах со средней скоростью  $g_z$  и  $g$  течения жидкости в них следующими зависимостями:

для кольцевого канала

$$\Delta p = \lambda \frac{l}{d_{\Gamma}} \rho \frac{g_z}{2}, \quad (11)$$

для осевого канала

$$\Delta p = \lambda \frac{l}{d} \rho \frac{g}{2}, \quad (12)$$

где  $l$  — длина канала;  $d_{\Gamma}$  — так называемый гидравлический диаметр;  $d$  — диаметр канала;  $\lambda$  — некоторый коэффициент пропорциональности.

Подставляя (11) и (12) в полученные выше выражения для чисел Эйлера найдем, что в подобных каналах в роли числа Эйлера будет выступать коэффициент  $\lambda$ .

Имея это в виду, уравнения (8 ÷ 10) перепишем в виде:

для кольцевого канала

$$\lambda = f(\text{Re}_z, \text{Re}_{\varphi}, \frac{\delta}{r_1}); \quad (13)$$

или

$$\lambda = \varphi(\text{Re}_z, \text{Ta}, \frac{\delta}{r_1}); \quad (14)$$

для осевого канала

$$\lambda = \psi(\text{Re}, K_{\text{вп}}, K_{\text{оп}}). \quad (15)$$

Таковы критериальные уравнения относительного плавно изменяющегося напорного движения жидкости в кольцевом и осевом каналах.

Литература:

1. Денисов В.А., Полубояринов Ю.Г. Применение встроенных насосов в системах охлаждения жидкостно-заполненных герметичных электродвигателей. Межвузовский сборник: СЗПИ, № 37, 2007.
2. Квитковский Ю.В. Гидромеханическое подобие и кинематическая структура аксиальных потоков жидкости // Тр.МИИТ, 1976, вып. 525, с. 4–11.

Из рассмотрения этих уравнений видно, что  $\lambda$ , также как и коэффициент гидравлического трения  $\lambda^o$  (учитывающий потери напора по длине в канале с неподвижными стенками), зависит от скорости осевого движения жидкости в канале и геометрических характеристик канала и кроме того, дополнительно, от скорости вращательного движения.

Вместе с тем, выполненный нами анализ уравнений (13) и (14) показал, что существует область автомодельности  $\lambda$  относительно скорости вращательного движения (относительно числа Тейлора), причем в этом случае величину  $\lambda$  можно вычислять по известной формуле:

$$\lambda = \frac{96}{\text{Re}_z}. \quad (16)$$

### Выводы

В системах охлаждения крупных погружных электродвигателей, заполненных жидким диэлектриком в целях интенсификации процесса теплообмена, необходимо обеспечить непрерывную циркуляцию жидкого диэлектрика внутри машины напорным устройством.

При определении напорно-расходной характеристики напорного устройства необходимо учитывать, что в кольцевом канале («воздушном зазоре») машины и в осевых каналах ротора течение жидкости происходит в дополнительном поле центробежных сил.

Определены этапы теоретического изучения влияния центробежных сил на движение жидкости в указанных выше каналах.

Получены и проанализированы критериальные уравнения относительного плавно изменяющегося напорного движения жидкости в кольцевом и осевом каналах.

Показано, что область ламинарного с отсутствием вихрей Тейлора течения жидкости в кольцевом канале, является областью автомодельности коэффициента  $\lambda$  относительно скорости вращательного движения.

## Особенности дроссельного регулирования гидроприводов

Денисов Валентин Александрович, кандидат технических наук, доцент  
Национальный минерально-сырьевой государственный университет «Горный», Санкт-Петербург

Дроссельное регулирование широко применяется в системах гидроприводов вращательного и поступательного действия в силу простоты конструктивного исполнения схемы регулирования. Дроссели можно ставить на

напорной линии, на линии слива или параллельно двигателю. В первом случае имеем регулирование «на входе», во втором — «на выходе» и в третьем — регулирование «параллельно».



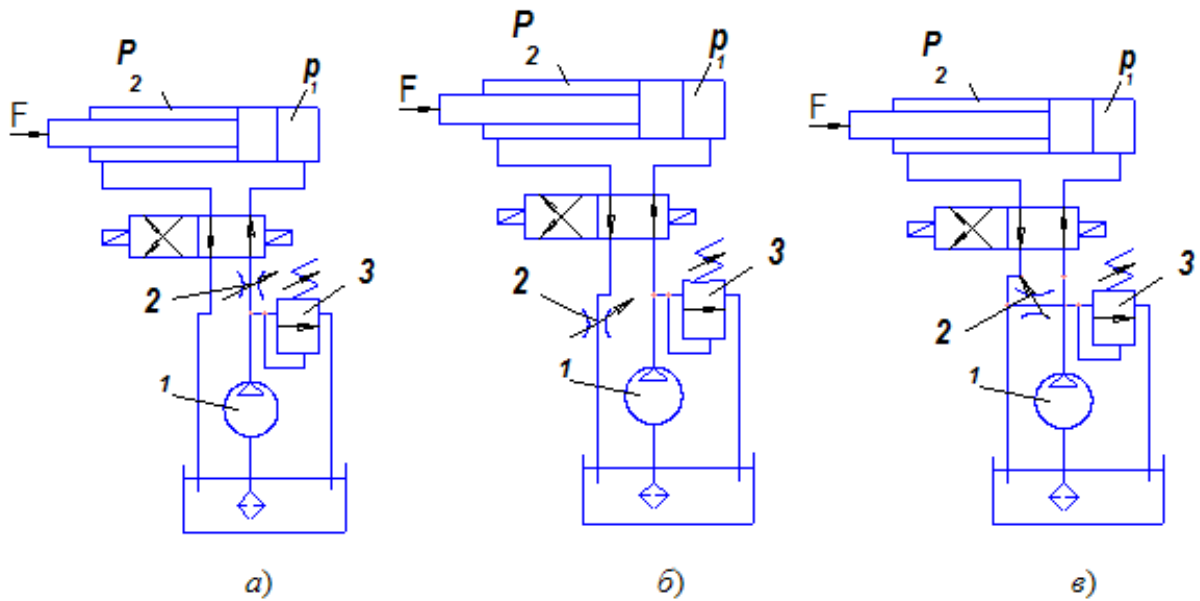


Рис. 1. Схемы дроссельного регулирования

В различной литературе, как и в пособии [1], отмечается, что схемы дроссельного регулирования, не дополненные специальными устройствами, не обеспечивают жесткой передачи сил и моментов. Однако эти рассуждения носят принципиальный характер и не отражают в полном объеме влияние внешней нагрузки, приложенной к выходному звену гидродвигателя, на его скоростные характеристики. В данной работе мы постараемся восполнить эти положения на примере дроссельного регулирования гидропривода поступательного действия.

Обратимся к рис. 1. На схеме *a* показано регулирование с дросселем, установленным на входе. Рабочая жидкость с помощью насоса 1 через дроссель 2 подводится в правую полость силового цилиндра и одновременно через предохранительный клапан 3 сбрасывается в приемный резервуар (клапан 3 работает в режиме «переливного»). Давление  $p_H$  перед дросселем определяется настройкой переливного клапана и в процессе работы практически остается постоянным. Пренебрегая потерей давления в магистрали от дросселя до силового цилиндра, принимаем, что давление за дросселем равно давлению  $p_1$  в поршневой полости силового цилиндра.

Расход  $Q$  через дроссель определим по известной формуле:

$$Q = \mu_\partial \Omega_\partial \sqrt{2 \frac{\Delta p}{\rho}}, \quad (1)$$

где  $\mu_\partial$  – коэффициент расхода дросселя;  
 $\Omega_\partial$  – площадь проходного отверстия дросселя;  
 $\Delta p$  – перепад давления на дросселе, равный  $\Delta p = p_H - p_1$ ;  
 $\rho$  – плотность рабочей жидкости.

С учетом значения  $\Delta p$  формулу (1) перепишем в виде:

$$Q = \mu_\partial \Omega_\partial \sqrt{2 \frac{p_H - p_1}{\rho}}. \quad (2)$$

При установившемся движении жидкости и без учета сил трения в уплотнениях поршня и штока

$$p_1 \Omega_n = p_2 (\Omega_n - \Omega_{ш}) + F, \quad (3)$$

где  $\Omega_n$  и  $\Omega_{ш}$  – соответственно площади поршня и штока;  
 $F$  – внешняя сила, приложенная к поршню.

Если пренебречь силами сопротивления в сливной магистрали, то можно допустить, что  $p_2 \approx 0$  В этом случае по формуле (3) найдем, что

$$p_1 = \frac{F}{\Omega_n}. \quad (4)$$

При надежном уплотнении поршня можно пренебречь протечками рабочей жидкости из поршневой полости в штоковую во время рабочего хода двигателя.

В этом случае

$$v_n \Omega_n = Q,$$

или с учетом (2)

$$v_n \Omega_n = \mu_\partial \Omega_\partial \sqrt{2 \frac{p_H - p_1}{\rho}}. \quad (5)$$

Подставляя в (5) выражение (4) и решая (5) относительно скорости движения поршня  $v_n$ , окончательно получим:

$$v_n = \frac{\mu_\partial \Omega_\partial}{\Omega_n} \sqrt{2 \frac{p_H - \frac{F}{\Omega_n}}{\rho}}. \quad (6)$$

Из формулы (6) явно следует, что скорость перемещения поршня  $v_n$  нелинейно зависит от внешнего усилия



$F$ , приложенного к поршню и при величине  $F$ , равной  $F = p_n \Omega_n$ , поршень будет полностью заторможен.

При дроссельном регулировании на выходе (схема б) дроссель 2 устанавливается на линии слива. Давление  $p_1$  в правой полости силового цилиндра, независимо от нагрузки  $F$ , приложенной к поршню, остается практически величиной постоянной, определяемой настройкой предохранительного клапана 3, который в этом случае также работает в режиме «переливного». Пренебрегая потерей давления в напорной линии, можем принять, что давление  $p_1$  равно давлению насоса  $p_n$ , развиваемому им перед клапаном 3.

Определим расход через дроссель, предварительно определив давление  $p_2$  в левой полости силового цилиндра из уравнения (2). Решая (2) относительно  $p_2$ , получим:

$$p_2 = \frac{p_1 \Omega_n - F}{\Omega_n - \Omega_{ш}} \quad (7)$$

С учетом того, что  $p_1 \approx p_n$  (см. выше), выражение (7) перепишем в виде:

$$p_2 = \frac{p_n \Omega_n - F}{\Omega_n - \Omega_{ш}} \quad (8)$$

Если пренебречь потерями давления от левой полости силового цилиндра до дросселя и принять давление за дросселем равным нулю, то  $\Delta p = p_2$  ( $\Delta p$  – перепад давления на дросселе). Имея это в виду, расход  $Q$  через дроссель определим по формуле:

$$Q = \mu_\partial \Omega_\partial \sqrt{2 \frac{p_2}{\rho}} \quad (9)$$

или с учетом (8)

$$Q = \mu_\partial \Omega_\partial \sqrt{\frac{2}{\rho} \frac{p_n \Omega_n - F}{\Omega_n - \Omega_{ш}}} \quad (10)$$

Так как расход через дроссель связан со скоростью  $v_n$  перемещения поршня соотношением

$$Q = g_n (\Omega_n - \Omega_{ш}), \quad (11)$$

то, приравнявая (10) и (11), получим:

$$g_n = \frac{\mu_\partial \Omega_\partial}{\Omega_n - \Omega_{ш}} \sqrt{\frac{2}{\rho} \frac{p_n \Omega_n - F}{\Omega_n - \Omega_{ш}}} \quad (12)$$

Из (12) следует, что и при дроссельном регулировании на выходе скорость перемещения поршня нелинейно зависит от внешней нагрузки, причем при  $F = 2 p_n \Omega_n$  поршень затормаживается.

Рассмотрим, наконец, дроссельное регулирование «параллельно» (схема в, рис. 1). Покажем, что и в этом случае скорость перемещения поршня нелинейно зависит от внешней нагрузки.

Действительно, без учета объемных потерь в насосе, последний обеспечивает напорное течение жидкости в системе с постоянным расходом  $Q_n$ , которое делится на два потока. Один поток с расходом  $Q$  сбрасывается через

дроссель (2) в приемный резервуар, а другой – с расходом  $Q_1$  поступает в поршневую полость двигателя, создавая давление  $p_1$ . Расход через предохранительный клапан 3 в этом случае равен нулю, так как в данной схеме он работает в режиме «аварийно».

Пренебрегая потерями давления от правой полости силового цилиндра до дросселя и принимая давление за дросселем равным нулю, получим выражение для расхода  $Q$  через дроссель в виде

$$Q = \mu_\partial \Omega_\partial \sqrt{2 \frac{p_1}{\rho}} \quad (13)$$

При принятых выше допущениях, из (3) найдем:

$$p_1 = \frac{F}{\Omega_n} \quad (14)$$

С учетом (14) формула для расхода через дроссель принимает вид:

$$Q = \mu_\partial \Omega_\partial \sqrt{\frac{2}{\rho} \frac{F}{\Omega_n}} \quad (15)$$

Скорость перемещения поршня определяет расход жидкости, поступающей в поршневую полость:

$$v_n \Omega_n = Q_1 \quad (16)$$

Так как в данном случае  $Q_1 = Q_n - Q$ , то выражение (16) принимает вид:

$$v_n \Omega_n = Q_n - Q, \quad (17)$$

Подставляя (16) в (17) и решая полученное выражение относительно  $v_n$ , получим выражение, связывающее скорость перемещения поршня с внешней нагрузкой при постоянной площади открытия дросселя в виде:

$$g_n = \frac{Q_n - \mu_\partial \Omega_\partial \sqrt{\frac{2}{\rho} \frac{F}{\Omega_n}}}{\Omega_n} \quad (18)$$

Из (18) следует, что и при дроссельном регулировании «параллельно», скорость перемещения поршня нелинейно зависит от внешней нагрузки.

На рис. 2 показана обобщенная нагрузочная характеристика гидропривода с дроссельным регулированием (кривая 1 на рис. 2), которая в явном виде свидетельствует о том, что все рассмотренные выше системы не обеспечивают жесткую передачу сил (и моментов).

Систему с высокой жесткостью (прямая 2 на рис. 2) можно реализовать, используя регулятор расхода типа МПГ 55–2. Такое устройство состоит из гидродросселя и редукционного клапана, который поддерживает постоянный перепад давления на дросселирующей щели, благодаря чему расход рабочей жидкости, проходящей через дроссель, не зависит от давления на входе и выходе из него. Так же, как и дроссели, регуляторы расхода устанавливают на входе, выходе и параллельно двигателю [2].

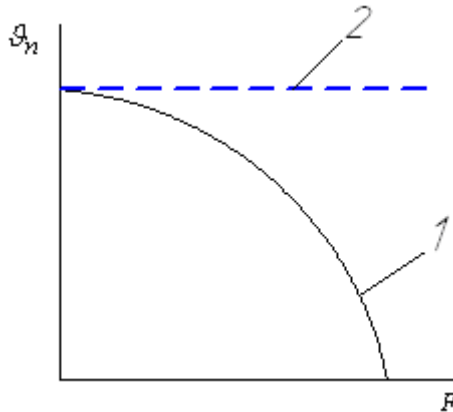


Рис. 2. Нагрузочная характеристика гидропривода с дроссельным регулированием

Литература:

1. Погорелов В.И. Гидропневмопривод и автоматика: Учебн. пособие/ В.И. Погорелов, В.С. Тюшев. Ленинград: СЗПИ, 431 с.
2. Свешников В.К. Станочные гидроприводы: справочник. М.: Машиностроение, 1995, 321 с.

## Разработка компьютерной модели процесса ротационной сборки цилиндрических деталей с малыми зазорами

Добриньков Александр Владимирович, магистрант  
Волгоградский государственный технический университет

*Разработана компьютерная модель процесса ротационной сборки цилиндрических деталей с малыми зазорами в программном комплексе SolidWorks. Изготовлена экспериментальная установка для ротационной сборки. Приведены результаты компьютерного моделирования и серий экспериментов на сборочной установке ротационного типа и сделан вывод об адекватности разработанной компьютерной модели.*

**Ключевые слова:** ротационная сборка, цилиндрическая деталь, компьютерная модель.

Для повышения надежности сборки цилиндрических соединений, в частности сборки радиальных роликовых подшипников, предложен ротационный метод сборки [3]. Разработанное на его основе устройство [2] может найти широкое применение в автоматизированной сборке подшипников различного типа, а также цилиндрических соединений с малыми зазорами.

Поскольку сопрягаемые цилиндрические поверхности разнообразны по номинальным размерам, величинам зазоров и точности сопряжения, целесообразна разработка компьютерной модели ротационной сборки.

Для создания компьютерной модели использован программный комплекс SolidWorks Premium 2011, предназначенный для автоматизации работ промышленного предприятия на этапах конструкторской и технологической подготовки производства изделий любой степени сложности и назначения.

Для исследования ротационной сборки в SolidWorks был спроектирован процесс сборки узла, состоящего из двух деталей (рис. 1).

Здесь внутреннее кольцо 1 свободно в пространстве и лежит на детали 2 под некоторым углом перекося осей сопрягаемых деталей. Деталь 2 имеет только одну степень подвижности — вращение вокруг своей оси. Угол между осями деталей варьировался в пределах  $7^\circ \dots 25^\circ$ .

Сечения деталей 1 и 2 показано на рис. 2.

Между внешним диаметром детали 1 и внутренним диаметром детали 2 имеется варьируемый в ходе исследования зазор  $s = 2 \cdot (R - r)$ , который изменялся в ходе компьютерного моделирования за счет изменения размера  $r = 13,485$  (рис. 2).

Перед расчетом процесса сборки задают вес детали 1, вектор которого направлен вдоль оси  $OY$  с ускорением свободного падения  $g = 9806.65 \text{ мм/с}^2$ , а также ус-

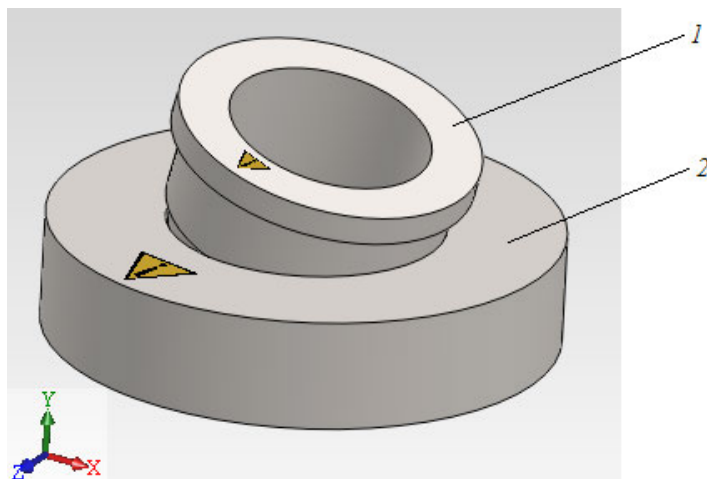


Рис. 1. Сборка цилиндрического соединения в пакете SolidWorks

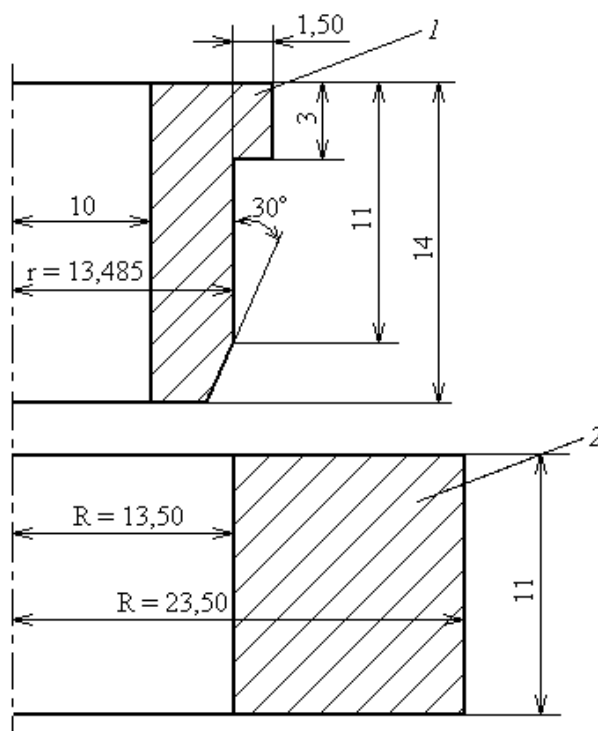


Рис. 2. Сечения сопрягаемых деталей 1 и 2

ловия контакта между сопрягаемыми деталями. При этом были приняты следующие значения коэффициентов трения между деталями (сталь по стали): трения скольжения  $\mu_k = 0,18$ , трения покоя  $\mu_s = 0,8$  [1].

Для задания вращения деталей 1 и 2, была экспериментально получена кривая разгона вращения устройства сборки. Для наблюдения за процессом вращения деталей была разработана система управления на базе микроконтроллера ATmega16. При вращении сепараторного диска с прорезью, прикрепленного к вращающемуся сборочному столику, установленный на основании фотодатчик меняет свой сигнал и посылает его на

вход микроконтроллера с частотой, соответствующей частоте вращения сборочного столика. На LCD дисплее отображается количество проходов прорези через фотодатчик, которое обновляется каждую секунду. Процесс разгона был снят на видеокамеру Canon Power Shot A570 IS, после чего данные были обработаны в программе Mathcad 14. На рис. 3 представлен график кривой разгона.

Теоретическое уравнение кривой разгона, полученное при использовании обобщенной регрессии в программе Mathcad 14, и заданное в модели SolidWorks для вращения деталей 1 и 2 имеет вид:

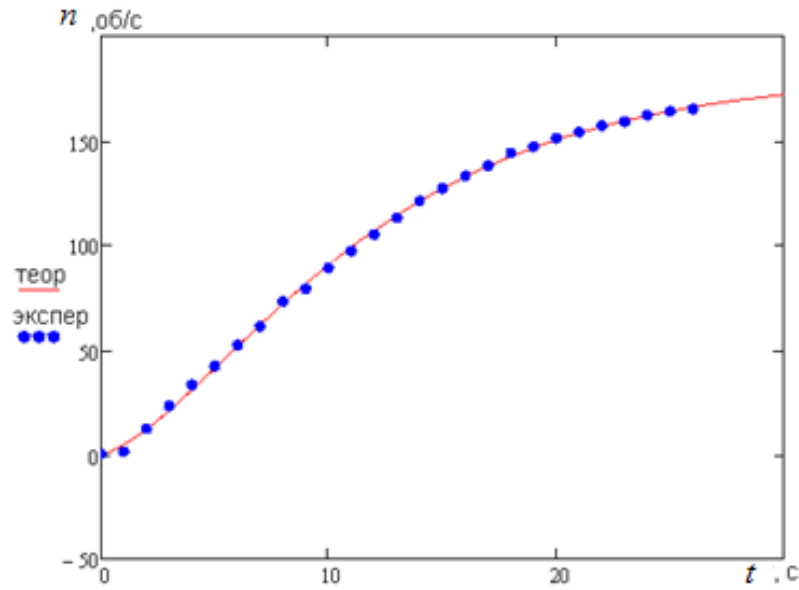


Рис. 3. Кривая разгона ротора установки

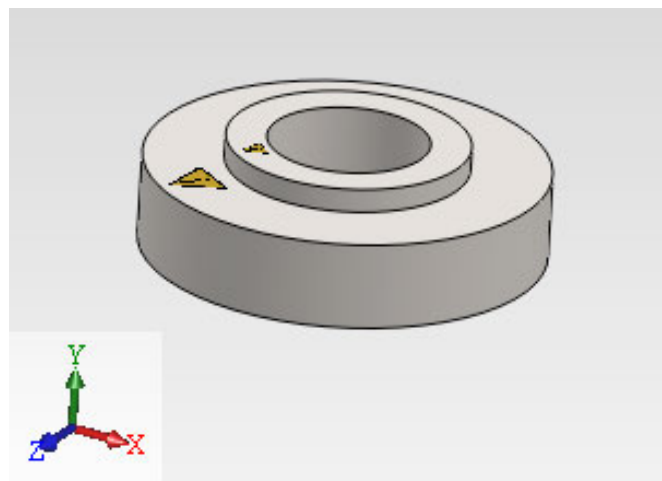


Рис. 4. Окончание процесса сборки

$$n = 182 - 440e^{-\frac{t}{8}} + 258e^{-\frac{t}{5}}, \text{ об/с}$$

После того, как входные данные заданы, проведен расчет процесса сборки, с предварительно подключенным модулем SolidWorks Motion.

В результате расчетов получен визуальный процесс сборки и построены эпюры перемещения, частоты вращения.

На рис. 4 представлен момент окончания процесса сборки деталей.

Из расположения рисок на деталях (рисунок 4) видно, что относительного смещения деталей в плоскости вращения не наблюдается.

Для регистрации времени процесса сборки в нашем

случае была использована зависимость перемещения центра тяжести детали 1 от времени, которая показана на рис. 5. Зависимость справедлива для начальных условий:  $s = 35 \text{ мкм}, \alpha = 15^\circ, \mu_k = 0.18$ .

Для более точного определения времени сборки полученная зависимость (рис. 5) конвертирован в таблицу значений CSV, которую можно открыть с помощью программы EXCEL. В таблице 1 приведен фрагмент полученной зависимости.

По полученным значениям определено время сборки с точностью до 0.02 с и в данном случае время сборки составило  $t = 2.92 \text{ с}$ .

Изменяя зазор  $s$  между сопрягаемыми поверхностями при прочих равных входных параметрах (угол наклона, коэффициенты трения, уравнение вращения) получены ре-

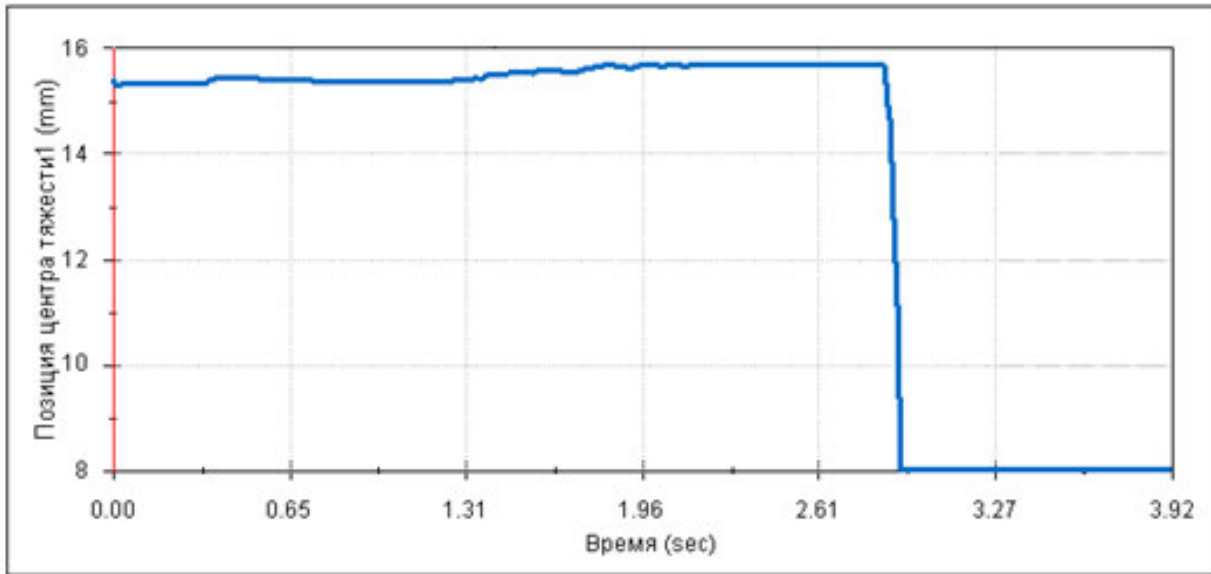


Рис. 5. Перемещение центра тяжести детали 1

зультаты, приведенные в таблице 2.

Из таблицы видно, что при увеличении зазора  $s$  теоретическое время сборки уменьшается.

Еще одним варьируемым параметром является начальный угол  $\alpha$  перекоса между осями сопрягаемых деталей. Существует некоторое критическое значение угла  $\alpha_{кр}$  наклона, при превышении которого собираемость деталей не гарантирована. Это значение угла наклона рассчитывается по формуле:

$$\alpha_{кр} = \arctg \left[ \varepsilon \cdot \sqrt{(3\varepsilon^{-1} - \varepsilon - 2) / (\varepsilon^{-1} - 3\varepsilon + 2)} \right],$$

где  $\varepsilon = \rho_x / \rho_y$  — отношение радиусов инерции относительно главных осей эллипсоида инерции детали  $l$ .

В рассматриваемом случае для детали  $l$   $\alpha_{кр} = 39,77^\circ$ . Моделированием установлено (табл. 3), что величина начального угла перекоса осей сопрягаемых поверхностей практически не влияет на время сборки, что было подтверждено результатами экспериментального исследования.

Таблица 1. Перемещение центра тяжести детали 1

Время, с	Позиция центра тяжести, мм
2,84532127399152	15,7016776745594
2,8566569845487	15,6484794562341
2,87001499536759	15,0315603571928
2,88	14,4595711738585
2,89097594956603	13,0899435016533
2,90233469872001	10,5801107160482
2,91239809241417	7,76948502667041
2,92	7,7588311053871
2,92574079963868	7,75738478551187
2,96	7,75761560143008

Таблица 2. Компьютерное моделирование процесса ротационной сборки

Зазор, s, мкм	Время сборки, t, с	Число оборотов в момент сборки n, об/с
25	4,41	35,3
30	3,32	24,3
35	2,92	20,4

Таблица 3. Результаты моделирования при различных углах  $\alpha$  наклона осей сопрягаемых поверхностей

$\alpha, \text{ }^\circ$	$t, \text{ с}$	$n, \text{ об/с}$	Расчетные данные
7	3,28	23,9	$\bar{t} = 3,29 \text{ с}$ $t_{\text{мин}} = 3,08 \text{ с}$ $t_{\text{макс}} = 3,54 \text{ с}$ $\Delta t = 0,46 \text{ с}$ $\sigma = 0,129 \text{ с}$ $\sigma^2 = 0,0166 \text{ с}^2$
9	3,08	21,9	
11	3,27	23,8	
13	3,54	26,4	
15	3,32	24,3	
17	3,19	23,0	
19	3,25	23,6	
21	3,14	22,5	
23	3,41	25,1	
25	3,39	25,0	



Рис. 6. Расположение деталей перед сборкой: деталь 1, деталь 2, сборочный стол 3

Таблица 4. Результаты экспериментов

Параметр	$s = 25 \text{ мкм}$	$s = 30 \text{ мкм}$	$s = 35 \text{ мкм}$
– минимальное время сборки $t_{\text{мин}}$ , с	3,9	2,8	2,4
– максимальное время сборки $t_{\text{макс}}$ , с	7	5,3	4,5
– разброс значений времени $\Delta t$ , с	3,1	2,5	2,1
– среднее время сборки $\bar{t}_{\text{эксп}}$ , с	5,26	3,94	3,40
– среднеквадратическое отклонение $\sigma$	0,9047	0,7233	0,5461
– дисперсия $\sigma^2$	0,8185	0,5231	0,2982
– теоретическое время сборки $t_{\text{теор}}$ , с	4,41	3,32	2,92
– разница между теоретическим и экспериментальным временем $\Delta, \%$	19,18	18,55	16,37

Для проверки адекватности и возможности применения на практике разработанной компьютерной модели изготовлены экспериментальная установка для ротационной сборки и детали, математические модели которых были использованы при компьютерном моделировании (рис. 1). Причем деталь 1 изготовлена в трех экземплярах с разными диаметрами сопрягаемой поверхности – 26,975 мм, 26,970 мм и 26,965 мм, что соответствовало зазорам

соединения в 25, 30 и 35 мкм. При этом сопрягаемые поверхности были выполнены с шероховатостью  $R_a 0,32$ .

На рис. 6 представлено относительное предварительное перед сборкой расположение сопрягаемых деталей.

Для каждой из трех деталей было проведено по 50 опытов, при этом собираемость узла – стопроцентная.

Все опыты фиксировались на видеокамеру, а затем с помощью программы *Sony Vegas Pro 10.0* для обра-



Таблица 5. Результаты дополнительных экспериментов

Параметр	s = 25 мкм	s = 30 мкм	s = 35 мкм
– среднее время сборки $t_{эксп}$ с	5,26	3,94	3,40
– теоретическое время сборки $t_{теор}$ с	4,81	3,78	3,39
– коэффициент трения $\mu_k$	0,25	0,24	0,27
– разница между теоретическим и экспериментальным временем $\Delta$ , %	9,27	4,13	0,24

ботки видео определялось время сборки деталей с точностью до 0,1 с. Полученные результаты приведены в таблице 4.

Как можно заметить, результаты экспериментов отличаются от данных, полученных при помощи компьютерной модели на величину  $\Delta$ . Это обусловлено наличием погрешности измерений, а также параметрами реальной системы, такими как погрешности формы собираемых деталей, шероховатость и коэффициенты трения сопрягаемых поверхностей, вибрации.

Все процессы моделирования сборки проводились с табличным значением коэффициента трения  $\mu_k = 0,18$ . На самом деле это значение для стальных поверхностей может варьироваться и достигать значения 0,3..0,35. По-

этому дополнительно проведено компьютерное моделирование с увеличенными значениями коэффициента трения. Данные моделирования приведены в таблице 5.

Таким образом, расхождение практических результатов от компьютерной модели сведено к минимуму и не превышает 10%, а для зазора  $s = 0,35$  мкм практически отсутствует. Можно сделать вывод о том, что реальные значения коэффициентов трения для данных деталей находятся в диапазоне 0,24..0,27.

Таким образом, разработанная компьютерная модель адекватна фактическому процессу сборки и может применяться для практического использования на стадии проектирования устройств ротационной сборки цилиндрических деталей.

Литература:

1. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т.Т. 1. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1979. – 728 с., ил.
2. Пат. РФ № 2239735. Устройство для сборки роликовых подшипников/ М.Г. Кристаль, Е.В. Стегачев, А.В. Широкий//Б.И. – 2004. – № 31.
3. Пат. РФ № 2423217. Способ сборки деталей типа вал-втулка/ М.Г. Кристаль, С.С. Серов, Т.В. Безрукова//Б.И. – 2011. – № 19.

## Проектирование, изображение и визуализация резьбовых поверхностей с использованием современных САД-систем

Дятлов Максим Николаевич, старший преподаватель;  
 Авдеюк Данила Никитович, студент  
 Волгоградский государственный технический университет

В настоящее время трудно себе представить, как бы выглядели многие технические и бытовые устройства без резьбовых соединений. До 2011 года считалось, что резьбовые соединения были изобретены людьми и стали применяться в технике в античные времена (винт Архита Тарентского, Архимеда). Тем не менее, немецкие ученые-биологи при изучении жуков-долгоносиков, распространенных на территории Суматры, Новой Гвинеи и Филиппин, обнаружили, что их конечности с телом соединяются винтовым соединением, как у и еще 15 видов насекомых. Таким образом, в природе такое соединение существует более 100 миллионов лет [7,8]. Первые крепежные

детали, имеющие резьбы, были дорогостоящими, поэтому еще в начале н.э. имели ограниченную область применения (ювелирные украшения, медицинские инструменты и т.д.). Широкое применение крепежные и ходовые резьбы нашли лишь в период Средневековья. Приблизительно в 1800 году британским изобретателем инструментов, штампов и станков

Генри Модсли были сделаны первые попытки стандартизации резьбы, и этот процесс завершился лишь к 1946, когда была создана Международная организация по стандартизации (ISO) и были приняты международные стандарты [9].

В настоящее время резьбовые соединения применяются в машиностроении, технике, нефтяной и газовой промышленности, медицинском приборостроении, бытовых устройствах и т.д. В общем случае, под *резьбой* понимают поверхность, образованную при винтовом движении плоского контура по цилиндрической или конической поверхности [4,6]. Достоинствами резьбовых соединений являются [5,6,8]: надежность, универсальность, небольшие габариты и вес деталей, способность создавать и воспринимать большие осевые силы, сравнительная простота и точность изготовления, небольшая стоимость, массовость, взаимозаменяемость. К недостаткам можно отнести такие показатели как низкий КПД подвижных резьбовых соединений, низкая вибрационная стойкость, концентрация напряжения в местах отверстий под крепежные детали, необходимость в некоторых случаях герметизации.

Существует следующая классификация резьбы [2, 3, 5, 6, 8]:

- по направлению винтовой линии: правая и левая;
- по форме профиля: треугольная, трапецеидальная, упорная, круглая, прямоугольная;
- по расположению на детали: внешняя, внутренняя;
- по характеру поверхности: цилиндрическая, коническая, часовая, на пластмассовых деталях;
- по назначению: крепежная, крепежно-уплотнительная, кинематическая, ходовая, специальная (окулярная, круглая и т.д.);
- в зависимости от системы мер: метрическая, дюймовая;
- в зависимости от закономерности образования винтовой линии: с постоянным равномерным шагом; прогрессивным шагом;
- по числу заходов: однозаходная, многозаходная.

К геометрическим параметрам резьбы относят [3]: средний, наружный, внутренний диаметры резьбы; шаг, ход резьбы; угол, высота профиля резьбы; угол подъема резьбы; длина свинчивания резьбы.

Для получения резьбовых поверхностей используют такие способы, как лезвийную обработку резаньем, абра-

зивную обработку, накатывание, выдавливание прессованием, литье, электрофизическую и электрохимическую обработку [8].

Современные САПР позволяют проектировать поверхности произвольной формы, высокой степени сложности, в том числе и резьбовые соединения. К ним, например, можно отнести такие программные продукты, как AutoCAD, КОМПАС-ГРАФИК, Solidworks и т.п. Большой интерес представляет построение трехмерной модели деталей, что позволяет конструктору видеть всю поверхность в целом [1].

В качестве примера приведем построение трехмерной модели штуцера, который представляет собой втулку, имеющую резьбу для крепления к трубопроводам или чанам и бакам. Штуцер имеет два разных конца, один из которых имеет форму, в зависимости от других деталей, к которым присоединяется. Например, штуцер раздаточного пистолета ШРП-25 предназначен для установки на конец рукава, соединяющего корпус бензоколонки с пистолетом [9]. Габаритные размеры: высота 71мм; размер под ключ 41мм; присоединительная резьба М36х1,5 мм; условный проход рукава 25мм. Рассмотрим алгоритм построения штуцера в программе AutoCAD. На первом этапе необходимо построить шестигранную призму (команды *многоугольник*, *выдавить*), задавая необходимые размеры по техническому заданию. На втором этапе строится наконечник ШПП (создается двухмерный чертеж последовательностью команд *отрезок*, *область*, *вращать*). На третьем этапе необходимо соединить две получившиеся поверхности в одно целое (команда *объединение*), в результате получится деталь, изображенная на рисунке 1, а. На четвертом этапе необходимо создать полость цилиндрической формы внутри детали (команды *цилиндр*, *вычесть*), в результате получится деталь, изображенная на рисунке 1, б. На пятом этапе, задавая геометрические параметры резьбы, с помощью набора команд *спираль*, *окружность (вид резца)*, *область*, *вращать*, *вычесть* на одном конце детали создается резьбовая поверхность (рис. 1, в).

В результате получаем трехмерную модель штуцера, изображенную на рисунке 2.

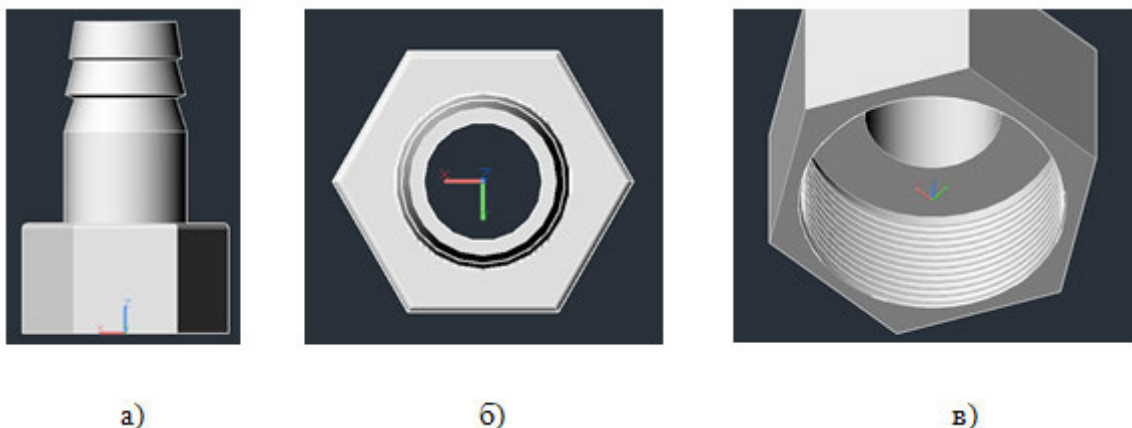


Рис. 1. Этапы построения ШРП-25 в AutoCAD

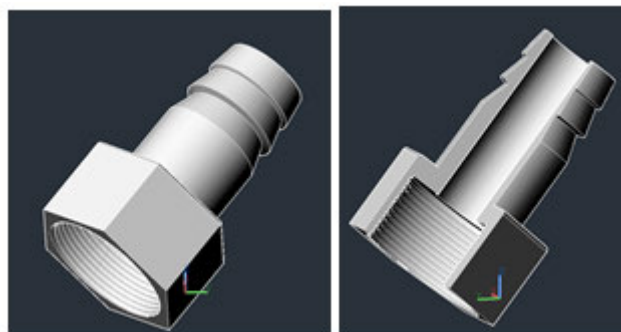


Рис. 2. Трехмерная модель ШРП-25 в AutoCAD

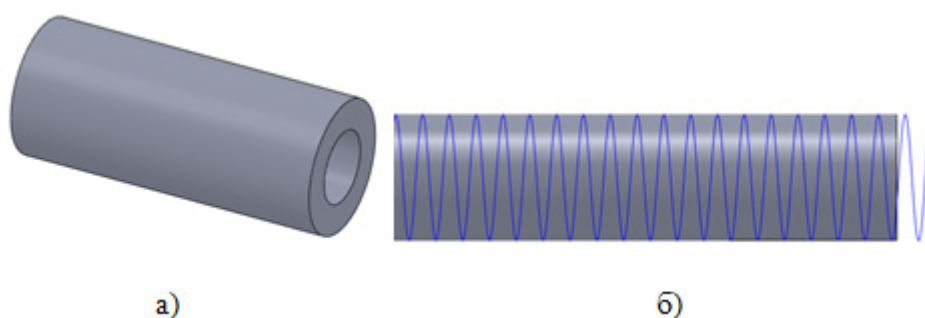


Рис. 3. Этапы построения резьбы крепежных элементов в Solidworks

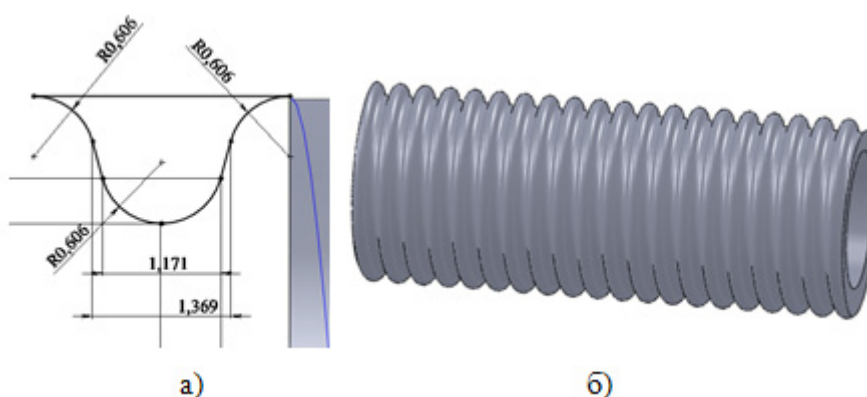


Рис. 4. Этапы построения резьбы крепежных элементов в Solidworks

Алгоритм построения, например, резьбы крепежных элементов в Solidworks выглядит следующим образом: построение цилиндра (рис. 3, а); добавление спиральной кривой (рис. 3, б); построение и определение эскиза контура удаляемой части круглой резьбы (рис. 4, а); вращение плоского контура выреза относительно винтовой траектории (рис. 4, б).

Приведем пример визуализации резьбы на поверхности болта в Solidworks (рис. 5). Выбирая диаметр поверхности отображения и длину резьбы можно выполнить условное изображение.

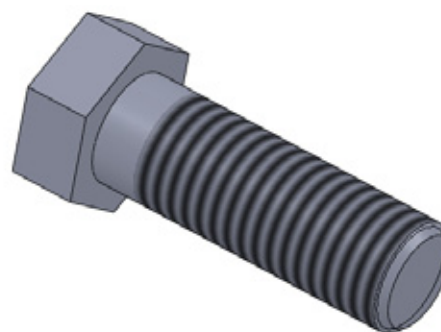


Рис. 5. Визуализации резьбы на поверхности болта

Компас — 3D обладает обширными 2D библиотеками стандартных резьбовых отверстий. Эти библиотеки приобращаются дополнительно к базовой версии программы.

В заключение отметим, что современные программные продукты САПР позволяют доступным образом создавать

и визуально изображать трехмерные модели и двухмерные чертежи деталей, что облегчает процесс проектирования, инженерного анализа и подготовки производства изделий любого уровня сложности.

#### Литература:

1. Асеева Е.Н. Визуализация образов средствами компьютерного твёрдотельного моделирования как способ решения геометрических задач / Асеева Е.Н., Авдеюк Д.Н., Асеева С.Д. // Инновации и современные технологии в системе образования: матер. III междунар. науч.-практ. конф., 20–21 февр. 2013 г. / НИЦ «Социосфера» [и др.]. — Прага, 2013. — С. 300–301.
2. Классификация резьбы. [Режим доступа: <http://www.homedistiller.ru/klassifikacija-rezby.htm>]. Дата доступа: 04.05.2013 г.
3. Леонова Л.М. Резьбовые изделия. Методические указания к лабораторной работе «Детали резьбовые» / Л.М. Леонова, О.А. Бондарев // Омск, 2008. — 33 с.
4. Открытая техническая библиотека [Режим доступа: <http://cncexpert.ru/14ch002.htm>]. Дата доступа: 04.05.2013 г.
5. Разъемные соединения. Типы резьбы. [Режим доступа: [http://vtk34.narod.ru/detalimashin\\_lek/book/book105.htm](http://vtk34.narod.ru/detalimashin_lek/book/book105.htm)]. Дата доступа: 04.05.2013 г.
6. Разъемные соединения. [Режим доступа: <http://www.prikladmeh.ru/lect2.htm>]. Дата доступа: 04.05.2013 г.
7. Резьбовое соединение существует более 100 миллионов лет. [Режим доступа: <http://arxео.info/gipotezy/rezbovye-soedinenie-sushhestvuet-okolo-100-millionov-let.html>]. Дата доступа: 04.05.2013 г.
8. Резьба. [Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki>]. Дата доступа: 04.05.2013 г.
9. Сайт Волжский завод Нефтяной Аппаратуры ООО «ВолНА»: <http://www.zavod-volna.com/shtucer-razdatochnogo-pistoleta-shrp>

## Использование разработанного алгоритма фрагментации нейронной сети для оптимизации большой нейронной сети на примере коммутаторной сети в подсистеме диагностики ЧПУ

Кашеев Дмитрий Андреевич, магистрант  
Волгоградский государственный технический университет

Возникающие задачи управления все больше усложняются и требуют принципиально иных подходов, требующих применять элементы искусственного интеллекта. Самой существенной проблемой реализации нейронных сетей является их масштабирование. Традиционный способ построения нейронных сетей предусматривает, что такая сеть состоит только из одного типа элементов — нейронов.

Коммутаторная нейронная сеть — новая технология построения нейронных сетей, позволяющая создавать большие искусственные нейронные сети для задач управления сложными техническими объектами и обработки информации [1]. Коммутаторная нейронная сеть — устройство, относящееся к вычислительной технике, предназначенное для создания систем с искусственным интеллектом. Основным отличием от известных нейронных сетей является наличие двух типов элементов: нейрона и коммутатора. Коммутаторная нейронная сеть позволяет создавать

нейронные сети любой архитектуры и практически любого объема, что позволяет реализовать систему искусственного интеллекта, соизмеримого с человеческим.

Коммутаторная нейронная сеть отличается от традиционной нейронной сети тем, что задачи транспорта и обработки информации разделены. Такая сеть содержит два типа элементов, каждый из которых выполняет только одну функцию:

- нейрон, обрабатывающий информацию;
- коммутатор, обеспечивающий транспорт и масштабирование информации.

Нейрон коммутаторной нейронной сети — устройство, имеющее один вход и один выход и выполняющее функцию принятия решений. Нейрон изменяет свое состояние дискретно, и может быть различного типа, в соответствии с требуемой активационной функцией.

Коммутатор коммутаторной нейронной сети — устройство, имеющее много входов и много выходов, перера-

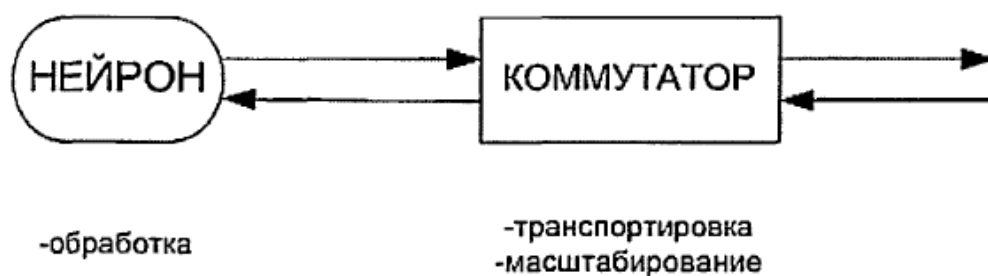


Рис. 1. Состав коммутаторной нейронной сети

спределяющее информацию между другими коммутаторами и нейронами коммутаторной нейронной сети.

Формализуем алгоритм фрагментации коммутаторной нейронной сети.

1. Сопоставить нейронам сети объекты, имеющие связи друг с другом, согласно весовым коэффициентам нейронной сети;

2. расположить полученные объекты на координатной сетке в произвольном порядке;

3.1. Для каждой пары нейронов  $i$  и  $k$  провести следующие действия;

3.1.1. Найти расстояние  $S(i, k)$  между соответствующими объектами на плоскости;

3.1.2. Рассчитать воздействующий на объекты импульс, как разность  $P_{отт}$  и  $P_{прит}$ ;

3.1.3. Рассчитать  $\Delta x(i, k)$  и  $\Delta x(k, i)$  — перемещение каждого объекта из пары;

3.1.4. Рассчитать  $\Delta y(i, k)$  и  $\Delta y(k, i)$  — перемещение каждого объекта из пары;

3.2. Переместить каждый объект на плоскости в соответствии с рассчитанными  $\Delta x(i)$  и  $\Delta y(i)$ .

3.3. Найти максимальные значения перемещений по осям  $x$  и  $y$ .

3.4. Определить, пришла ли система из объектов на плоскости в состояние покоя, сравнив максимальные значения перемещений объектов  $\Delta x(i)$  и  $\Delta y(i)$  с заданными минимальными величинами  $\Delta x_{min}(i)$  и  $\Delta y_{min}(i)$ ,

4. Повторить п. 3  $i$  раз, до тех пор, пока система не придет в состояние равновесия;

5. Используя коэффициент группирования  $C$ , объединить множество объектов на плоскости в группы, согласно расстоянию между парами объектов;

6. Присвоить группы коммутаторам первого уровня коммутаторной нейронной сети.

Алгоритм описывает вычислительный процесс, который завершается за конечное число шагов. Любой шаг алгоритма реализуется некоторым числом машинных операций. Критерием оптимальности алгоритма выбирается трудоемкость алгоритма, понимаемая как количество элементарных операций, которые необходимо выполнить для решения задачи с помощью данного алгоритма. Для оценки трудоемкости разработанного алгоритма используем «укрупненный шаг» вычислений.

Трудоемкость рассматриваемого алгоритма фрагмен-

тации в первую очередь зависит от количества входных переменных (количества нейронов), которые следует обрабатывать. Следовательно, для оценки трудоемкости алгоритмов фрагментации коммутаторной нейронной сети можно использовать асимптотический метод анализа [2]. Оценка функции трудоемкости, называемая сложностью алгоритма, позволяет определить, как быстро растет трудоемкость алгоритма с увеличением объема данных.

Запись вида  $f(n) = O(g(n))$  означает, что функция  $f(n)$  возрастает медленнее чем функция  $g(n)$  при  $c = c_1$  и  $n = N$ , где  $c_1$  и  $N$  могут быть сколь угодно большими числами, т.е. при  $c = c_1$  и  $n \geq N$ ,  $cg(n) \geq f(n)$ .

Определим вычислительную трудоемкость разработанного алгоритма и сравним с вычислительной трудоемкостью алгоритма полного перебора [3].

Трудоемкость разработанного алгоритма фрагментации:  $f(n) = O(m)(O(n^2) + O(n) + O(n)) = O(m(n^2 + n))$ .

Значение  $m$  зависит от количества нейронов, от величины связей между ними, от топологии сети и от выбранных коэффициентов  $A$  и  $B$ . Для рассматриваемых в примерах сетей экспериментально определено, что значение коэффициента  $m$  сопоставимо со значениями от  $n^3$  до  $n^5$ .

Определим вычислительную трудоемкость алгоритма перебора вариантов размещения нейронов в коммутаторной нейронной сети. Для этого формализуем алгоритм:

1. Для  $n!$  возможных комбинаций расположения нейронов:

1.1. подсчитать общее количество линий передачи данных в коммутаторной нейронной сети для связи каждой пары нейронов друг с другом;

1.2. определить наиболее оптимальный вариант из  $n!$  комбинаций.

Трудоемкость алгоритма перебора:  $f(n) = O(n!n^2)$ .

Даже в случае сопоставления параметра  $m$  большому значению, порядка  $n^{10}$  и более, сложность алгоритма будет меньше на несколько порядков при размере количестве нейронов в сети, не превышающих сотню.

По полученной оценке трудоемкости алгоритмов можно сказать, что для фрагментации нейронных сетей, состоящих из большого количества нейронов (от сотен до десятков тысяч) применение координатного метода фрагментации сети дает значительное преимущество по затратам на оптимизацию структуры сети.



Станок с ЧПУ представляет собой систему, состоящую из механической, электрической и электронной подсистем с программным управлением. В существующих системах числового программного управления подсистема диагностики представлена весьма слабо. В первую очередь диагностируется логическая и геометрическая задачи управления. Наиболее совершенные системы ЧПУ располагают отдельным режимом диагностики, который реализован в виде программно-аппаратного комплекса и ориентирован на тестирование и глубокое исследование логической и геометрической задач управления. Диагностика, как правило, выполняется вне реального времени, что означает — измерения сохраняются в памяти, а затем анализируются.

Для повышения эффективности диагностики необходим системный подход к комплексной диагностике как механических, так и электронных узлов машин с использованием высокопроизводительных цифровых сигнальных процессоров. Это создает предпосылки для разработки интеллектуальных систем, которые будут сообщать о своих «проблемах» и оценивать время остаточного ресурса отдельных узлов.

При диагностировании систем ЧПУ с большим количеством элементов требуется применять сложные системы анализа данных и сопоставления имеющимся знаниям о работе станков с ЧПУ. Система диагностирования должна обладать высоким быстродействием. Для поиска дефектов требуется методология правильного распознавания и классификации признаков дефектов. В целом, проблема быстрого действия системы диагностики может быть успешно решена распараллеливанием потоков обработки диагностической информации путем применения вычислительных систем с массовым параллелизмом — нейронных сетей. [4] Для диагностики состояния системы ЧПУ используется система обработки данных: преобразование аналогового сигнала в цифровой, затем обработка этих данных при помощи предварительно обученной нейронной сети.

Особенностью данного метода с использованием нейронной сети является приоритет измерению параметров, а не их обработке. Для получения параметров, по которым и произошел дефект, необходимо учитывать и погрешности измерения, что позволяют делать нейронные сети.

Сначала для каждого дефекта станка подбирается информативный параметр и датчик для его измерения.

Дефекты могут быть в следующих системах:

1) дефекты механики:

- станины, стойки, суппорты, каретки, траверсы, колонны, ползуны, столы;
- шпиндельные узлы, кривошипные и приводные валы;
- коробки скоростей, подач, муфты включения, тормозные муфты;
- системы охлаждения, смазки;
- прочие детали и узлы.

2) дефекты электрики:

- двигатели привода, генераторы;
  - электрошкафы, ниши с электроаппаратурой;
  - прочие элементы системы.
- 3) дефекты гидравлики (пневматики):
- гидроцилиндры (пнеumoцилиндры), гидромоторы;
  - гидронасосы;
  - регулирующая аппаратура.
- 4) дефекты системы ЧПУ, дефекты оснастки.

Используются датчики давления для регулировки давления в насосах; датчики усилия для диагностики инструмента, датчики температуры, датчик тока для регулировки тока двигателя, энкодеры для регулировки режимов резания (подачи и скорости), датчики расхода газа для пневмоприводов, датчики вибраций и другие. Комплексная задача диагностики системы ЧПУ должна обрабатывать большое количество входных сигналов в реальном времени. Для подобной обработки использование современных вычислительных средств на базе персональных компьютеров невозможно. В диагностической задаче используется коммутаторная нейронная сеть, имеющая высокую производительность в параллельных вычислениях и низкое время работы по сравнению с программными нейронными сетями.

Аппаратная нейронная сеть должна иметь большой размер для обработки и анализа такого количества информации. Следует провести анализ разработанного алгоритма для определения возможности оптимизации нейронных сетей большого размера: от 1000 до 10000 нейронов. Проведение фрагментации нейронных сетей большого размера с использованием персонального компьютера потребует применения дополнительных методов масштабирования разработанного алгоритма. Для предварительной оценки были сгенерированы нейронные сети с произвольным равномерным распределением связей и случайными весовыми коэффициентами. Оптимизировать работу таких нейронных сетей при коммутаторной реализации затруднительно, так как в них отсутствуют более-менее изолированные участки, отвечающие за анализ работы отдельных систем механизма. Эти сети также не обучены и весовые коэффициенты могут значительно отличаться от желаемых. Разработанный алгоритм должен позволить оптимизировать имеющуюся структуру для ускорения работы настроенной нейронной сети.

Результаты фрагментации выбранных нейронных сетей показаны в таблице 1. Коэффициенты группирования были подобраны в процессе фрагментации. Во всех случаях размер коммутатора подобран таким образом, чтобы нейронную сеть можно было моделировать на шести коммутаторах.

Данные результаты показывают, что разработанный алгоритм можно применять даже для оптимизации полностью связанных нейронных сетей большого размера. По результатам группирования видно, что чем больше нейронная сеть приближена к полностью связанной, а именно: каждый нейрон сети имеет большое количество связей при равномерном распределении значений весовых ко-



Таблица 1

№	Количество нейронов	Количество связей	Количество групп	Количество линий передачи данных без группирования	Количество линий передачи данных после группирования	Эффективность (сокращение количества связей в процентах, %)
1	1000	45932	34	85201	84778	0,49890199
2	1000	45657	38	84697	84270	0,50670464
3	1000	45864	41	85032	84507	0,621250311
4	1000	90908	41	169427	169160	0,157838733
5	1000	90946	13	169665	169460	0,120972501
6	5000	1128946	50	2088895	2078996	0,476143292
8	5000	229496	20	415438	414705	0,176752149
9	9500	821949	202	1550650	1549526	0,072538312
10	100	541	33	868	812	6,896551724

эффицентов всей сети, тем меньше эффективность алгоритма. Если сравнить результаты группирования нейронных сетей с номерами 9 и 10 можно заметить, что у каждого нейрона сети № 9 около 86 связей с другими нейронами, а у нейронной сети № 10 порядка 5. таким образом в образце № 10 больше прослеживается изолированность отдельных групп нейронов, соединенных наибольшим числом связей. В результате эффективность сокращения линий передачи данных между нейронами сети № 10 выше. Это доказывает, что алгоритм действительно

позволяет выделять фрагменты нейронной сети, выполняющие отдельные задачи.

**Выводы.**

Поставленную задачу фрагментации большой нейронной сети комбинаторным методом решить невозможно из-за ограничения на вычислительные ресурсы персональных компьютеров. Проектируемый алгоритм позволяет проводить рациональную фрагментацию нейронной сети, выделяя подгруппы, выполняющие подзадачи общей задачи нейронной сети.

Литература:

1. Кабак И.С., Суханова Н.В Нейронная сеть. Патент на ПМ № 75247
2. Колмогоров А.Н. Теория информации и теория алгоритмов. / А.Н. Колмогоров – М.: Наука, 1987. – 304 с.
3. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест, Р., Штайн, К. Алгоритмы: построение и анализ /Introduction to Algorithms / Под ред. И.В. Красикова. – 2-е изд. – М.: Вильямс, 2005. – 1296 с.
4. Никитин Ю.Р. Диагностика станков с ЧЕТУ. Интеллектуальные системы в производстве. / Ю.Р. Никитин – Ижевск: Ижевский государственный технический университет, 2008. – стр.89–90

**Исследование качественного и количественного состава зольей ортокремневой кислоты**

Кудашов Алексей Анатольевич, студент  
Пензенский государственный университет

Золь-гель технология [1–4] позволяет получать наноструктурированные плёнки с контролируемой морфоструктурой, которые находят широкое применение в приборах нано- и микроэлектроники, в частности для создания чувствительных элементов газовых сенсоров [5–9]. Известно, что газочувствительные плёнки получают на основе золя ортокремневой кислоты, содержащего в качестве прекурсора различные соли, например олова и/

или индия [10–13]. Причем качество плёнок, общая пористость поверхности, а также размер пор определяются, в том числе массовой долей прекурсора [14–17]. Поэтому важной задачей является контроль качественного и количественного состава золя. ИК-спектроскопия являясь неразрушающим экспресс-методом, позволяет по положению полос и пиков поглощения в спектрах пропускания определить качественный состав, а по эмпириче-

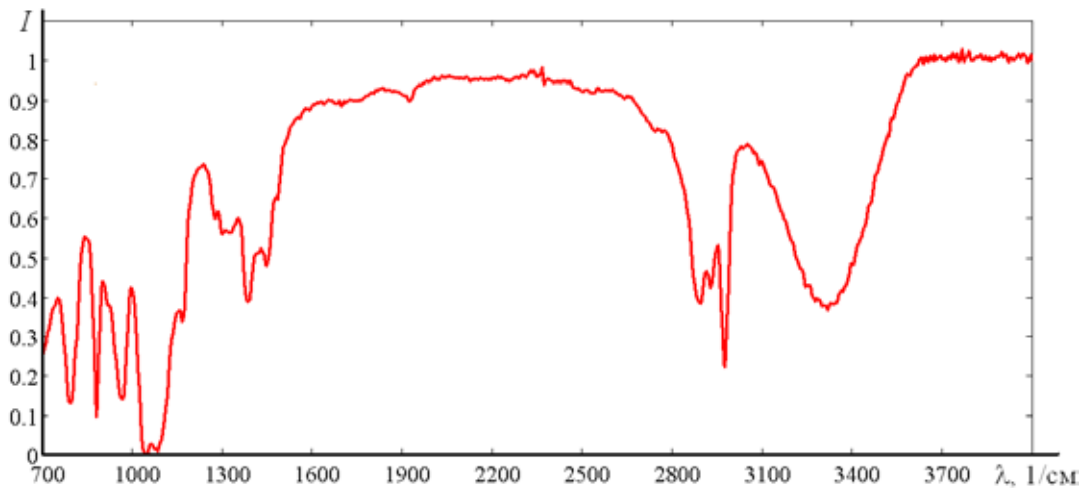


Рис. 1. ИК-спектр МНПВО золя ортокремневой кислоты

ской зависимости пропускания излучения системой от содержания компонентов количественный состав [18–19].

Рассмотрим определение качественного состава золь. На рисунке 1 представлен ИК-спектр МНПВО (многократного нарушения полного внутреннего отражения) золя ортокремневой кислоты в спектральном диапазоне 700–4000  $\text{см}^{-1}$ . Для проведения измерения использовался метод нарушения полного внутреннего отражения, который обеспечивает исследование образцов с высоким коэффициентом поглощения.

Из рисунка 1 видно, что исследуемый золь имеет ряд характерных полос поглощения, которые в диапазоне 3100–3600  $\text{см}^{-1}$  и 2800–3100  $\text{см}^{-1}$  отвечают валентным колебаниям связей О-Н и С-Н соответственно, в том числе пик поглощения 2960  $\text{см}^{-1}$  принадлежит углеводородному радикалу  $\text{CH}_3$ .

В ИК-спектре пропускания золя ортокремневой кислоты наблюдается полоса поглощения 1350–1500  $\text{см}^{-1}$ , которая соответствует деформационным колебаниям связей С-Н. Пик поглощения 790  $\text{см}^{-1}$  характеризует внеплоскостные деформационные колебания связей С-Н. ИК-спектр исследуемого золя имеет пик поглощения 1270  $\text{см}^{-1}$ , который отвечает валентным колебаниям простых связей С-С. Наличие данных полос и пиков поглощения указывает на присутствие в составе золя этилового спирта.

В спектральном диапазоне 1000–1250  $\text{см}^{-1}$  существует глубокая полоса поглощения с минимумом пропускания при 1080  $\text{см}^{-1}$  и слабым плечом при 1180  $\text{см}^{-1}$ , связанная с продольными, поперечными и смешанными колебаниями Si-O-Si связей. Пик поглощения 970  $\text{см}^{-1}$  соответствует валентным колебаниям связей Si-OH. Наличие данных полос и пиков поглощения указывает на присутствие в составе золя ортокремневой кислоты.

ИК-спектры МНПВО золь ортокремневой кислоты. Золь № 2 содержит прекурсор –  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , золь № 3 –  $\text{In}(\text{NO}_3)_3 \cdot 4,5\text{H}_2\text{O}$ , золь № 1 не содержит прекурсоров.

Измерения проводились в спектральном диапазоне 700–4000  $\text{см}^{-1}$  методом нарушения полного внутреннего отражения.

ИК-спектры МНПВО исследуемых золь практически идентичны, что указывает на близкий качественный состав, рисунок 2. Однако, спектры золь ортокремневой кислоты, содержащих прекурсоры, имеют ряд отличий. В спектральном диапазоне 3100–3600  $\text{см}^{-1}$ , который отвечает валентным колебаниям О-Н связей, наблюдается уменьшение доли инфракрасного излучения проходящего через золь, что объясняется увеличением содержания в составе золя  $\text{H}_2\text{O}$ .

Более подробно рассмотрим изменения ИК – спектров МНПВО золь в спектральном диапазоне 700–2000  $\text{см}^{-1}$  (рисунок 3).

Из рисунка 3 видно, что в спектральном диапазоне 1000–1250  $\text{см}^{-1}$ , который отвечает поперечным, продольным и смешанным колебаниям Si-O-Si связей, наблюдается увеличение доли ИК – излучения проходящего через золь. Это объясняется уменьшением массовой доли гидроксида кремния вследствие увеличения массовой доли гидроксида олова или гидроксида индия.

Сильное увеличение доли инфракрасного излучения, проходящего через золь на пике поглощения 970  $\text{см}^{-1}$ , отвечающего валентным колебаниям Si-OH связей, а также на пике поглощения 790  $\text{см}^{-1}$ , характеризующего внеплоскостные деформационные колебания С-Н связей, объясняет наличием в составе золь прекурсоров.

В ИК-спектре МНПВО золя № 3 наблюдается слабый пик поглощения при 820  $\text{см}^{-1}$ , который соответствует валентным колебаниям In-OH связей. Наличие данного пика поглощения указывает на присутствие в составе золя прекурсора –  $\text{In}(\text{NO}_3)_3 \cdot 4,5\text{H}_2\text{O}$ , которые претерпели гидролиз, в результате чего образовался гидроксид индия. Полоса поглощения характерная для валентных колебаний Sn-OH связей лежит вне диапазона измерения.

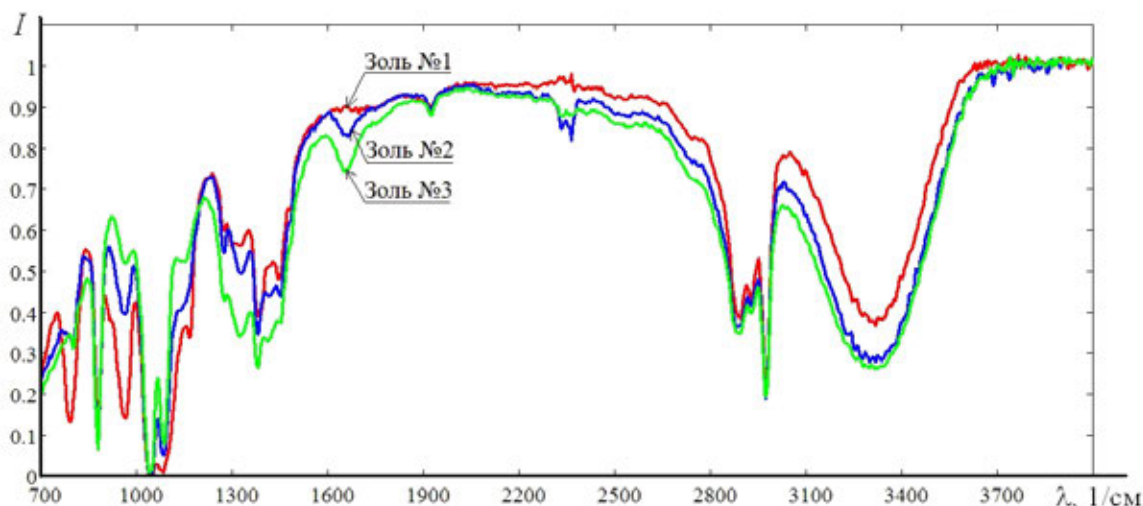


Рис. 2. Инфракрасные спектры МНПВО золь ортокремневой кислоты, содержащих различные прекурсоры

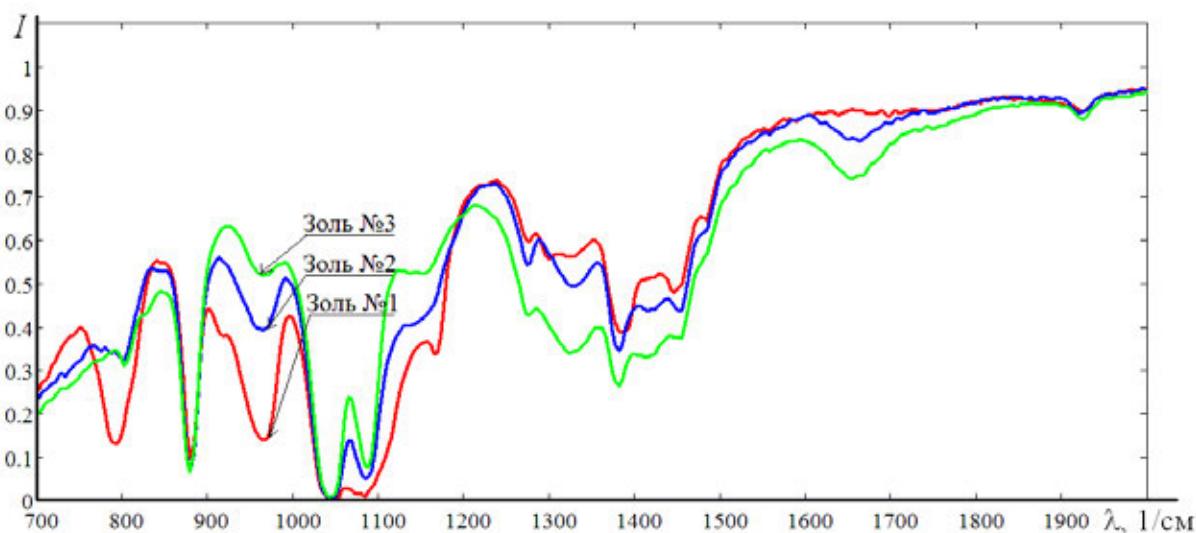


Рис. 3. ИК спектры МНПВО золь в спектральном диапазоне 700–2000 см<sup>-1</sup>

Рассмотрим определение количественного состава золь. На рисунке 4 представлен инфракрасный спектр МНПВО золь ортокремневой кислоты, содержащий различную массовую долю прекурсора —  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Измерения проводились в спектральном диапазоне 700–1300 см<sup>-1</sup> методом нарушения полного внутреннего отражения.

Из рисунка 4 видно, что исследуемый золь имеет ряд характерных полос поглощения. В спектральном диапазоне 1000–1100 см<sup>-1</sup> существует глубокая полоса поглощения с минимумом пропускания при 1080 см<sup>-1</sup>, связанная с продольными и поперечными колебаниями Si-O-Si связей. В диапазоне 900–1000 см<sup>-1</sup> наблюдается пик поглощения при 970 см<sup>-1</sup>, который соответствует валентным колебаниям Si-OH связей.

Для определения количественного состава золь ортокремневой кислоты, с прекурсором —  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,

используются пики поглощения при 970 см<sup>-1</sup> или при 1080 см<sup>-1</sup>. Более подробно рассмотрим ИК-спектр золь в диапазоне 900–1000 см<sup>-1</sup> (рисунок 5).

При увеличении массовой доли гидроксида кремния по отношению к гидроксиду олова происходит уменьшение доли излучения, проходящего через исследуемый золь, что полностью согласуется с законом Ламберта-Бугера-Бера, рисунок 5.

Построим зависимость пропускания инфракрасного излучения от массовой доли гидроксида кремния (рисунок 6) на пике поглощения 970 см<sup>-1</sup>.

Таким образом, инфракрасная спектроскопия по положению полос и пиков поглощения в инфракрасных спектрах пропускания позволяет определить качественный состав золь. На основе эмпирической зависимости интенсивности от массовой доли компонентов позволяет

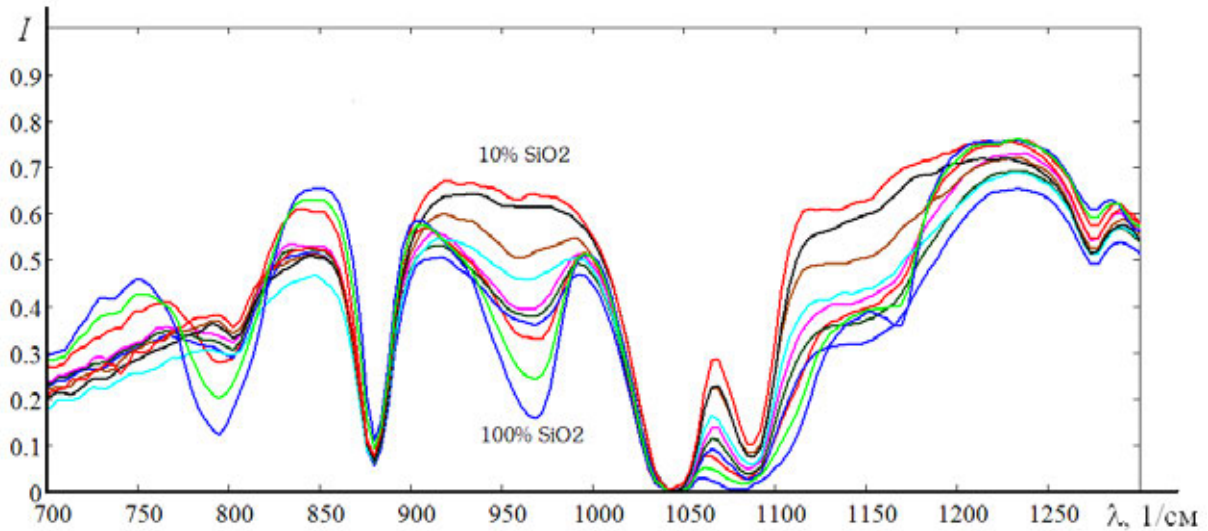


Рис. 4. Инфракрасный спектр МНПВО золя ортокремневой кислоты различной массовой доли прекурсора –  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

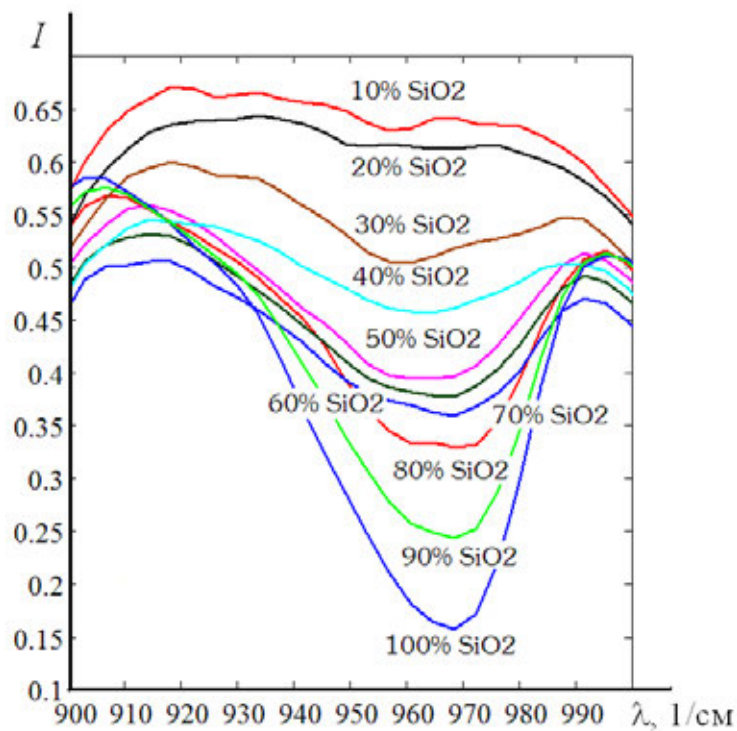


Рис. 5. ИК-спектры МНПВО зольей

определить количественный состав зольей ортокремневой кислоты, содержащих различные прекурсоры. Для исследования образцов с высоким коэффициентом поглощения

необходимо использовать метод нарушения полного внутреннего отражения.

Литература:

1. Максимов А.И., Мошников В.А., Таиров Ю.М., Шилова О.А. Основы золь-гель технологии нанокompозитов — СПб.: ООО Техномедиа / Изд-во Элмор, 2008. — 255 с.

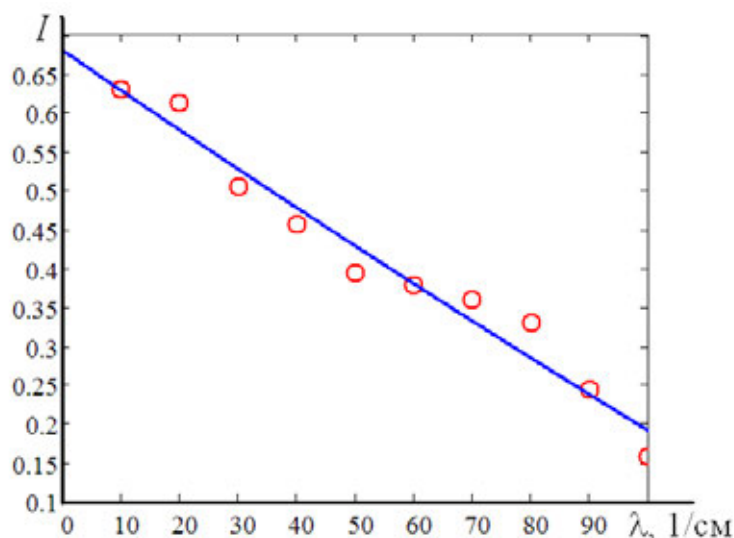


Рис. 6. Зависимость пропускания ИК-излучения от массовой доли гидроксида кремния на пике поглощения  $970 \text{ см}^{-1}$  (прекурсор  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )

2. Аверин И.А., Карпова С.С., Мошников В.А., Никулин А.С., Печерская Р.М., Пронин И.А. Управляемый синтез тонких стекловидных пленок / Нано- и микросистемная техника, 2011. — № 1. — С. 23–25;
3. Аверин И.А., Александрова О.А., Мошников В.А., Печерская Р.М., Пронин И.А. Типы фазового распада полимеров // Нано- и микросистемная техника, 2012. — № 7. — С. 12–14;
4. Мошников В.А., Грачева И.Е., Аньчков М.Г. Исследование наноматериалов с иерархической структурой, полученных золь-гель методом // Физика и химия стекла, 2011. — Т. 37. — № 5. — С. 672–684;
5. Аверин И.А., Мошников В.А., Никулин А.С., Печерская Р.М., Пронин И.А. Чувствительный элемент газового сенсора с наноструктурированным поверхностным рельефом / Датчики и системы, 2011. — № 2. — С. 24–27;
6. Аверин И.А., Пронин И.А., Димитров Д.Ц., Крастева Л.К., Папазова К.И., Чаначев А.С. Исследование чувствительности к этанолу переходов  $\text{ZnO-ZnO:Fe}$  на основе тонких наноструктурированных пленок, полученных с помощью золь-гель-технологии // Нано- и микросистемная техника, 2013. — № 3. — С. 6–10;
7. Аверин И.А., Александрова О.А., Мошников В.А., Пронин И.А. Модифицирование селективных и газочувствительных свойств резистивных адсорбционных сенсоров путем целенаправленного легирования // Датчики и системы, 2013. — № 3. — С. 13–16;
8. Аверин И.А., Карманов А.А., Пронин И.А. Моделирование процессов газочувствительности полупроводниковых сетчатых композитов на основе  $\text{SiO}_2\text{-SnO}_2$  // Труды международного симпозиума «Надежность и качество», 2012. — Т.1. — С. 214–216;
9. Пронин И.А. Управляемый синтез газочувствительных пленок диоксида олова, полученных методом золь-гель технологии // Молодой ученый, 2012. — № 5. — С. 57–60;
10. Аверин И.А., Мошников В.А., Пронин И.А. Влияние типа и концентрации собственных дефектов на свойства структур диоксида олова // Нано- и микросистемная техника, 2013. — № 1. — С. 27–29;
11. Пронин И.А. Анализ концентрации собственных дефектов при создании газочувствительных структур на основе диоксида олова // Молодой ученый, 2012. — № 8. — С. 7–8;
12. Аверин И.А., Никулин А.С., Печерская Р.М., Пронин И.А. Чувствительные элементы газовых сенсоров на основе пористых нанопленок // Труды международного симпозиума «Надежность и качество», 2010. — Т.2. — С. 101–103.
13. Аверин И.А., Пронин И.А., Печерская Р.М. Мультисенсорные газовые системы на основе нанотехнологий и перспективы выхода на инновационный рынок // Труды международного симпозиума «Надежность и качество», 2011. — Т.2. — С. 82–84.
14. Мошников В.А., Грачева И.Е., Пронин И.А. Исследование материалов на основе диоксида кремния в условиях кинетики самосборки и спинодального распада двух видов / Нанотехника, 2011. — № 2. — С. 46–54;
15. Аверин И.А., Мошников В.А., Пронин И.А. Особенности созревания и спинодального распада самоорганизующихся фрактальных систем // Нано- и микросистемная техника, 2012. — № 5. — С. 29–33;
16. Аверин И.А., Пронин И.А. Особенности фазового состояния неравновесных термодинамических систем полимер-растворитель // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические



науки. — 2012. — № 2. — С. 163–170;

17. Аверин И.А., Печерская Р.М., Пронин И.А. Особенности низкотемпературной самоорганизации зольей на основе двухкомпонентных систем диоксид кремния-диоксид олова / Нано- и микросистемная техника, 2011. — № 11. — С. 27–30;
18. Аверин И.А., Карманов А.А., Печерская Р.М., Пронин И.А. Особенности синтеза и исследования наноконпозиционных пленок, полученных методом золь-гель технологии. Известия вузов. Поволжский регион. Серия «Физико-математические науки», 2012. — № 2. — с. 155–162;
19. Аверин И.А., Карманов А.А., Печерская Р.М., Пронин И.А. Исследование золь ортокремневой кислоты методом ИК-спектроскопии // Труды международного симпозиума «Надежность и качество», 2012. — Т.2. — С. 181–182.

## Функциональные свойства подсолнечного масла

Лукин Александр Анатольевич, преподаватель

Южно-Уральский государственный университет, Институт экономики, торговли и технологий (г. Челябинск)

*Подсолнечное масло является функциональным продуктом питания за счет содержания насыщенных и полиненасыщенных жирных кислот, витаминов, фосфолипидов, стероидов, красящих веществ и неспецифических сопутствующих веществ.*

**Ключевые слова:** подсолнечное масло, функциональные свойства, пищевая ценность, биологическая ценность.

Подсолнечное масло получают из семян подсолнечника — однолетнего растения семейства сложноцветных. Родиной подсолнечника является Северная Америка. В настоящее время в России и странах СНГ культивируют более 70 сортов и гибридов подсолнечника, которые делят на несколько типов в зависимости от состава триглицеридов масла: подсолнечник линолевого типа (содержание линолевой кислоты до 70 %, сорт Передовик), подсолнечник олеинового типа (содержание олеиновой кислоты до 70 %, сорт Первенец); кондитерский тип (крупноплодный сорт «Саратовский» 82); гибридный подсолнечник, включающий гибриды советской селекции («Почин», «Казахстанский» 334, «Донской» 342 и др.) и зарубежной («Солдор» 220, «Санбред» 254 и др.).

Различают два вида товарного подсолнечника — масличный, имеющий мелкие черные семена с высоким (50 % и более) содержанием жира и перерабатываемый для получения масла и шрота, и немасличный (кондитерский, крупноплодный), крупные черно-белые семена которого используют при изготовлении разнообразных пищевых продуктов. Высокая пищевая и биологическая ценность семян подсолнечника известна. Считают, что из растительных белков белок подсолнечника меньше всего отклоняется от стандарта — белка куриного яйца. Получение пищевых белков из семян подсолнечника в настоящее время приобретает промышленное значение. Очень важным является и непосредственное использование в питании натурального ядра, что позволяет наряду с маслом и белком потреблять богатейший комплекс биологически активных соединений, в том числе витаминной и провитаминной природы (токоферолы, стероиды, каротиноиды), водорастворимые витамины (тиамин, рибоф-

лавин, пиридоксин), фолиевую и пантотеновую кислоты, разнообразный фосфолипидный комплекс и уникальный набор макро-, микро- и ультра-микроэлементов.

Даже в сравнении с другими ценными продуктами, такими как разные виды орехов и семян, ядро подсолнечника отличается повышенным содержанием некоторых ключевых нутриентов — фолиевой кислоты, витамина Е, селена (таблица 1).

Питательность 100 г ядра составляет примерно 570 ккал, обезжиренного ядра — 450 ккал. По этому показателю подсолнечник близок к шоколаду и картофельным чипсам, но содержит меньше насыщенных жиров и больше клетчатки, железа, цинка и белка.

Таким образом, ядро подсолнечника может быть отнесено к функциональным продуктам, которые обеспечивают поступление в организм человека основных питательных веществ и могут предотвращать отдельные заболевания или способствовать улучшению состояния здоровья. Употребление двух столовых ложек семян обеспечивает организм, примерно, суточной нормой потребления витамина Е. Он как антиоксидантный фактор снижает риск возникновения онкологических и сердечных заболеваний, катаракты. Антиканцерогенные и антиоксидантные свойства ядра подсолнечника обусловлены также содержанием в нем хлорогеновой кислоты. Наличие холина способствует улучшению памяти и распознавательной функции мозга. Кроме того, ядро является хорошим источником лигнина, снижающего уровень «плохого» холестерина и триглицеридов. Каких-либо аллергенных свойств у подсолнечника не обнаружено.

В составе триглицеридов подсолнечного масла преобладают линолевая и олеиновая жирные кислоты.



Таблица 1. Содержание компонентов химического состава в 100 г продукта

Продукт	Фолиевая кислота, мкг	Витамин Е, мг	Селен, мкг	Железо, мг	Цинк, мг
Ядро подсолнечника	227,35	40	59,5	6,77	5,04
Черника	6,38	0,99	0,6	0,18	0,1
Семена кунжута	96,67	2,26	5,71	14,53	7,76
Миндаль	28,99	26,17	7,9	4,3	3,35
Грецкий орех	97,98	2,93	4,58	2,93	3,1
Орех-пекан	22	3,69	6	2,54	4,51
Фундук	113	15,2	3,98	4,69	2,47

Подсолнечное масло вырабатывают рафинированное и нерафинированное. По ГОСТ Р 52465–2005 подсолнечное масло подразделяют на марки:

- рафинированное дезодорированное «Премиум», «Высший сорт», «Первый сорт»;
- рафинированное недезодорированное;
- нерафинированное «Высший сорт», «Первый сорт»;
- нерафинированное для промышленной переработки [1].

По данным Российского масложирового союза, россияне потребляют ежемесячно около 75 млн литров бутылированного масла. Крупнейшими брендами российского рынка являются «Золотая семечка» (ОАО «Юг Руси», Ростовская область), «Слобода» (ОАО «ЭФКО», Белгородская область), «Злато» (Лабинский МЭЗ, «Русская бакалея»). Активно на российский рынок продвигаются «Донское солнечное» (ОАО «Донское солнечное»), «Раздолье» (ОАО «Валуйский комбинат растительных масел»), «Altero» – подсолнечное масло с добавлением оливкового (ОАО «ЭФКО», г. Алексеевка, Белгородская область), «Ярило» (ЧП «Хачатуров», Тульская область), «Петровна» (ЗАО «Консорциум «Север»), «Российские семена» (г. Венев, Тульская область), «Милора» (Чернянский МЭЗ, Белгородская область).

Переворот на рынке растительного масла произвела фирма Торговый Дом «Ярмарка», начавшая с 1999 г. в Петрозаводске производство подсолнечного нерафинированного масла «Онего» по технологии холодного отжима, которое ученые-специалисты уже окрестили маслом XXI века.

Новая технологическая схема, освоенная Торговым Домом «Ярмарка», лишена многих недостатков традиционной технологии. Благодаря кратковременному температурному (в течение 7 секунд при температуре 90 °С) и механическому воздействию на измельченные тщательно очищенные семена обеспечивается выработка масла с низкой степенью окисленности, способного конкурировать по этому показателю с рафинированными дезодорированными маслами. Новая технология позволяет сохранять в масле «Онего» провитамин А и витамин Е. При

потреблении 40 г масла «Онего» в сутки обеспечивается суточная потребность в витамине Е на 100%, а в витамине А – на 10%.

Масло «Онего» рекомендовано главным диетологом Комитета здравоохранения администрации г. Санкт-Петербурга как источник энергии, пищевых и биологически активных веществ в рациональном питании для всех групп населения.

Россия остается крупнейшим рынком масложировой продукции в Восточной Европе, обеспечивающим более 40% общих розничных продаж региона в стоимостном выражении. Однако с точки зрения подушевого потребления этот рынок еще недостаточно развит. Ежегодные затраты на масложировую продукцию в России достигают около 25 долл. на душу населения. Этот показатель весьма скромен по сравнению со странами Западной Европы, где он составляет 44 долл. Такая разница в показателях в основном связана с тем, что в России слабо развиты сегменты продукции с высокой стоимостью, например масла премиум-класса и «здоровая» масложировая продукция, ориентированная на поддержание здорового образа жизни. По прогнозам Euromonitor International, в период с 2008 по 2013 г. рассматриваемый рынок ожидает рост на 12% в постоянных розничных ценах.

Наиболее интересна с точки зрения развития российского рынка продовольствия тенденция, которую на зрелых рынках называют *wellness*. Это многогранное понятие переводится с английского как «хорошее здоровье, являющееся результатом здорового образа жизни и активной жизненной позиции». Компания Nielsen [2], анализируя результаты исследования российского продовольственного рынка, установила, что городские жители все чаще сознательно делают выбор в пользу полезных для здоровья продуктов питания, в том числе и тех, которые помогают решать отдельные функциональные задачи, связанные с поддержанием здоровья. Говоря о прогнозах развития рынка продовольствия на несколько лет вперед, специалисты компании утверждают, что миссия *wellness* обладает колоссальным потенциалом для развития компаний-производителей, работающих на российском рынке продуктов питания.

В настоящее время продукты «здорового» питания составляют не более 3% всех известных пищевых продуктов. Прогнозируется, что в ближайшие один-два десятилетия потенциал европейского рынка данных продуктов превысит 30% всех реализуемых продуктов питания [3].

Наряду с традиционным подсолнечником, среди производителей, трейдеров и переработчиков сельскохозяйственной продукции в настоящее время популярность приобретает новое направление — возделывание высокоолеинового подсолнечника.

В Европе оно набирает обороты с огромной скоростью — увеличиваются площади под высокоолеиновые гибриды (во Франции — более 60% посевных площадей от общих посевных под подсолнечник), все больше европейских стран наращивают производственные мощности и увеличивают объемы импорта.

В семенах высокоолеинового подсолнечника содержание олеиновой кислоты (мононенасыщенная жирная кислота) составляет не менее 82%, в то время как в семенах обычного — 20–27%.

Высокоолеиновый подсолнечник стал серьезным конкурентом оливковому маслу на мировом рынке, т.к. по цене не уступает последнему, но значительно дешевле по стоимости. К тому же, он обладает рядом серьезных преимуществ:

— высокоолеиновое подсолнечное масло имеет наивысшее, по сравнению с другими пищевыми маслами, содержание витамина Е (альфа — токоферола) 45 мг/100 г, который является природным антиоксидантом, укрепляет иммунитет человека, уменьшает риск возникновения раковых заболеваний и заболеваний сердечно-сосудистой системы, являющихся основной причиной смертности;

— срок хранения высокоолеинового масла в четыре раза больше, чем у традиционного. Также высокоолеиновое масло выдерживает большее количество жарок при использовании его во фритюре;

— высокоолеиновое масло рассматривается как один из перспективных материалов, который можно использовать для получения биотоплива (биодизель) в регионах, где выращивание рапса является малорентабельным.

Ещё несколько лет назад большинство производителей скептически относились к выращиванию высокоолеинового подсолнечника, поскольку большинству сортов и гибридов были присущи — на фоне ряда преимуществ — серьезные недостатки: низкая толерантность к болезням и ростовым паразитам (заразиха), плохая стабильность и неустойчивость к неблагоприятным факторам внешней среды. Вследствие этого урожайность и содержание олеиновой кислоты были не всегда на высоком уровне. Однако с ростом популяризации здорового образа жизни, спрос на качественные и полезные продукты питания неуклонно возрос, ориентируя ведущие компании, лидирующую позицию среди которых уверенно занимает «Сингента», на его удовлетворение. Высокоурожайные высокоолеиновые гибриды компании «Сингента», имеющие один из наивысших потенциалов урожайности, хорошую толерантность к фомопсису и фомозу, устойчивость к заразихе подсолнечника рас А-Е, с содержанием олеиновой кислоты от 86 до 92%, отлично себя зарекомендовали среди крупнейших переработчиков.

Подсолнечное масло — одно из важнейших растительных масел, имеющее большое народно-хозяйственное значение. В кулинарии применяется для жарки и для заправки салатов. Из него производят маргарин и кулинарные жиры (путём гидрирования). Подсолнечное масло применяется при изготовлении консервов, а также в мыловарении и лакокрасочной промышленности.

#### Литература:

1. ГОСТ Р 52465—2005 Масло подсолнечное. Технические условия. Введ. 2007—01—01. — М.: Госстандарт, 2007. — 21 с.
2. Новый спрос — новые предложения. Российский рынок продуктов питания и напитков. Исследования компании Nielsen // Russian food & drinks market magazine. 2008.
3. Шендеров Б.А. Современное состояние и перспективы развития концепции «Функциональное питание» // Пищевая промышленность. 2003. № 5. С. 4—7.

## Передаточные отношения механизмов с ЗСТК с диаметрами равной величины и зазором при ведущем внутреннем кольце и вводе поправки по дорожке качения наружного кольца

Мерко Михаил Алексеевич, кандидат технических наук, доцент;  
 Меснянкин Марк Вадимович, старший преподаватель;  
 Колотов Андрей Васильевич, кандидат технических наук, доцент;  
 Сибирский федеральный университет (г. Красноярск)

*Рассматривается пример решение задачи по определению всех видов передаточных отношений механизмов с замкнутой системой тел качения (ЗСТК) с диаметрами равной величины и зазором между телами качения при ведущем внутреннем кольце и вводе поправки в расчет геометрических параметров по дорожке качения наружного кольца.*

**Ключевые слова:** механизм с замкнутой системой тел качения с диаметрами равной величины, механизм-прототип, эксцентриковый механизм качения, тела качения, сепаратор, дорожка качения, геометрические параметры, зазор между телами качения.

Передаточное отношение является одним из основных показателей, используемых при выборе механизмов приводов технологического оборудования. Достижение требуемых величин показателей качества технологического оборудования напрямую зависит от подбора каждого элемента привода, т.е. от правильно определенных видов передаточных отношений и диапазонов их значений. С целью расширения областей применения механизмов с замкнутой системой тел качения (ЗСТК) необходимо решить задачу по определению видов передаточного отношения механизмов данного вида, которые могут содержать в своей структуре тела качения с диаметрами как равной, так и разной величины. Механизм с ЗСТК с диаметрами равной величины является механизмом-прототипом для эксцентрикового механизма качения (ЭМК) как с зазором между телами качения, так и без данного параметра, который также может быть классифицирован как механизм с ЗСТК с диаметрами разной величины. Для ЭМК характерно смещение центров дорожек качения колец относительно друг друга на величину эксцентриситета и наличие замкнутой системы тел качения с диаметрами разной величины [1]. Тела качения механизмов данного вида могут обладать или гладкими рабочими поверхностями (фрикционные) [1...10] или поверхностями с выступами (зубчатые) [11...14]. Коллектив авторов проводит теоретические и экспериментальные исследования геометрических и кинематических параметров исполнительных механизмов технологического оборудования разработанного на базе механизмов данного вида с диаметрами разной (эксцентриковые) [1...4] или равной (соосные) [5...10] величины. В процессе реализации данных исследований было установлено, что задача по определению величин номинальных значений геометрических параметров механизмов с замкнутой системой тел качения равной величины является не линейной и при начальных условиях, что все исходные параметры постоянные величины и больше нуля может не иметь решения, т.е.

$$\begin{cases} (R_H = \text{const}) > 0, \\ (R_B = \text{const}) > 0, \\ (r = \text{const}) > 0, \\ (c = \text{const}) \geq 0, \end{cases} \quad (1)$$

где  $R_B$  и  $R_H$  — радиусы дорожек качения внутреннего и наружного колец;  $r$  — радиус тел качения;  $c$  — зазор между телами качения.

С целью исключения подобных ситуаций в работах [5...10] авторами сформированы области существования механизмов с ЗСТК с диаметрами равной величины как зазором между телами качения, так и без данного параметра. Для решения задачи по определению величин номинальных значений геометрических параметров при системе (1) необходим ввод поправки в расчет номинальных значений геометрических параметров, считая, что один из исходных параметров является величиной переменной. Вариация значениями радиуса тел качения и зазора не позволяет достичь требуемого результата. В этом случае получаем, что для решения данной задачи имеем два возможных направления ввода поправки в расчет геометрических параметров, т.е. либо  $R_H \neq \text{const}$ , либо  $R_B \neq \text{const}$ .

При вводе поправки по дорожке качения наружного кольца для механизма с ЗСТК с диаметрами равной величины и зазором система начальных условий (1) претерпит некоторые изменения

$$\begin{cases} (R_H \neq \text{const}) > 0, \\ (R_B = \text{const}) > 0, \\ (r = \text{const}) > 0, \\ (c = \text{const}) > 0. \end{cases} \quad (2)$$

В соответствии с условием существования (сборки) механизмов с ЗСТК с диаметрами равной величины и зазором, которое сформулировано авторами в работах [4...6], число тел качения найдем как

$$z = \frac{\pi}{\arcsin\left(\frac{R_H - R_B + c}{R_B + R_H}\right)}. \quad (3)$$

При принятых начальных условиях (2) и в соответствии с выбранным направлением ввода поправки в расчет номинальных значений геометрических параметров преобразование (3) позволит получить формулу для вычисления радиуса дорожки качения наружного кольца

$$R_H = \frac{R_B \cdot \left(1 + \sin\left(\frac{\pi}{z}\right)\right) - c}{1 - \sin\left(\frac{\pi}{z}\right)}. \quad (4)$$

Механизмы с ЗСТК с диаметрами равной величины являются представителями эпициклических механизмов, следовательно, обладают тремя видами передаточного отношения: прямое, обратное и внутреннее, а также являются реверсивными, т.е. позволяют ведущему звену совершать вращательные движения, как по ходу часовой стрелки, так и в противоположном направлении. В зависимости от особенностей структуры связанных с сочетанием подвижных и неподвижных звеньев эпициклические механизмы данного вида являются либо планетарными, либо дифференциальными, которые могут работать в режиме редуктора (при  $i > 1$ ) или мультипликатора (при  $i < 1$ ).

Рассмотрим пример решения задачи по определению всех видов передаточных отношений механизмов с замкнутой системой тел качения (ЗСТК) с диаметрами равной величины и зазором при ведущем внутреннем кольце, неподвижном наружном кольце и сепараторе (води́ло) в качестве выходного звена, считая, что движение звеньев совершается без скольжения (проскальзывания). Для этого составим расчетную модель (рис. 1) и примем следующие обозначения:  $ДК_B$ ,  $ДК_H$  – дорожки качения внутреннего и наружного колец;  $R_B$ ,  $R_H$ ,  $O_B$  и  $O_H$  – радиусы и геометрические центры дорожек качения внутреннего и наружного колец;  $C$  – сепаратор (води́ло);  $c$  – зазор между телами качения;  $r_0$ ,  $r_1$ ,  $r_i$  и  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_i$  – радиусы и углы положения тел качения.

Прямое передаточное отношение механизмов с ЗСТК с диаметрами равной величины и зазором при ведущем внутреннем кольце, неподвижном наружном кольце и сепараторе (води́ло) в качестве выходного звена получим, используя метод обращенного движения (формула Виллиса)

$$i_{BC}^H = 1 - i_{BH}^C, \quad (5)$$

где  $i_{BH}^C$  – внутреннее передаточное отношение механизма рассматриваемого вида при ведущем внутреннем кольце и неподвижном сепараторе (води́ло).

Внутреннее передаточное отношение механизма с ЗСТК с диаметрами равной величины и зазором

$$i_{BH}^C = \left(-\frac{r}{R_B}\right) \left(+\frac{R_H}{r}\right) = -\frac{R_H}{R_B}, \quad (6)$$

здесь  $r = r_0 = r_1 = r_i$ , знаки «-» и «+» соответствуют внешнему и внутреннему контактам дорожек качения внутреннего и наружного колец с телами качения.

Подставив (4) в (6) и преобразовав, будем иметь

$$i_{BH}^C = -\frac{R_H}{R_B} = -\frac{\left(1 + \sin\left(\frac{\pi}{z}\right)\right) - c}{1 - \sin\left(\frac{\pi}{z}\right)}. \quad (7)$$

С учетом (7) преобразуем формулу (5) для прямого передаточного отношения механизма с ЗСТК с диаметрами равной величины и зазором в окончательный вид

$$i_{BC}^H = 1 + \frac{R_H}{R_B} = 1 + \frac{\left(1 + \sin\left(\frac{\pi}{z}\right)\right) - c}{1 - \sin\left(\frac{\pi}{z}\right)}. \quad (8)$$

Обратное передаточное отношение механизма с ЗСТК с диаметрами равной величины и зазором имеет место при ведущем сепараторе (води́ло), остановленном наружном кольце и внутреннем кольце в качестве выходного звена, тогда с учетом (8) получим

$$i_{CB}^H = \frac{1}{i_{BC}^H} = \frac{1}{1 + \frac{R_H}{R_B}} = \frac{1}{1 + \frac{\left(1 + \sin\left(\frac{\pi}{z}\right)\right) - c}{1 - \sin\left(\frac{\pi}{z}\right)}}. \quad (9)$$

Варьируя числом тел качения в диапазоне (0...100) и значением радиуса дорожки качения наружного кольца в интервале (55...100) мм, проведем вычисления по выражениям (7)... (9) для всех видов передаточных отношений механизмов с ЗСТК с диаметрами равной величины и зазора  $c = 4$  мм. Расчет выполняем для начальных условий по системе (2). С целью повышения эффективности процесса вычислений авторами разработано программное обеспечение [15, 16], которое представляет собой программный комплекс «Эксцентрик» зарегистрированный в Реестре программ для ЭВМ Федеральной службы по интеллектуальной собственности (РОСПАТЕНТ) [17].

Анализ результатов вычислений показывает, что изменение величины радиуса дорожек качения наружного кольца в выбранном интервале не оказывает влияния на диапазоны значений передаточных отношений механизмов рассматриваемого вида. По результатам вычислений, выполняем синтез диаграммы передаточных отношений (рис. 2).

$$1 - i_{BC}^H, 2 - i_{CB}^H, 3 - i_{BH}^C$$

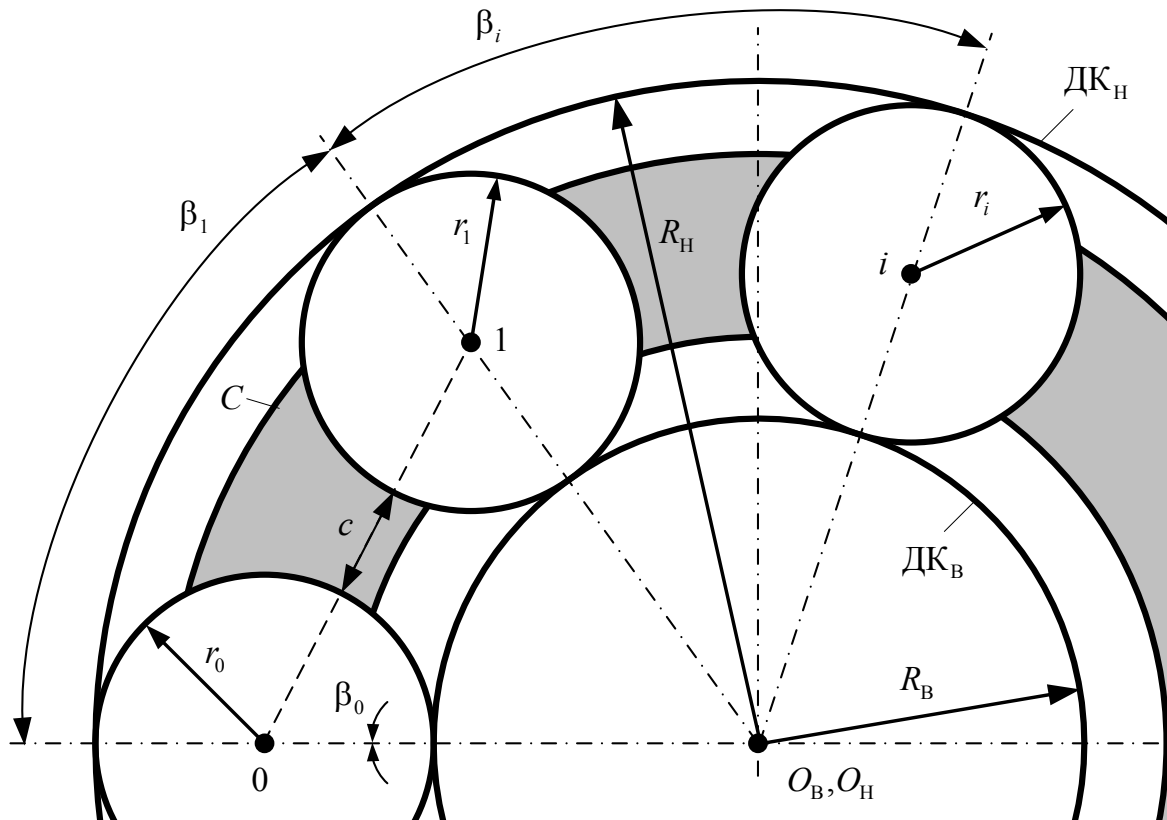


Рис. 1. Расчетная модель механизма с замкнутой системой тел качения с диаметрами равной величины и зазором

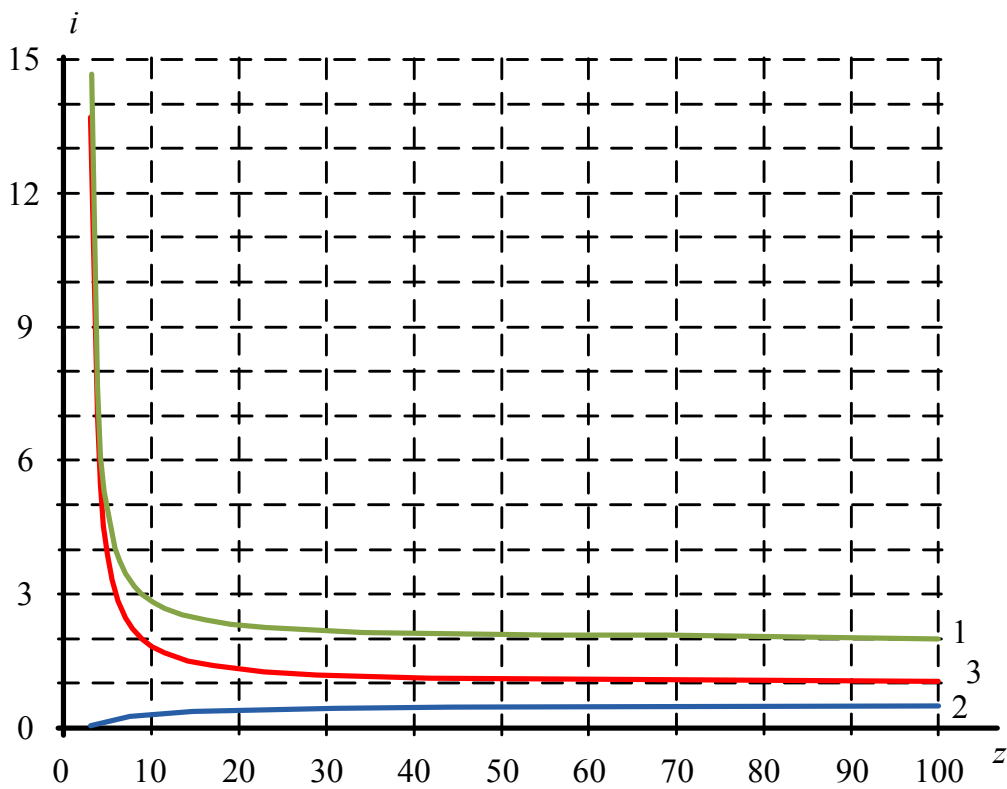


Рис. 2. Диаграмма передаточных отношений механизмов с ЗСТК с диаметрами равной величины и зазором при вращении внутреннего кольца и вводе поправки по дорожке качения внешнего кольца



Анализ диаграммы (рис. 2) показывает, что при вводе поправки по дорожке качения наружного кольца, а также ведущем внутреннем кольце, неподвижном наружном кольце и сепараторе (водило) в качестве выходного звена передаточные отношения механизмов с ЗСТК с диаметрами равной величины и зазором лежат в диапазонах: прямое  $i_{BC}^H = (2...14,93)$ , обратное  $i_{CB}^H = (0,07...0,5)$  и внутреннее  $i_{BH}^C = (1...13,93)$ . Это означает, что при данных условиях механизмы с ЗСТК с диаметрами равной величины и зазором являются редукторами, т.е. силовыми механизмами, так как  $i_{BC}^H > 1$  и  $i_{BH}^C \geq 1$ . Наличие обратного передаточного отношения указывает на то, что при ведущем сепараторе (водило), неподвижном наружном кольце и внутреннем кольце в качестве выходного звена механизмы с ЗСТК при данных условиях находятся в режиме мульти-

пликатора, т.е. являются кинематическими механизмами, так как  $i_{CB}^H < 1$ . Ввод поправки по дорожке качения наружного кольца существенно расширяет диапазон прямого передаточного отношения и увеличивает его значения, т.е. обеспечиваются максимально возможные величины передаточных отношений механизмов с ЗСТК с диаметрами равной величины и зазором.

В результате выявлены все виды передаточных отношений механизмов с ЗСТК с диаметрами равной величины и зазором при ведущем внутреннем кольце, получены формулы для определения их величин, а также установлены возможные диапазоны их значений и режимы работы механизмов, что позволяет обеспечить достижение показателей качества приводов технологического оборудования.

#### Литература:

1. Мерко М.А. Кинематические и геометрические характеристики эксцентрикового механизма качения: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.02.02. Красноярск, 2002. 26 с.
2. Мерко М.А., Меснянкин М.В., Шемякин Д.В., Леонтьев А.С., Собко И.В. Особенности формирования математической модели ЭМК при ведущем наружном кольце // Молодежь и наука: сборник материалов VII-ой Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых посвященной 50-летию первого полета человека в космос [Электронный ресурс] / отв. ред. О.А. Краев — Красноярск: Сиб. фед. ун-т, 2011. — Режим доступа: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2011/thesis/s19/Shemyakin.pdf>.
3. Меснянкин М.В., Мерко М.А., Колотов А.В., Беляков Е.В., Белякова С.А. Математическая модель ЭМК с сепаратором при ведущем внутреннем кольце // Сборник научных трудов Sworld по материалам международной научно-практической конференции. 2012. Т. 5. № 4. С. 62–67.
4. Мерко М.А., Меснянкин М. В, Беляков Е.В., Колотов А.В., Груздев Д.Е. Определение областей существования прототипа эксцентрикового механизма качения // Механики XXI века: сборник докладов VII-ой Всероссийской науч.-техн. конф. с междунар. участием. Братск: БрГУ. 2008. С. 89–93.
5. Мерко М.А., Меснянкин М.В., Шевченко Е. С, Китуря А.С. Формирование границ областей существования механизмов-прототипов ЭМК // Молодежь и наука: сборник материалов VIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 155-летию со дня рождения К.Э. Циолковского [Электронный ресурс] / отв. ред. О.А. Краев — Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. — Режим доступа: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2012/thesis/s017/s017-091.pdf>.
6. Меснянкин М.В., Мерко М.А., Колотов А.В., Митяев А.Е. Определение границ областей существования механизмов-прототипов ЭМК при вводе поправки в расчет по дорожке качения внутреннего кольца // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2012. № 12. С. 138–141.
7. Мерко М.А., Меснянкин М.В., Митяев А.Е. Описание математической модели механизма-прототипа ЭМК с сепаратором (водило) при ведущем внутреннем кольце // Молодой ученый. 2013. № 3. С. 71–75.
8. Мерко М.А., Меснянкин М.В., Колотов А.В. Определение координат звеньев механизма с замкнутой системой тел качения с диаметрами равной величины // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук 2013. № 3. с. 68–73.
9. Мерко М.А., Меснянкин М.В., Колотов А.В. Формирование областей существования механизма с ЗСТК с диаметрами равной величины с сепаратором (водило) при вводе поправки по дорожке качения наружного кольца // Молодой ученый. 2013. № 4. С. 76–80.
10. Мерко М.А., Меснянкин М.В., Митяев А.Е., Колотов А.В. Анализ взаимозависимостей геометрических параметров эксцентрикового механизма качения // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2012. № 11. С. 180–184.
11. Беляков Е.В., Меснянкин М. В, Мерко М.А., Колотов А.В., Груздев Д.Е. Эксцентриковый планетарный механизм // Механики XXI века: сборник докладов VII-ой Всероссийской науч.-техн. конф. с междунар. участием. Братск: БрГУ. 2008. С. 87–89.
12. Беляков Е.В., Колотов А.В., Меснянкин М. В, Мерко М.А. Зубчатый планетарный механизм для воспроизведения требуемого сложного закона движения выходного звена // Проблемы механики современных машин: материалы V-ой международной конференции. Улан-Удэ: ВСГУТУ. 2012. Т.1 С. 3–6.



13. Беляков Е.В., Мерко М.А., Колотов А.В., Меснянкин М.В., Митяев А.Е. Обеспечение требуемого движения выходного звена эксцентрикового эпициклического механизма // Сборник научных трудов Sworld по материалам международной научно-практической конференции. 2012. Т. 5. № 4. С. 47–51.
14. Белякова С.А., Груздев Д.Е., Беляков А.Н., Мерко М.А., Меснянкин М.В., Колотов А.В. Применение дифференциального механизма для шлифования плоских поверхностей // Сборник научных трудов Sworld по материалам международной научно-практической конференции. 2012. Т. 5. № 4. С. 51–56.
15. Мерко М.А., Меснянкин М.В., Файзиев А.Н., Вацлавский Е.С. Повешение эффективности проектирования эксцентриковых механизмов приводов технологического оборудования на основе ЭМК // Молодежь и наука: сборник материалов VII-ой Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых посвященной 50-летию первого полета человека в космос [Электронный ресурс] / отв. ред. О.А. Краев – Красноярск: Сиб. фед. ун-т, 2011. – Режим доступа: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2011/thesis/s19/Faiziev.pdf>
16. Беляков Е.В., Колотов А.В., Мерко М.А., Меснянкин М.В. Применение САПР при исследовании эксцентрикового планетарного механизма // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2012. № 3. С. 109–112.
17. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012614197. Программный комплекс «Эксцентрик» / Меснянкин А.В., Мерко М.А., Колотов А.В., Груздев Д.Е., Митяев А.Е., Беляков Е.В.; заявитель и правообладатель ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»; заявка № 2012612100 от 22.03.12; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 12.05.12.

## Использование преобразования Гильберта-Хуанга для формирования моделей фонем русского языка в задаче распознавания речи

Музычук Денис Степанович, студент;

Медведев Максим Сергеевич, кандидат технических наук, доцент

Сибирский федеральный университет, институт космических и информационных технологий (г. Красноярск)

*В статье исследуются возможности использования преобразования Гильберта-Хуанга для создания моделей фонем русского языка в системе преобразования речи в текст. Производится сравнение предложенного метода с преобразованием Фурье и вейвлет-преобразованием. Расчеты показали, что метод Гильберта-Хуанга, несмотря на возможность выявления нелинейных изменений в сигнале, в первоначальном виде мало пригоден для формирования признаков речевого сигнала (по крайней мере, в рамках нейросетевого подхода).*

**Ключевые слова:** *нейросеть, внутренние моды, распознавание фонем, вейвлет-преобразование.*

### Введение

Конечной целью создания систем распознавания речи является способность машины распознавать слова в акустическом сигнале с эффективностью, не меньшей по сравнению с аналогичной способностью человека. В ходе истории разработок наблюдался значительный прогресс: размер словаря вырос до нескольких миллионов слов, а сами системы эволюционировали от дикторозависимых к дикторонезависимым. Тем не менее, главные проблемы на сегодняшний день не решены. Это связано с вариабельностью речи из-за искажения речевого сигнала фоновым шумом, явлением коартикуляции, а также зависимости речевых характеристик от голоса и интонации.

Традиционные методы анализа данных предназначены, как правило, для линейных и стационарных сигналов и систем, и только в последние десятилетия начали активно

развиваться методы анализа нелинейных, но стационарных и детерминированных систем, и линейных, но нестационарных данных (вейвлетный анализ, распределение Вигнера-Вилля и др.). Между тем, большинство естественных материальных процессов, реальных физических систем и соответствующих им данных в той или иной мере являются нелинейными и нестационарными. При анализе используются определенные упрощения, особенно в отношении априорно устанавливаемого базиса преобразования данных в новые, удобные для обработки и анализа метрические пространства. В связи с этим актуальность разработки новых устойчивых и универсальных методов формирования речевых признаков очевидна.

При создании системы преобразования речи в текст одна из самых важных задач — выбор единицы распознавания. Рассмотрим основные подходы, используемые в системах распознавания речи для формирования речевых признаков — моделей фонем. Наиболее распро-

страненные методы анализа — это преобразование Фурье и вейвлет-анализ.

### Оконное преобразование Фурье

Классическое преобразование Фурье имеет дело со спектром сигнала, взятым во всем диапазоне существования переменной. Нередко интерес представляет только локальное распределение частот, в то время как требуется сохранить изначальную переменную (обычно время).

С позиций точного представления произвольных сигналов и функций, преобразование Фурье имеет ряд недостатков, которые привели к появлению оконного преобразования Фурье и стимулировали развитие вейвлет-преобразования. Отметим основные из них [2]:

- ограниченная информативность анализа нестационарных сигналов и практически полное отсутствие возможностей анализа их особенностей (сингулярностей), т.к. в частотной области происходит «размазывание» особенностей сигналов (разрывов, ступенек, пиков и т.п.) по всему частотному диапазону спектра.

- появление эффекта Гиббса на скачках функций, при усечении сигналов и при вырезке отрезков сигналов для локального детального анализа;

- гармонический характер базисных функций, определенных в интервале от  $-\infty$  до  $+\infty$ .

Неспособность преобразования Фурье осуществлять временную локализацию сингулярностей сигналов может быть частично устранена введением в преобразование так называемой движущейся оконной функции, имеющей компактный носитель. Использование оконной функции позволяет представлять результат преобразования в виде функции двух переменных — частоты и временного положения окна.

Оконное преобразование Фурье имеет следующий вид [2]:

$$F(\hat{t}, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \cdot W(t - \hat{t}) e^{-j\omega t} dt, \quad (1)$$

### Вейвлет-преобразование и его применение в практике обработки сигналов

Вейвлет-преобразование стремительно завоевывает популярность в столь разных областях, как телекоммуникации, компьютерная графика, биология, астрофизика и медицина. Благодаря хорошей приспособленности к анализу нестационарных сигналов оно стало мощной альтернативой преобразованию Фурье в ряде медицинских приложений.

Главным элементом в вейвлет анализе является функция-вейвлет. Вообще говоря, вейвлетом является любая функция, отвечающая двум условиям:

1. Среднее значение (интеграл по всей прямой) равен 0.

2. Функция быстро убывает при  $t \rightarrow \infty$ .

Обычно, функция-вейвлет обозначается буквой  $\Psi$ .

В общем случае вейвлет преобразование функции  $f(t)$  выглядит так [4; 5]:

$$W(a, b) = \frac{1}{a} \int_{-\infty}^{+\infty} \psi * \left( \frac{t-b}{a} \right) f(t) dt, \quad (2)$$

где  $t$  — ось времени,  $a$  — момент времени,  $b$  — параметр, обратный частоте, а  $*$  — означает комплексно-сопряженное.

Коэффициенты вейвлет-преобразования содержат комбинированную информацию об анализирующем вейвлете и анализируемом сигнале (как и коэффициенты преобразования Фурье, которые содержат информацию о сигнале и о синусоидальной волне). Выбор анализирующего вейвлета, как правило, определяется тем, какую информацию необходимо извлечь из сигнала. Каждый вейвлет имеет характерные особенности во временном и в частотном пространстве, поэтому иногда с помощью разных вейвлетов можно полнее выявить и подчеркнуть те или иные свойства анализируемого сигнала.

Многочастотный вейвлет-анализ основывается на разложении сигнала по функциям, образующим ортонормированный базис [1; 3]. Любую функцию можно разложить на некотором заданном уровне разрешения (масштабе)  $j_n$  в ряд вида:

$$f(x) = \sum_{k=0}^{2M-1} s_{j_n, k} \phi_{j_n, k} + \sum_{j=j_n}^{j_{\max}} \sum_{k=0}^{2M-1} d_{j, k} \psi_{j, k}, \quad (3)$$

где  $\phi_{j_n, k}$  и  $\psi_{j_n, k}$  — масштабированные и смещенные версии скейлинг-функции (масштабной функции)  $\phi$  и «материнского вейвлета»  $\psi$ ;

$s_{j, k}$  — коэффициенты аппроксимации;

$d_{j, k}$  — детализирующие коэффициенты.

Масштабирование и смещение функций  $\phi$  и  $\psi$  находится следующим образом:

$$\phi_{j, k} = 2^{j/2} \phi(2^j x - k), \quad (4)$$

$$\psi_{j, k} = 2^{j/2} \psi(2^j x - k), \quad (5)$$

В свою очередь сами функции  $\phi$  и  $\psi$  определяются так:

$$\phi(x) = \sqrt{2} \sum_{k=0}^{2M-1} h_k \phi(2x - k), \quad (6)$$

$$\psi(x) = \sqrt{2} \sum_{k=0}^{2M-1} g_k \phi(2x - k), \quad (7)$$

где

$$g_k = (-1)^k h_{2M-k-1} \quad (8)$$

Дискретное вейвлет-преобразование не только раскладывает сигнал на некоторое подобие частотных полос (путем анализа его в различных масштабах), но и представляет временную область, т.е. моменты возникно-

вения тех или иных частот в сигнале. Вместе, эти свойства характеризуют быстрое вейвлет-преобразование — альтернативу обычному быстрому преобразованию Фурье.

Таким образом, вейвлет-преобразование, в отличие от оконного преобразования Фурье, которое имеет постоянный масштаб в любой момент времени для всех частот, имеет лучшее представление времени и худшее представление частоты на низких частотах сигнала, на высоких частотах сигнала — лучшее представление частоты с худшим представлением времени. Введение вейвлет-преобразования дает возможность уменьшить влияние принципа неопределенности Гейзенберга на полученном частотно-временном представлении сигнала. С его помощью низкие частоты имеют более детальное представление относительно времени, а высокие — относительно частоты.

### Преобразование Гильберта-Хуанга

Под преобразованием Гильберта-Хуанга (**Hilbert-Huang transform — ННТ**) понимается метод эмпирической модовой декомпозиции (EMD) нелинейных и нестационарных процессов и Гильбертов спектральный анализ (HSA) [14]. Этот метод потенциально жизнеспособен для нелинейного и нестационарного анализа данных, специально для частотно-энергетических временных представлений.

EMD-HSA был предложен Норденом Хуангом в 1995 в США (NASA) для изучения поверхностных волн тайфунов, с обобщением на анализ произвольных временных рядов коллективом соавторов в 1998 г. [12; 14]. В последующие годы, по мере расширения применения алгоритма для других отраслей науки и техники, вместо термина EMD-HSA был принят более короткий термин преобразования ННТ.

EMD (Empirical Mode Decomposition) — метод разложения сигналов на функции, которые получили название внутренних или «эмпирических мод». Метод представляет собой адаптивную итерационную вычислительную процедуру разложения исходных данных (непрерывных или дискретных сигналов) на эмпирические моды или внутренние колебания.

**Огибающие сигналов.** У каждого сигнала имеются локальные экстремумы: чередующиеся локальные максимумы и локальные минимумы с произвольным расположением по координатам (независимым переменным) сигналов. По этим экстремумам с использованием методов аппроксимации можно построить две огибающие сигналов: нижнюю — построенную по точкам локальных минимумов, и верхнюю — построенную по точкам локальных максимумов, а также функцию «среднего значения огибающих», которой отвечает срединная линия, расположенная в точности между нижней и верхней огибающими.

**Функции внутренних мод сигналов.** Модовая декомпозиция сигналов основана на предположении, что любые данные состоят из различных внутренних колебаний

(intrinsic mode functions, IMF). В любой момент времени данные могут иметь множество сосуществующих внутренних колебаний — IMFs. Каждое колебание, линейное или нелинейное, представляет собой модовую функцию, которая имеет экстремумы и нулевые пересечения. Кроме того, колебания в определенной степени «симметричны» относительно локального среднего значения. Конечные сложные данные образуются суммой модовых функций, наложенных на региональный тренд сигнала.

Эмпирическая мода — это такая функция, которая обладает следующими свойствами:

1. Количество экстремумов функции (максимумов и минимумов) и количество пересечений нуля не должны отличаться более чем на единицу.

2. В любой точке функции среднее значение огибающих, определенных локальными максимумами и локальными минимумами, должно быть нулевым.

IMF представляет собой колебательный режим, но вместо постоянной амплитуды и частоты, как в простой гармонике, у IMF могут быть переменная амплитуда и частота, как функции независимой переменной (времени, координаты, и пр.). Первое свойство гарантирует, что локальные максимумы функции всегда положительны, локальные минимумы соответственно отрицательны, а между ними всегда имеют место пересечения нулевой линии. Второе свойство гарантирует, что мгновенные частоты функции не будут иметь нежелательных флуктуаций, являющихся результатом асимметричной формы волны.

Любую функцию и любой произвольный сигнал, изначально содержащие произвольную последовательность локальных экстремумов (минимум 2), можно разделить на семейство функций IMFs и остаточный тренд. Если данные лишены экстремумов, но содержат точки перегиба («скрытые» экстремумы наложения модовых функций и крутых трендов), то для открытия экстремумов может использоваться дифференцирование сигнала.

Схема преобразования Гильберта-Хуанга может быть разделена на две части. В первом шаге, экспериментальные данные разлагаются в ряд внутренних модовых функций (IMFs). Эта декомпозиция рассматривается как расширение данных в терминах внутренних модовых функций. Другими словами, эти внутренние модовые функции представлены как базис преобразования, которое может быть линейным или нелинейным, как диктуется по условиям. Так как IMFs имеют хорошие Гильбертовы преобразования, то могут быть вычислены соответствующие мгновенные частоты. Таким образом, в следующем шаге мы можем локализовать любое явление как во времени, так и на частотной оси. Локальная энергия и мгновенная частота, выведенная из IMFs, дают нам дистрибутивные «энергетические время-частотные» данные, и такое представление, определяемое как Гильбертов спектр.

Допустим, что имеется произвольный сигнал  $y(t)$ . Сущность метода EMD заключается в последовательном вычислении функций эмпирических мод  $c(t)$  и остатков

$r_j(t) = r_{j-1} - c_j(t)$ , где  $j = 1, 2, 3, \dots, n$  при  $r_0 = y(t)$ . Результатом разложения будет представление сигнала в виде суммы модовых функций и конечного остатка:

$$x(t) = \sum_{j=1}^n c_j(t) + r_n(t), \quad (9)$$

где  $n$  – количество эмпирических мод, которое устанавливается в ходе вычислений.

Алгоритм эмпирической декомпозиции сигнала складывается из следующих операций его преобразования:

1. Находим в сигнале  $y(k)$  положение всех локальных экстремумов, максимумов и минимумов процесса (номера точек  $k_{i,ext}$  экстремумов), и значения  $y(k_{i,ext})$  в этих точках (рис. 1). Между этими экстремумами сосредоточена вся информация сигнала. Группируем отдельно для максимумов и для минимумов массивы координат  $k_{i,ext}$  и соответствующих им амплитудных значений  $y(k_{i,ext})$ . Число строк в массивах максимумов и минимумов не должно отличаться более чем на 1.

2. Применяя сплайны (или каким либо другим методом) вычисляем верхнюю  $u_t(k)$  и нижнюю  $u_b(k)$  огибающие процесса соответственно, по максимумам и минимумам, как это показано на рис. 2. Определяем функцию средних значений  $m_1(k)$  между огибающими (рис. 2).

Определяем функцию средних значений  $m_1(k)$  между огибающими.

$$m_1(k) = \frac{(u_t(k) + u_b(k))}{2}, \quad (10)$$

Разность между сигналом  $y(k)$  и функцией  $m_1(k)$  дает нам первую компоненту отсеивания – функцию  $h_1(k)$ , которая является первым приближением к первой функции IMF:

$$h_1(k) = y(k) - m_1(k), \quad (11)$$

3. Повторяем операции 1 и 2, принимая вместо  $y(k)$  функцию  $h_1(k)$ , и находим второе приближение к первой функции IMF – функцию  $h_2(k)$ .

$$h_2(k) = h_1(k) - m_2(k), \quad (12)$$

Последующие итерации выполняются аналогичным образом:

$$h_i(k) = h_{i-1}(k) - m_i(k), \quad (13)$$

По мере увеличения количества итераций функция  $m_i(k)$  стремится к нулевому значению, а функция  $h_i(k)$  – к неизменяемой форме.

Последнее значение  $h_i(k)$  итераций принимается за наиболее высокочастотную функцию  $c_1(k) = h_i(k)$  семейства IMF, которая непосредственно входит в состав исходного сигнала  $y(k)$ . Это позволяет вычистить  $c_1(k)$  из состава сигнала и оставить в нем более низкочастотные составляющие

$$r_1(k) = y(k) - c_1(k), \quad (14)$$

На рис. 3 показано графическое представление вычитания из сигнала высокочастотной составляющей, сформированной по алгоритму, заданному (10)–(14).

Следующую внутреннюю модовую функцию найдем, повторив операции 1–3 декомпозиции, описанные выше, с той разницей, что входным сигналом является остаток  $r_1(k)$ . Шаги 1–3 могут быть повторены для всех последовательных  $r_j(k)$ , и результат будет представлять последовательность вычислений:

$$r_1(k) - c_2(k) = r_2(k), \dots, r_{n-1}(k) - c_n(k) = r_n(k), \quad (15)$$

Метод EMD закончен, когда остаток, в идеале, не содержит экстремумов. Это означает, что остаток – или константа или монотонная функция [13]. Извлеченные IMF's симметричны, имеют уникальные локальные частоты, различные IMF's не показывают ту же самую частоту в то же самое время. Другими словами, остановка декомпозиции сигнала должна происходить при максимальном «выпрямлении» остатка, т.е. превращения его в тренд сигнала по интервалу задания с числом экстремумов не более 2–3.

Из недостатков преобразования Гильберта-Хуанга отметим, что эмпирический процесс разложения сигнала в силу своей адаптивности не управляем, по крайней мере, в настоящей форме. Даже монотональные составляющие многокомпонентного сигнала при определенном влиянии дестабилизирующих факторов (шумов, импульсных помех и т.п.) и близких по частоте соседних компонент могут при декомпозиции «перетекать» на отдельных временных интервалах в модовые функции соседних IMF.

### Обоснование выбора речевых признаков для обучения нейронной сети

Для успешного обучения нейронной сети необходимо корректным образом задавать параметры элементов обучающей выборки. В таком случае можно обеспечить высокое качество распознавания предъявляемых исходных данных.

В условиях фонемно-ориентированного подхода исходными данными для обучения сети и распознавания сигнала будут являться фонемы. Рассматривая фонему как сигнал во временной области, пользуясь тем или иным алгоритмом интегрального преобразования, можно получить необходимую информацию о его ключевых признаках требуемых для обучения.

Рассмотрим вопрос извлечения информационных признаков фонемы при применении преобразования Фурье. Как отмечается в [6; 9], одним из основных подходов к получению признаков, идентифицирующих особенности речи, является ее спектральное представление. Оконное преобразование Фурье позволяет анализировать поведение спектрального состава сигнала во времени. Оно хорошо подходит для анализа гласных фонем, т.к. базисные функции – тригонометрические периодические функции, а гласные звуки представляют собой почти-периодические

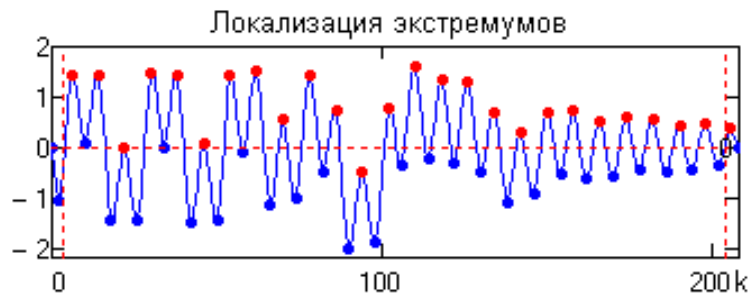


Рис. 1. Локализация экстремумов в сигнале

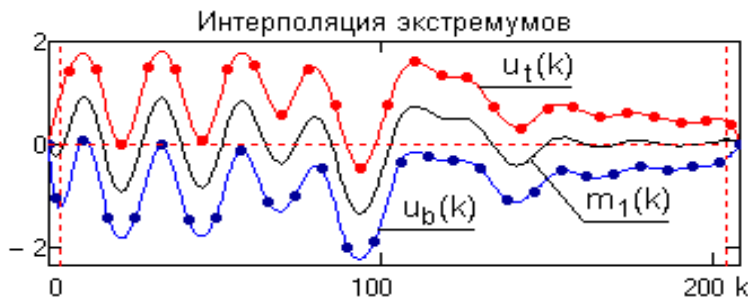


Рис. 2. Интерполяция экстремумов и построение огибающих

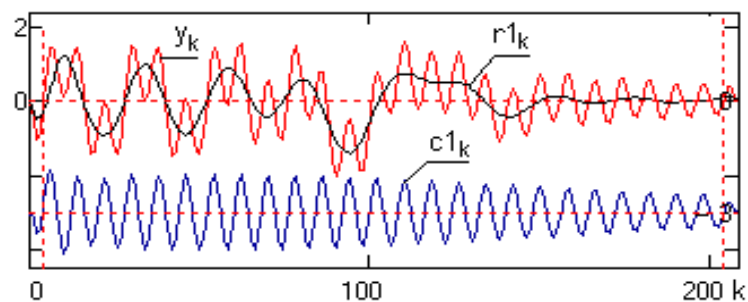


Рис. 3. Выявление низкочастотных составляющих в сигнале

сигналы [7]. В исследовании производилось разбиение на сегменты шириной 50–200 Гц. Такой диапазон был подобран экспериментальным путем. Каждый из сегментов отвечал преобразованию Фурье во временной области, взятому с прямоугольным окном. В качестве признаков для нейронной сети выбирался вектор энергий сегментов преобразования Фурье.

При использовании вейвлет-преобразования для формирования признаков, описывающих речевой сигнал, необходимо определить число уровней детализации, соответствующее размеру анализируемого частотного диапазона. Например, вейвлет  $\Psi(x)$  Добеши 8 имеет центральную частоту  $F_r = 0.6667$  Гц. При частоте дискретизации 22050 отсчетов в секунду, получаем центральную частоту вейвлета, используемого для первого уровня разложения [10].

$$F_{r_1} = F_r F_d = 0.6667 \text{ Гц} * 22050 = 14701 \text{ Гц}, \quad (16)$$

С каждым следующим уровнем разложения частота вейвлета будет уменьшаться в два раза. Центральная ча-

стота вейвлета на десятом уровне разложения будет равна 28,7 Гц. Таким образом, вейвлет коэффициенты для десяти уровней разложения отражают характеристики сигнала в указанном частотном диапазоне речи. Коэффициенты вейвлет-разложения речевого сигнала (фонема «А») на семь уровней показаны на рис. 4.

Оценим длину фиксированного интервала во временной области, на котором будут рассчитываться признаки речевого сигнала. Данный интервал должен быть меньше времени звучания фонемы. В русском языке длительности фонем изменяются в пределах 50–250 мс [7]. Значение длины сегмента должно позволять вычислять признаки речевого сигнала. Нижняя граница анализируемого частотного диапазона равна 28,7 Гц, в выделенный сегмент должен укладываться по крайней мере один период данной частотной составляющей, который равен 36 мс. Это значит, что длина сегмента, удовлетворяющая изложенным требованиям, будет равна 36 мс.

Таким образом, число уровней вейвлет-разложения сигнала фонемы зависит от частоты его дискретизации и



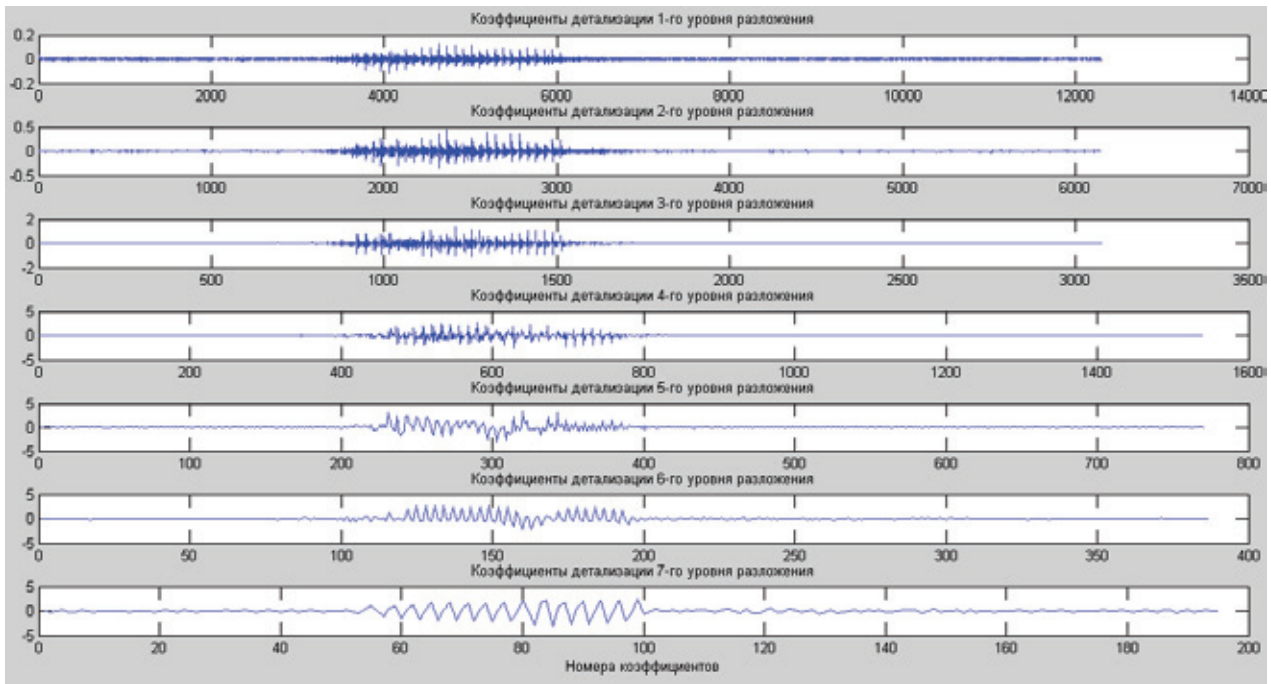


Рис. 4. Коэффициенты вейвлет-разложения речевого сигнала на семь уровней детализации

типа вейвлета. В качестве признаков для обучения нейронной сети также была выбрана энергия вейвлет-разложения на каждом из уровней декомпозиции.

Преобразование Гильберта-Хуанга характерно тем, что в его результате образуется множество внутренних модовых функций (IMFs), отражающих нелинейные изменения, происходящие в сигнале (рис. 5). При этом каждая из них, в свою очередь, является временной функцией. Численные исследования, проведенные в работе показали, что параметры IMFs и их количество претерпевают существенные изменения даже в рамках какой-либо одной фонемы (в пределах выборки). В силу этого обстоятельства в качестве признаков для обучения нейросети выбирались энергии каждой из полученных эмпирических мод. Число входов нейронной сети, осуществляющей работу по распознаванию фонем с применением преобразования Гильберта-Хуанга, бралось равным числу IMFs. При смешанном анализе к эмпирическим модам применялось вейвлет-преобразование.

Для каждой из фонем число IMFs, предъявляемых в качестве элементов обучающей выборки, подсчитывалось на этапе построения нейросети. В качестве мощности множества входов формируемой нейронной сети бралось максимальное количество IMFs, полученных для всех фонем из словаря. Число выходов нейросети принималось равным количеству распознаваемых речевых единиц.

#### Архитектура разработанного модуля

Для оценки эффективности описанных методов был разработан программный модуль преобразования русской речи в текст на основе фонемно-ориентированного

и нейросетевого подхода. В модуле реализован синтез нейронных сетей (типа многослойный персептрон), обученных на основе различных признаков речевого сигнала, описанных выше. Это дает модулю высокую гибкость при работе с речевыми данными, а конечному пользователю предоставляет широкий выбор удобных для него настроек. Пользовательский интерфейс приложения для распознавания речи представлен на рис. 6.

Реализованы следующие функции:

1. Открытие, запись, воспроизведение и сохранение сигналов в wav-формате;
2. Выбор и настройка алгоритмов анализа данных. При этом допустимы следующие алгоритмы предварительной обработки звуковых сигналов:
  - 2.1. Вейвлет-преобразование сигнала.
  - 2.2. Оконное преобразование Фурье;
  - 2.3. Преобразование Гильберта-Хуанга.

В приложении также допускается смешанный анализ: так, преобразование Гильберта-Хуанга возможно использовать совместно с вейвлет-преобразованием.

3. Создание, импорт, экспорт словаря фонем, формирование обучающей выборки.

Число входов нейросети определяется алгоритмом обработки сигнала, а число выходов определяется объемом словаря фонем.

Словарь нейронной сети представляет собой массив, состоящий из структур, каждая из которых состоит из имени фонемы, имени сигнала и массива данных, отвечающего фонеме. Данные в словаре нейронной сети представлены в виде таблицы, состоящей из названия сигнала, задаваемого вручную или автоматически, а также названия фонемы, которой данный сигнал отвечает.



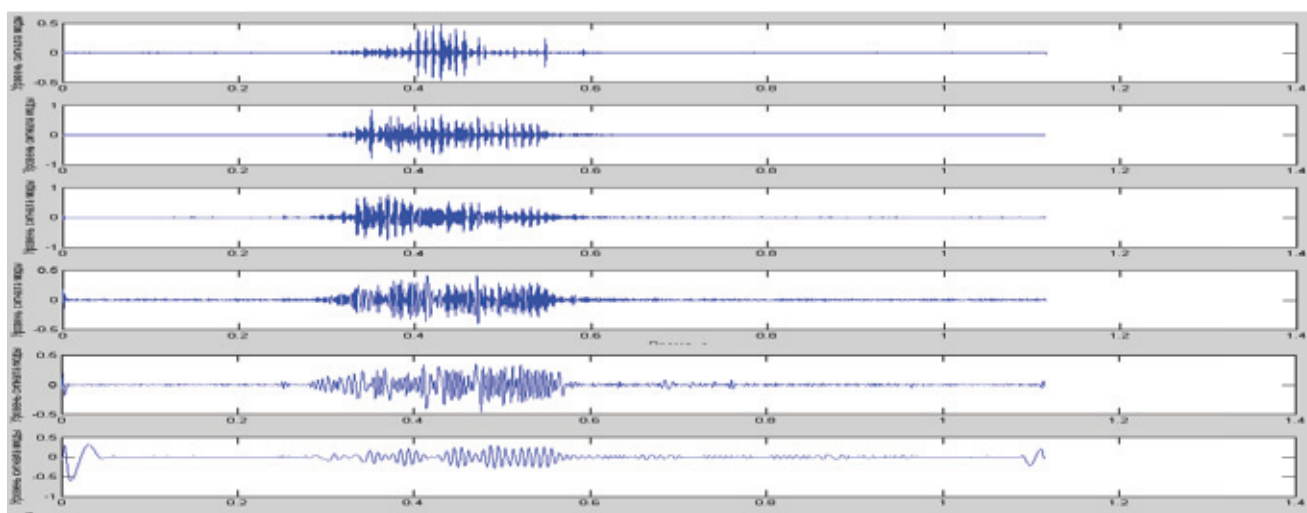


Рис. 5. Семейство первых шести эмпирических мод речевого сигнала

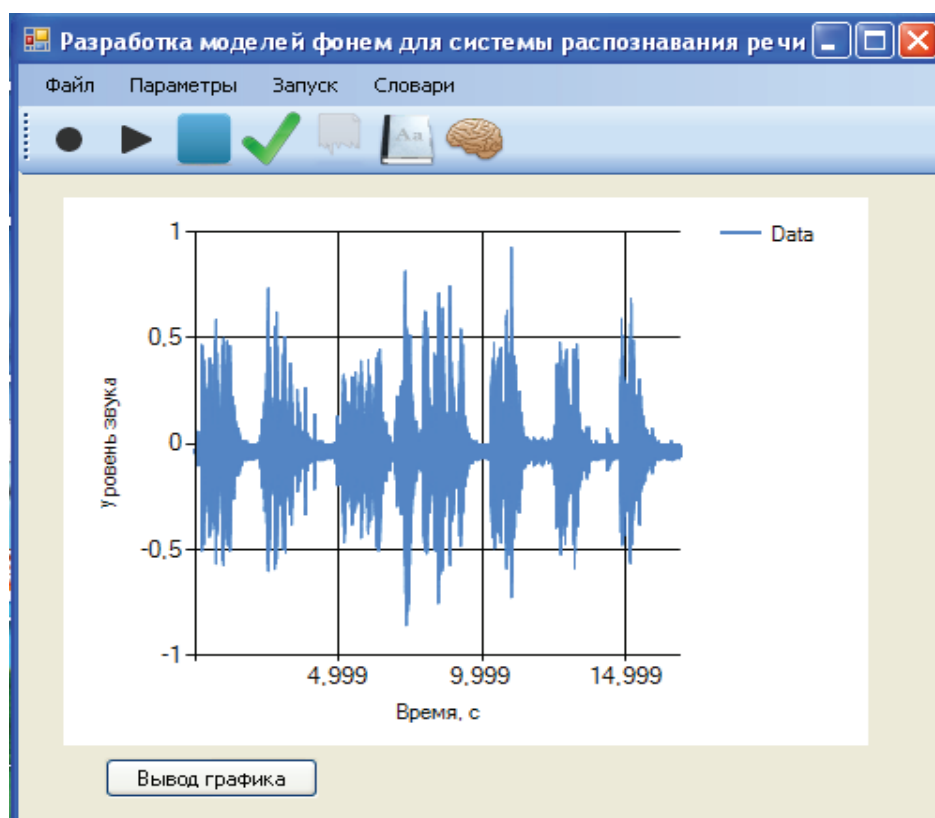


Рис. 6. Пользовательский интерфейс приложения

4. Создание, импорт нейронной сети, а также обучение и сохранение значений ее весов. Допускаются следующие алгоритмы обучения:

- 4.1. Алгоритм обратного распространения ошибки;
- 4.2. Генетический алгоритм.

Приложение поддерживает выбор типа активационной функции нейронов сети на этапе ее создания и обеспечивает задание числа нейронов скрытых слоев. При выборе доступны активационные функции следующего вида: сиг-

моидальная, функция Хевисайда, кусочно-линейная функция, функция Гаусса.

Для минимизации граничных эффектов при разбиении речи на фонемы допускается перекрытие фреймов. По умолчанию степень перекрытия составляет 25 %. Длительность звучания фонемы в составе речи составляет 15–50 мс [7]. По умолчанию в приложении длительность составляет 20 мс.

5. Выполнение автоматической очистки от шума и сегментации звуковых файлов с целью устранения пауз перед

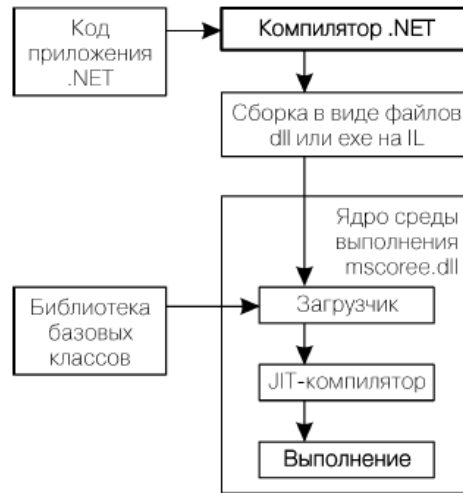


Рис. 7. Схема выполнения .NET-приложения

их распознаванием. Для больших возможностей анализа речи в приложении была предусмотрена возможность работы с фоновым словарем, на его основе формируется список фонем, который в дальнейшем используется при распознавании речи.

6. Осуществление фонетического анализа распознанного слова. Для фонетического анализа доступны алгоритмы Левенштейна и Дамерау-Левенштейна.

Как видно из описания, полученное решение наряду с обработкой мультимедийной информации, обеспечивает поддержку достаточно широкого спектра математических алгоритмов.

Для реализации пользовательского интерфейса был выбран язык C# и его библиотека Windows Forms. Windows Forms представляет собой технологию, используемую в Visual C# для создания интеллектуальных клиентских приложений на основе Windows, выполняемых в среде .NET Framework. Технология Windows Forms специально создана для быстрой разработки приложений, в которых необходимо наличие интуитивно понятного пользовательского интерфейса с гибкими возможностями.

Для языка программирования C# используется библиотека базовых типов среды .NET. Для организации типов (классов, структур, интерфейсов, встроенных типов данных и т.п.) в этой библиотеке используется концепция пространства имен. Вне зависимости от языка программирования, доступ к определенным классам обеспечивается за счет их группировки в рамках общих пространств имен [8]. Общий вид структуры среды .NET приведен на рис. 7.

В качестве инструмента для реализации математических расчетов использовался пакет MATLAB. Выбор был обусловлен тем, что среда MATLAB включает язык программирования высокого уровня, подсистему для визуализации графики, а также пакеты расширений для решения различных задач, в том числе и для обработки сигналов.

Она также поддерживает разработку приложений как при использовании собственных средств компиляции и оптимизации кода, так и с применением современных сред разработки, таких, как RAD Studio и Visual Studio.

Компилятор MATLAB был применен для преобразования программ в приложения и библиотеки, которые могут работать независимо от самой системы MATLAB, а также поддерживает все ее особенности, включая объекты, частные функции и методы.

Интеграция MATLAB и библиотеки .NET осуществлялась с помощью пакета .NET Builder, который позволяет из набора m-функций создавать компоненты для .NET, используемых в разработке приложений на CLS-совместимых языках программирования. .NET Builder преобразовывает исходные функции в .NET методы, которые инкапсулируют код MATLAB.

В основу реализации нейронной сети был положен функционал библиотеки Neural Network Library 0.1, распространяемой свободно и обладающей открытым исходным кодом. Для обработки звука наряду с возможностями MATLAB дополнительно использовалась библиотека NAudio.

### Результаты исследования

Для моделирования распознавания слов и фонем средствами приложения была создана нейронная сеть, имеющая следующие параметры:

1. Сеть обладала двумя скрытыми слоями, каждый слой содержал по 25 нейронов;
2. Для нейронов в сети в качестве функции активации была выбрана сигмоидальная зависимость, как наиболее гладкая.

В качестве обучающей выборки использовалось множество {«В», «О», «А», «И», «С», «Ш»}. Каждой фонеме сопоставлялось 5–6 примеров звуковых фрагментов, озвученных различными дикторами.



Таблица 2. Результаты распознавания гласных фонем сетью, обученной на основной выборке с применением преобразования Гильберта-Хуанга и вейвлетов

Фонема «А»		
№ п/п	Нетранскрибированный вариант	Проверка по сочетаниям фонем
1	АВААВААВААВАОАААААА	А
2	АВВААААААААААААААААА	А
3	АААААВАААААААААААААА	А
4	ААОАААААААААААААААА	А
5	ААААВОААВАААВВОААААА	А
6	АААОААОАААААААОААВА	А
7	ВОААВАВАОААААААААААА	А
Фонема «О»		
1	ИАОАИААООООООООО	О
2	АОВОАОААОООООООО	О
3	ОООООООООООООООО	О
4	ОООСОООООООООО	О
5	ООООААААОООО	О
6	ОАОООААОАОАООО	О
7	ООАВООААОААООО	О
Фонема «И»		
1	ИИВИИИИИИВИИИИИИИИИИ	И
2	ИИВАИИВАИИИИИИИИИИИИ	И
3	ИВИВВИИИИИИИИИИИИИИ	И
4	АОИОВИИИИИИИИИИИИИИИИ	И
5	ИИИИИИИИВВИВВИИИИИИИИ	И
6	ИИИИВВИИИИИИИИИИИИИИИ	И
7	ИИИИИИИИССИИИИИИИИИИИИ	И

Таблица 3. Сводные результаты распознавания фонем сетью, обученной на основной выборке с применением вейвлетов, %

€	А	О	И	В	С	Ш
1	100	95	98	100	86	90
2	92	95	100	100	100	100
3	95	89	90	98	99	97
Средний коэффициент распознавания	95	93	96	99,3	95	95,7
	95,7					

Таблица 4. Сводные результаты распознавания фонем сетью, обученной на основной выборке с применением преобразования Гильберта-Хуанга и вейвлетов, %

€	А	О	И	В	С	Ш
1	100	95	100	99	100	85
2	90	88	90	99	100	100
3	92	90	95	100	92	89
Средний коэффициент распознавания	94	91	95	99,3	97,3	91,3
	94,7					

Таблица 5. Сводные результаты распознавания фонем сетью, обученной на уменьшенной выборке с применением оконного преобразования Фурье, %

ε	А	О	И	В
1	90	87	100	90
2	93	88	100	86
3	100	91	96	95
Средний коэффициент распознавания	94,3	88,7	98,7	90,3
	93			

Таблица 6. Сводные результаты распознавания фонем сетью, обученной на уменьшенной выборке с применением преобразования Гильберта-Хуанга и вейвлетов, %

ε	А	О	И	В
1	100	83	81	80
2	95	85	76	72
3	96	85	75	75
Средний коэффициент распознавания	97	84,3	77,3	75,7
	83,6			

эффицентами. Причина такой разницы в большой ресурсоемкости методов смешанного анализа.

Наряду с фонемами разработанный модуль тестировался в целях распознавания слов. Распознавание слов происходило с применением нейросетей, успешно обученных на исходной и уменьшенной выборках. Наилучшие результаты при распознавании показала сеть, обученная на основе признаков, полученных путем комбинированной обработки фонем с совместным применением преобразования Гильберта-Хуанга и вейвлетов. Вместе с тем на уменьшенной выборке, данная сеть работала не всегда стабильно по причине возможной избыточности информации, содержащейся в речевых признаках (таблица 6), а также в силу особенностей алгоритма, которые отмечались ранее. Лучшие результаты на ней дала сеть, обученная на основе преобразования Фурье (в таблице 5 приведены результаты распознавания фонем).

### Заключение

В исследовании рассматривалась реализация модуля преобразования русской речи в текст, предназначенного для автоматизации ввода текстовой информации в ЭВМ.

Был описан нейросетевой подход к решению поставленной задачи. Произведен анализ способов получения признаков речевого сигнала с помощью вейвлет-преобра-

зования, преобразования Фурье и преобразования Гильберта-Хуанга. Разработан метод формирования грамматической формы слова на основе его фонетического представления с использованием алгоритмов Левенштейна и Дамерау-Левенштейна. Построена база данных признаков эталонов фонем.

На основе представленных алгоритмов в среде Visual Studio на языке С# с выполнением интеграции с пакетом MATLAB был разработан модуль преобразования речи в текст. Приведено подробное описание компонентов и возможностей созданного программного обеспечения. Эксперименты по определению качества работы модуля показали, что одними из наиболее эффективных способов получения признаков на ограниченном множестве являются вейвлет-преобразование и преобразование Гильберта-Хуанга, дополненное вейвлет-преобразованием эмпирических мод. Требуются дополнительные исследования, связанные с поиском и введением новых методов получения речевых признаков, более полно характеризующих фонемы в различных частях слов, что позволит повысить качество распознавания.

Из полученных результатов можно сделать выводы о высокой эффективности применения нейросетевого подхода и фонемно-ориентированного подхода в задаче разработки данного модуля. Эксперименты показали достаточно высокий коэффициент распознавания речи.

### Литература:

1. Астафьева Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения. //Успехи физических наук. – 1996 – т. 166, № 11 – с. 1145–1170.
2. Давыдов А.В. Цифровая обработка сигналов: Тематические лекции. – Екатеринбург: УГГУ, ИГиГ, ГИН, Фонд электронных документов, 2005.

3. Дремин И.М., Иванов О.В., Нечитайло В.А. Вейвлеты и их использование. //Успехи физических наук. — 2001 — т. 171, № 5. — с. 465—500.
4. Дьяконов В.П., Абраменкова И.В. MATLAB. Обработка сигналов и изображений. Специальный справочник. — СПб.: «Питер», 2002. — С. 608.
5. Дьяконов В.П. Вейвлеты. От теории к практике. — 2-е изд. — М.: СОЛОН-Пресс, 2004. — 400 с.
6. Медведев М.С. Использование вейвлет-преобразования для построения моделей фонем русского языка // Вестник КрасГУ. Серия физ.-мат. науки. — 2006. Вып. 9. — С. 193—201.
7. Михайлов В.Г., Златоустова Л.В. Измерение параметров речи. — М.: Радио и связь, 1987. — 168 с.
8. Смоленцев Н.К. Создание Windows-приложений с использованием математических процедур MATLAB. — М.: ДМК Пресс, 2008. — 456 с.
9. Фролов А.В. Синтез и распознавание речи. Современные решения / А.В. Фролов, Г.В. Фролов [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.frolov-lib.ru/books/hi/ch06.html>
10. Хармут Х.Ф. Передача информации ортогональными функциями. — М.: Связь, 1975. — 272 с.
11. Giannakopoulos T., «Study and application of acoustic information for the detection of harmful content, and fusion with visual information,» Ph.D. dissertation, Dpt of Informatics and Telecommunications, University of Athens, Greece, 2009.
12. Huang N.E., Shen Z., Long S.R., Wu M.C., Shih H.H., Zheng Q., Yen N.-C., Tung C.C., and Liu H.H. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis. //Proceedings of R. Soc. London, Ser. A, 454. 1998 — P. 903—995.
13. Qin S.R., Zhong Y.M. A new envelope algorithm of Hilbert—Huang Transform // Mechanical Systems and Signal Processing 20. 2006 — P. 1941—1952.
14. The Hilbert-Huang transform and its applications / editors, Norden E. Huang, Samuel S.P. Shen. — World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 5 Toh Tuck. Link, Singapore 596224.

## Сегментация, шумоподавление и фонетический анализ в задаче распознавания речи

Музычук Денис Степанович, студент;

Медведев Максим Сергеевич, кандидат технических наук, доцент

Сибирский федеральный университет, Институт космических и информационных технологий (г. Красноярск)

*В статье рассматривается алгоритм сегментации и шумоочистки речевого сигнала, основанный на вычислении кратковременной энергии и использующий качественные пороговые оценки для идентификации пауз. Расчеты показали, что спектральные центроиды позволяют эффективно определять зашумленные участки речевого сигнала. Разработан метод формирования грамматической формы слова на основе его фонетического представления с использованием метрик Левенштейна и Дамерау-Левенштейна. По результатам распознавания можно заключить, что алгоритм Дамерау-Левенштейна лучше всего подходит для получения грамматической формы слова.*

**Ключевые слова:** *распознавание речи, сегментация, метрика Дамерау-Левенштейна, спектральный центроид.*

Для повышения точности вычисления речевых признаков и уменьшения числа операций по обработке сигнала необходимо отделить «полезную» информацию от пауз. Существуют различные алгоритмы сегментации сигнала [2; 3]. Общей их чертой является разбиение сигнала на кадры и их анализ. При обработке речевых сигналов, как правило, оперируют не с исходным речевым сигналом, а с его параметрами, вычисленными на кадре. Длина кадра обычно выбирается такой, чтобы его длительность по времени составляла 10—20 мс, это обусловлено тем, что в связи с инерционностью артикуляционных органов на данном интервале параметры сигнала практически неизменны [1]. В исследовании сегментация речи производилась согласно алгоритму, предложенному в [4]. Он сочетает в себе вычисление кратковременной энергии, но в то же время использует более качественные пороговые оценки для идентификации пауз в сигнале. Для иллюстрации работы алгоритмов в среде Visual Studio на языке C# с выполнением интеграции с пакетом MATLAB был разработан модуль преобразования речи в текст (рис. 1).



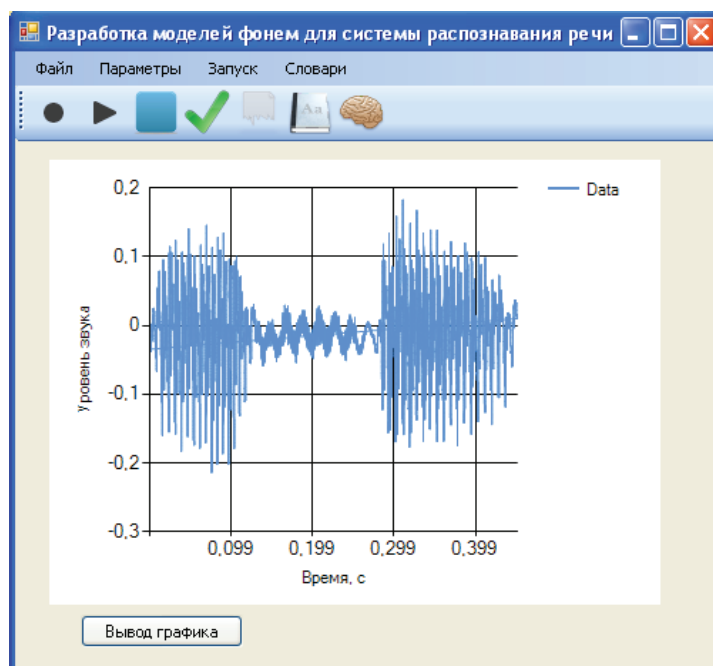


Рис. 1. Пользовательский интерфейс приложения. Записано слово «ОСА»

Пусть  $x_i(n), n = 1..N$  –  $i$ -й фрейм сигнала длины  $N$ . Тогда его энергия будет иметь следующий вид:

$$E_i = \frac{\sum_{n=1}^N x_i(n)}{N}, \tag{1}$$

Соотношение (1) может быть использовано для того, чтобы обнаружить тихие периоды в сигналах. Ниже приведена программная реализация вычисления энергии сигнала в среде MATLAB:

```
function E = ShortTimeEnergy(signal, windowLength, step);
signal = signal / max(max(signal)); %Нормализация сигнала
curPos = 1;
%Dлина сигнала
L = length(signal);
%Число семплов-участков, вычисляемое по соотношению длины
%сигнала и числа окон
numOfFrames = floor((L-windowLength)/step) + 1;
E = zeros(numOfFrames, 1);
%Цикл по семплам
for (i=1:numOfFrames)
    %Формирование семпла
    window = (signal(curPos:curPos+windowLength-1));
    %Расчет энергии
    E(i) = (1/(windowLength)) * sum(abs(window.^2));
    %Вычисление следующего семпла
    curPos = curPos + step;
end
```

Наряду с энергией в [31] вводится понятие спектрального центраида:

$$C_i = \frac{\sum_{n=1}^N (n+1) \cdot X_i(n)}{\sum_{n=1}^N X_i(n)}, \tag{2}$$

где  $X_i(n)$  – коэффициент дискретного Фурье-преобразования последовательности  $x_i(n)$ ,  $n=1..N$ .

Спектральный центроид является важной характеристикой, позволяющей оценивать особенности звука. Эксперименты показали, спектральные центроиды в последовательности чрезвычайно вариативны для речевых сегментов.

Ниже приведена реализация вычисления спектрального центроида сигнала:

```
function C = SpectralCentroid(signal,windowLength, step, fs)
signal = signal / max(abs(signal)); %Нормализация сигнала
curPos = 1;
L = length(signal);
%Число семплов-участков, вычисляемое по соотношению длины
%сигнала и числа окон
numOfFrames = floor((L-windowLength)/step) + 1;
H = hamming(windowLength); %Формирование окна Хемминга
[m1,n1]=size(H);
    if(windowLength<m1)
        H=H(1:windowLength,1);
    end
%Вектор весов для расчета центроида
m = ((fs/(2*windowLength))*[1:windowLength])';
length(H)
C = zeros(numOfFrames,1);
for (i=1:numOfFrames)
%Сглаживание сигнала окном Хемминга
    window = H.*(signal(curPos:curPos+windowLength-1));
%Спектр преобразования Фурье
    FFT = (abs(fft(window,2*windowLength)));
%Выборка из спектра по окну семплирования
    FFT = FFT(1:windowLength);
%Нормализация спектра
    FFT = FFT / max(FFT);
%Расчет центроида спектра
    C(i) = sum(m.*FFT)/sum(FFT);
%Если энергия семпла меньше 0.01
    if (sum(window.^2)<0.010)
%Считаем, что центроид равен нулю
        C(i) = 0.0;
    end
%Вычисление следующего семпла
    curPos = curPos + step;
end C = C / (fs/2);
```

Алгоритм сегментации речи [4] заключается в следующем:

1. Вычисление гистограммы последовательностей энергий и центроидов.
2. Применение сглаживающего фильтра к гистограммам.
3. Обнаружение локальных максимумов гистограмм.
4. Пусть величины  $M_1$  и  $M_2$  являются положениями первого и второго локальных максимумов соответственно.

Тогда пороговое значение составит:

$$T = \frac{W \cdot M_1 + M_2}{W + 1}, \quad (3)$$

где  $W$  – определенный пользователем параметр.

В том случае, если значения энергии (1) и центроида (2), превышают значение своих порогов (3), то сегмент считается вокализованным, в противном случае мы будем иметь дело с шумом или невокализованным промежутком.

Чтобы наглядней показать работу алгоритма откроем речевой сигнал (слово «ОСА», произнесенное несколько раз). После задания параметров сегментации (рис. 5–6) и нажатия кнопки «Сегментация» появляется отображение сегмен-

тированного сигнала во временной области. При этом паузы, шумы в сигнале выделены одним цветом, а «полезный» сигнал, который в дальнейшем подается на блок распознавания — другим цветом (рис. 2).

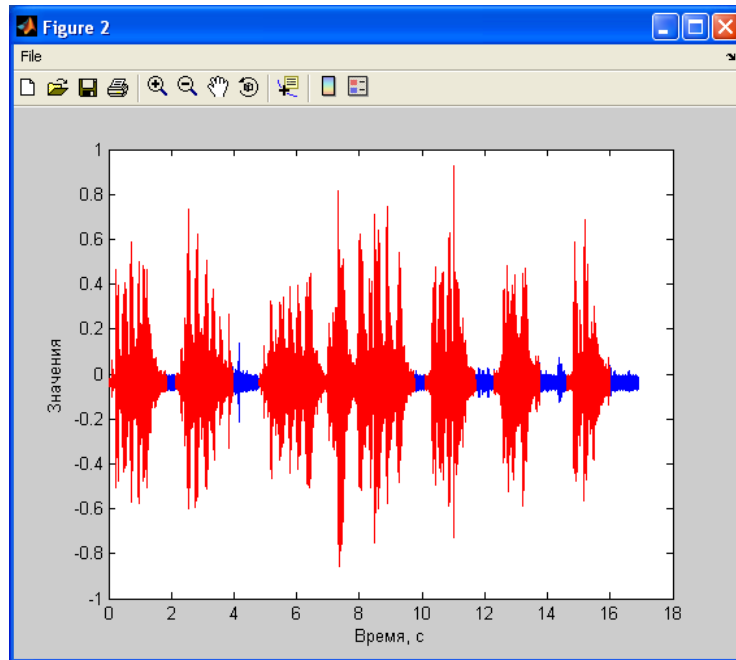


Рис. 2. Отображение сегментированного сигнала во временной области

Наряду с графиком сегментированного сигнала выводится дополнительная информация, содержащая косвенные данные о качестве сегментации (рис. 3).

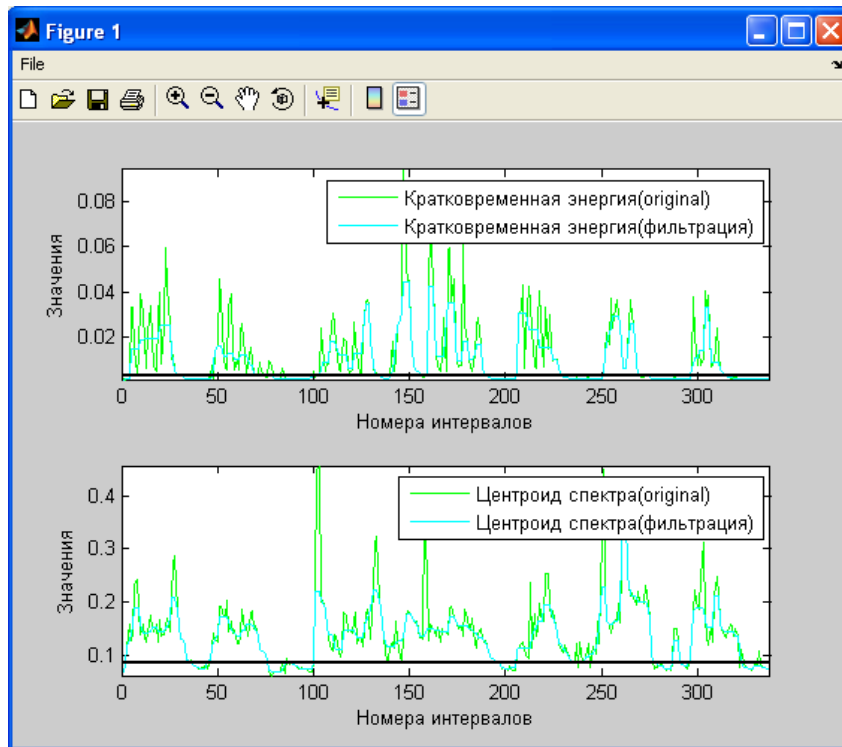


Рис. 3. Кратковременная энергия и центроид спектра

На выходе блока распознавания после анализа всех сегментов сигнала и принятия решения об их соответствии конкретным фонемам получаем символьную строку, характеризующую последовательность сегментов фонем. Полученная цепочка поступает на вход блока формирования слов для поиска грамматической формы слова.



$$D(i, j) = \begin{cases} 0 & \text{если } i = 1, j = 1, \\ i & \text{если } i > 1, j = 1, \\ j & \text{если } i = 1, j > 1, \\ \min( & \text{если } i > 1, j > 1, \\ \quad D(i, j-1)+1, \\ \quad D(i-1, j)+1, \\ \quad D(i-1, j-1)+m(S_1[i], S_2[j])) & \\ ) & \end{cases}$$

где

$$m(S_1[i], S_2[j]) = \begin{cases} 0, & \text{если } S_1[i] = S_2[j]. \\ 1, & \text{если } S_1[i] \neq S_2[j]. \end{cases}$$

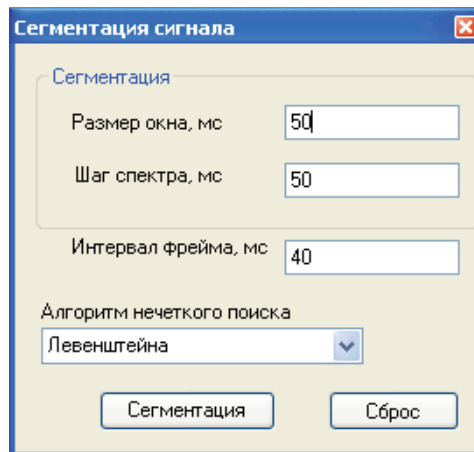


Рис. 5. Настройка параметров сегментации. Метрика Левенштейна

Реализация вычисления расстояния Левенштейна была выполнена в среде MATLAB и имеет следующий вид:

```
function [distL] = levedist(S,T)
    d=zeros(length(S),length(T));
    m=0; n=0; cost=0;
    for ii= 1:length(T)+1
        d(ii,1)=ii-1;
    end;
    for ii = 1:length(S)+1
        d(1, ii) = ii-1;
    end;
    for ii =2 :length(S)+1
        for jj =2 : length(T)+1
            if S( ii-1 ) == T( jj-1 )
                cost = 0;
            else cost = 1;
            end;
        end;
    end;
```

```

        d(jj,ii) = min(d(jj, ii-1) + 1), (d(jj-1, ii) +
1), (d( jj - 1, ii - 1 ) + cost) ] );
    end;
end;
distL=d(length(T), length(S));

```

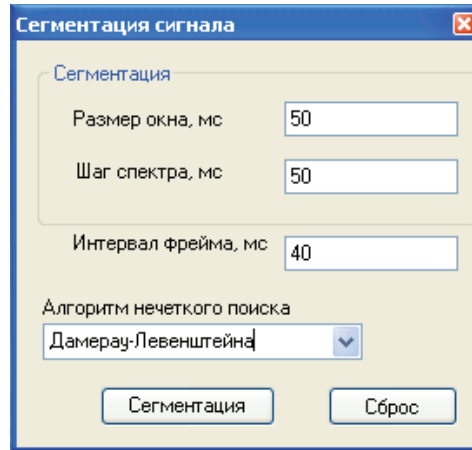


Рис. 6. Настройка параметров сегментации. Метрика Дамерау-Левенштейна

Алгоритм вычисления расстояния Левенштейна был импортирован из MATLAB в C# и встроен как часть функционала приложения для поиска наиболее близкой словарной формы. Исходный код реализации нечеткого поиска с применением алгоритма Левенштейна на C#:

```

public class LevenshteinAlgorithm : RecognizeAlgorithm
{
    //фонетический словарь
    List<string> dict=null;
    public List<string> PhonemDict
    {
        get { return dict; }
        set { dict = value; }
    }
    public LevenshteinAlgorithm()
    {
        PhonemDict = new List<string>();
    }
    public override string Recognize(string str)
    {
        Transcriber recogn = new Transcriber();
        //Сопоставление распознанного слова с фонетическим
контекстом
        MWNumericArray mw_dist = null;
        double[] distances = new
double[PhonemDict.Count];
        //Вычисление расстояний Левенштейна и поиск минимального
        double min_dist = Double.MaxValue;
        int min_index = 0;
        for (int i = 0; i < PhonemDict.Count; i++)
        {
            mw_dist =
(MWNumericArray)recogn.levedist( (MWArray)str.ToLower(),

```



```
(MWArray) PhonemDict[i].ToLower());
        double[] vec =
(double[]) ((MWNumericArray)mw_dist).ToVector(MWArrayComponent.Re
al);

        distances[i] = vec[0];
        if (distances[i] < min_dist)
        {
            min_dist = distances[i];
            min_index = i;
        }
    }
    //Выбор окончательного варианта
    string str_res = PhonemDict[min_index];
    return str_res;
}
}
```

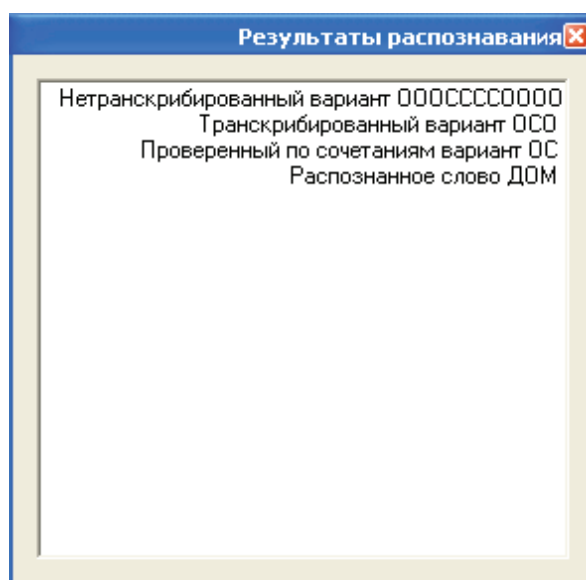


Рис. 7. Результат распознавания слова «ОСА». Метрика Левенштейна

Для расстояния Левенштейна набор элементарных операций состоит из операции замены, вставки и удаления одной буквы. Если расширить этот набор операцией перестановки соседних символов (при условии, что эти символы являются смежными в обоих словах), то получим расстояние Дамерау-Левенштейна.

Алгоритм Дамерау-Левенштейна учитывает транспозицию (перестановку) как одну операцию, наряду со вставками, удалениями и заменами. Большинство ошибок при наборе текста являются транспозициями, поэтому именно данная метрика в ряде случаев дает наилучшие результаты на практике (пример приведен на рис. 7–8). Код представлен ниже:

```
public class DamerauLevenshteinAlgorithm :
LevenshteinAlgorithm
{
    public DamerauLevenshteinAlgorithm():base()
    {
    }
    //Реализация вычисления расстояния Дамерау-
Левенштейна
    Int32 DamerauLevenshteinDistance(String source,
String target)
```

```

    {
        if (String.IsNullOrEmpty(source))
        {
            if (String.IsNullOrEmpty(target))
            {
                return 0;
            }
            else
            {
                return target.Length;
            }
        }
        else if (String.IsNullOrEmpty(target))
        {
            return source.Length;
        }
        Int32 m = source.Length;
        Int32 n = target.Length;
        //Формирование матрицы
        Int32[,] H = new Int32[m + 2, n + 2];
        Int32 INF = m + n;
        H[0, 0] = INF;
        for (Int32 i = 0; i <= m; i++)
        { H[i + 1, 1] = i; H[i + 1, 0] = INF; }
        for (Int32 j = 0; j <= n; j++)
        { H[1, j + 1] = j; H[0, j + 1] = INF; }
        //Формирование словаря
        SortedDictionary<Char, Int32> sd = new
SortedDictionary<Char, Int32>();
        foreach (Char Letter in (source + target))
        {
            if (!sd.ContainsKey(Letter))
                sd.Add(Letter, 0);
        }
        for (Int32 i = 1; i <= m; i++)
        {
            Int32 DB = 0;
            for (Int32 j = 1; j <= n; j++)
            {
                Int32 i1 = sd[target[j - 1]];
                Int32 j1 = DB;

                if (source[i - 1] == target[j - 1])
                {
                    H[i + 1, j + 1] = H[i, j];
                    DB = j;
                }
                else
                {
                    H[i + 1, j + 1] = Math.Min(H[i, j],
Math.Min(H[i + 1, j], H[i, j + 1])) + 1; }
                    H[i + 1, j + 1] = Math.Min(H[i + 1, j
+ 1], H[i1, j1] + (i - i1 - 1) + 1 + (j - j1 - 1));
                }
            }
        }
    }

```

```

        }
        sd[source[i - 1]] = i;
    }
    //Вычисление расстояния
    return H[m + 1, n + 1];
}

public override string Recognize(string str)
{
    double[] distances = new
double[PhonemDict.Count];
    //Вычисление расстояний Дамерау-Левенштейна
    double min_dist = Double.MaxValue;
    int min_index = 0;
    for (int i = 0; i < PhonemDict.Count; i++)
    { //Получаем расстояния Дамерау-Левенштейна
        distances[i] =
this.DamerauLevenshteinDistance(PhonemDict[i].ToLower(), str.ToLo
wer());
        //Поиск минимального
        if (distances[i] < min_dist)
        {
            min_dist = distances[i];
            min_index = i;
        }
    }
    //Выбор окончательного варианта
    string str_res = PhonemDict[min_index];
    return str_res;
}
}
}
}

```

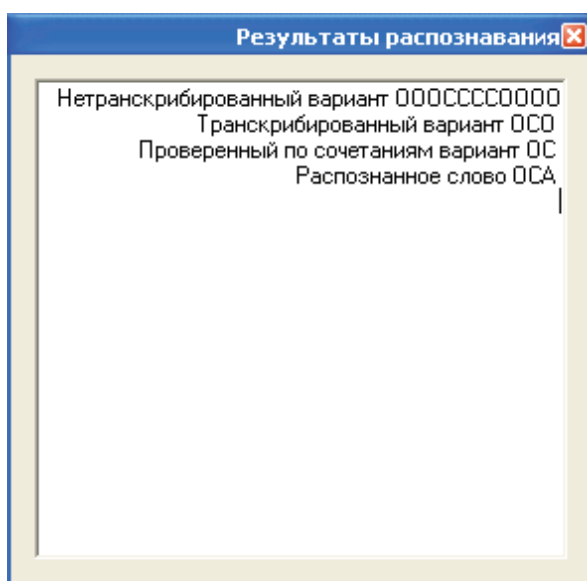


Рис. 8. Результат распознавания слова «ОСА». Метрика Дамерау-Левенштейна

В процессе работы была построена база данных признаков эталонов фонем, взят небольшой набор слов для тестирования (20 слов по 4–5 образцов). Некоторые образцы были целенаправленно зашумлены. Метод сегментации и

шумоочистки, описанный ранее, показал высокую эффективность. Это обусловлено тем, что введение спектральных центроидов позволяет более качественно определять сегменты, содержащие шум, поскольку уровень центроида на зашумленных участках сигнала существенно ниже, чем на тех, которые несут «полезную» информацию. Средний коэффициент распознавания слов при использовании метрики Левенштейна составил 91,5%, Дамерау-Левенштейна — 96%. Отсюда можно заключить, что алгоритм Дамерау-Левенштейна в целях формирования грамматической формы слова наиболее предпочтительней.

Литература:

1. Михайлов В.Г., Златоустова Л.В. Измерение параметров речи. — М.: Радио и связь, 1987. — 168 с.
2. Фланаган Дж.Л. Анализ, синтез и восприятие речи / пер. с англ. А.А. Пирогова. М.: Связь, 1968. 397 с.
3. Вишнякова О.А., Лавров Д.Н. Применение преобразования Гильберта-хуанга к задаче сегментации речи // Математические структуры и моделирование. — 2011. вып. 24. — с. 12–18
4. T. Giannakopoulos, «Study and application of acoustic information for the detection of harmful content, and fusion with visual information,» Ph.D. dissertation, Dpt of Informatics and Telecommunications, University of Athens, Greece, 2009.

## Исследование технологий дистанционного обучения при подготовке специалистов в области автоматизации и управления

Науменко Евгений Николаевич, магистрант  
Волгоградский государственный технический университет

В настоящий момент очень остро стоит вопрос при подготовке специалистов в области автоматизации технологических процессов и производств. Бурное развитие информационных систем позволяет по-новому подойти к обучению подобных специалистов с использованием технологий дистанционного обучения.

Термин дистанционное образование (ДО) означает такую организацию учебного процесса, при которой преподаватель разрабатывает учебную программу, главным образом базирующуюся на самостоятельном обучении студента. Дистанционное образование позволяет учиться жителям регионов, где нет иных возможностей для профессиональной подготовки или получения качественного высшего образования, нет университета нужного профиля или преподавателей требуемого уровня квалификации.

На сегодняшний день развитие компьютерной техники, возможности использование сетей передачи данных, развитие новых методик построения сложных систем привело к тому, что информатизация и автоматизация любой сферы человеческой деятельности являются залогом прогрессивного развития.

Одним из важнейших направлений развития современных образовательных технологий является разработка систем дистанционного обучения и научных исследований и внедрения на их основе стандартов открытого образования. Необходимо создание системы дистанционного измерения и управления экспериментом (СУДЭ), так как преимуществами настоящего проекта являются возмож-

ность обслуживания одним сервером виртуальной лаборатории большого числа учебных групп факультета, вуза и даже нескольких вузов, находящихся в разных городах, в том числе и студентов, обучающихся удаленно.

При создании СДУЭ уникальной установкой на первом его этапе необходимым условием является ее локальная автоматизация, то есть создание автоматизированной информационно-измерительной и управляющей системы для установки, стенда или лабораторного макета. На втором этапе локальная автоматизированная система установки сопрягается с сетевыми и телекоммуникационными ресурсами (локальные, мобильные, глобальные сети), обеспечивающими дистанционный доступ к установке исследователю или студенту.

Основными компонентами системы являются:

- удаленные пользователи;
- главный сервер;
- дистанционные автоматизированные учебные лаборатории (ДАУЛ);
- вычислительные центры и компьютерные классы ВУЗа.

Основу дистанционной лаборатории составляет лабораторный сервер, подключение лабораторных установок к которому осуществляется посредством устройств ввода-вывода, устанавливаемых либо на его системных шинах, либо подключаемых посредством соответствующих портов (COM, USB). [1]

Но необходимо сначала определиться с платформой создания СДУЭ. На основе анализа существующих

ющих бесплатных платформ мной были выделены следующие: ATutor, Claroline, Dokeos, LAMS, Moodle, OLAT, OpenACS, Sakai. Основными критериями отбора были выбраны степень поддержки системы и многоязыковое сопровождение.

ATutor представляет собой свободно распространяемую web-ориентированную систему управления учебным контентом, разработанную с учетом идей доступности и адаптируемости. Администраторы могут обновить или установить Atutor за несколько минут, разработать собственные шаблоны оформления системы. Преподаватели могут быстро собирать, структурировать содержание учебного материала для проведения занятий on-line. Обучаемые работают с гибкой, адаптивной средой обучения.

Claroline (Classroom Online) — платформа построения сайтов дистанционного обучения, созданная с учетом пожеланий преподавателей. Приложение было создано в институте педагогики и мультимедиа католического университета в Лувене. Продукт бесплатен и доступен. Она может принять до 20000 учащихся. Claroline позволяет создавать уроки, редактировать их содержимое, управлять ими. Приложение включает генератор викторин, форумы, календарь, функцию разграничения доступа к документам, каталог ссылок, систему контроля за успехами обучаемого, модуль авторизации.

Dokeos — платформа построения сайтов дистанционного обучения, основанная на ветке (fork) Claroline (версии 1.4.2.). Ветка представляет собой клон свободно распространяемого программного продукта, созданный с целью изменить приложение-оригинал в том или ином направлении.

Dokeos — результат работы некоторых членов первоначальной команды разработчиков Claroline, которые задумали: изменить ориентацию приложения. Теперь оно подойдет скорее организациям, чем университетам. Дело в том, что Claroline прекрасно адаптирована для университетской среды, что выражается в поддержке большого количества учеников и курсов. Dokeos, как нам кажется, больше ориентирован на профессиональную клиентуру, например, на персонал предприятия.

Dokeos бесплатен и останется таковым, поскольку лицензия Claroline (GNU/GPL) предполагает, что ветки подпадают под ту же лицензию. Поскольку ветка была выделена недавно, оба приложения сейчас относительно похожи друг на друга, хотя некоторые различия в эргономике, построении интерфейса, функционале уже начинают проявляться.

LAMS. Спецификация IMS Learning Design была подготовлена в 2003 году. В ее основу положены результаты работы Открытого университета Нидерландов (Open University of the Netherlands — OUNL) по языку образовательного моделирования «Educational Modelling Language» (EML), при помощи которого описывается «метамодель» разработки учебного процесса.

На основе данной спецификации была создана «Система управления последовательностью учебных дей-

ствий» Learning Activity Management System (LAMS). LAMS предоставляет преподавателям визуальные средства для разработки структуры учебного процесса, позволяющие задавать последовательность видов учебной деятельности.

LAMS представляет собой революционно новое приложение для создания и управления электронными образовательными ресурсами. Она предоставляет преподавателю интуитивно понятный интерфейс для создания образовательного контента, который может включать в себя различные индивидуальные задания, задания для групповой работы и фронтальную работу с группой обучаемых.

OLAT. Разработка системы началась еще в 1999 году в University of Zurich, Switzerland, где она является основной образовательной платформой электронного обучения.

OpenACS (Open Architecture Community System) это система для разработки масштабируемых, переносимых образовательных ресурсов. Она является основой для многих компаний и университетов, занимающихся использованием технологий электронного обучения.

Sakai представляет собой онлайн систему организации учебного образовательного пространства. Sakai является системой с полностью открытым исходным кодом, которая поддерживается сообществом разработчиков. В систему интегрирована поддержка стандартов и спецификаций IMS Common Cartridge, SCORM.

Moodle (Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment). Moodle — это среда дистанционного обучения, предназначенная для создания качественных дистанционных курсов. Этот программный продукт используется более чем в 100 странах мира университетами, школами, компаниями и независимыми преподавателями. По своим возможностям Moodle выдерживает сравнение с известными коммерческими системами управления учебным процессом, в то же время выгодно отличается от них тем, что распространяется в открытых исходных кодах — это дает возможность «заточить» ее под особенности каждого образовательного проекта, дополнить новыми сервисами.

Преимущества Moodle:

- распространяется в открытом исходном коде — возможность «заточки» под особенности конкретного образовательного проекта, разработки дополнительных модулей, интеграции с другими системами;
- Ориентирована на коллаборативные технологии обучения — позволяет организовать обучение в активной форме, в процессе совместного решения учебных задач, обмена знаниями;
- широкие возможности для коммуникации: обмен файлами любых форматов, рассылка, форум, чат, возможность рецензировать работы обучающихся, внутренняя почта и др.
- возможность использовать любую систему оценивания (балльную, словесную)

- полная информация о работе обучающихся (активность, время и содержание учебной работы, портфолио)
- соответствует разработанным стандартам и предоставляет возможность вносить изменения без тотального перепрограммирования;
- программные интерфейсы обеспечивают возможность работы людям разного образовательного уровня, разных физических возможностей (включая инвалидов), разных культур;

В системе Moodle существует 3 типа форматов курсов: форум, структура (учебные модули без привязки к календарю), календарь (учебные модули с привязкой к календарю). Курс может содержать произвольное количество ресурсов (веб-страницы, книги, ссылки на файлы, каталоги) и произвольное количество интерактивных элементов курса.

К таким элементам относятся:

- Wiki, который позволяет создавать документ несколькими людьми сразу с помощью простого языка разметки прямо в окне браузера, то есть с его помощью учащиеся могут работать вместе, добавляя, расширяя и изменяя содержимое. Предыдущие версии документа не удаляются и могут быть в любой момент восстановлены.
- Анкеты. Этот элемент предоставляет несколько способов обследования, которые могут быть полезны при оценивании и стимулировании обучения в дистанционных курсах.
- Глоссарий. С помощью него создается основной словарь понятий, используемых программой, а также словарь основных терминов каждой лекции.
- Задания позволяют преподавателю ставить задачу, которая требует от учащихся подготовить ответ в электронном виде (в любом формате) и загрузить его на сервер.
- Опрос. Одно из его применений — проводить голосование среди учеников. Это может быть полезным в качестве быстрого опроса, чтобы стимулировать мышление или найти общее мнение в процессе исследования проблемы.
- Пояснение. Этот элемент позволяет помещать текст и графику на главную страницу курса. С помощью такой надписи можно пояснить назначение какой-либо темы, недели или используемого инструмента.
- Тесты. Этот элемент позволяет учителю создать набор тестовых вопросов. Вопросы могут быть в за-

крытой форме (множественный выбор), с выбором верно/не верно, на соответствие, предполагать короткий текстовый ответ, а также числовой или вычисляемый. Все вопросы хранятся в базе данных и могут быть впоследствии использованы снова в этом же курсе (или в других).

- Урок (лекция) преподносит учебный материал в интересной и гибкой форме. Он состоит из набора страниц. Каждая страница обычно заканчивается вопросом, на который учащийся должен ответить. В зависимости от правильности ответа учащийся переходит на следующую страницу или возвращается на предыдущую.

Варьируя сочетания различных элементов курса, преподаватель организует изучение материала таким образом, чтобы формы обучения соответствовали целям и задачам конкретных занятий.

Практически во всех ресурсах и элементах курса в качестве полей ввода используется удобный и интуитивно понятный WYSIWYG HTML редактор, кроме того, существует возможность ввода формул в формате TeX или Algebra. С помощью фильтров системы на всех страницах курса осуществляется автоматическое создание ссылок на существующие ресурсы и записи глоссариев.

Для всех элементов курса возможно оценивание, в том числе по произвольным, созданным преподавателем, шкалам. Все оценки могут быть просмотрены на странице оценок курса, которая имеет множество настроек по виду отображения и группировки оценок. Для курса существует удобная страница просмотра последних изменений в курсе, где за выбранный промежуток времени преподаватель может увидеть новых зачисленных студентов, новые сообщения в форумах, законченные попытки прохождения тестов и других элементов курса.

Кроме того, на странице блогов можно детально посмотреть, какие действия выполнялись в курсе различными участниками. В Moodle активно используется e-mail-рассылки копий сообщений с форумов, отзывов учителей, есть возможность отправки e-mail сообщений произвольной группе участников курса.

Web-сайт Moodle бесплатно оказывает пользователям платформы качественную поддержку. Этому способствует многочисленное российское сообщество пользователей данной системы.

Литература:

1. Современные информационные технологии в создании виртуальной информационно-образовательной среды удаленного доступа в инженерной подготовке и научной деятельности [Электронный ресурс] — [2013]. — Режим доступа: <http://www.ict.edu.ru/vconf/files/8257.doc>
2. Обзор бесплатных систем управления обучением [Электронный ресурс] — [2013]. — Режим доступа: <http://www.e-college.ru/elearning/analytics/a0002/>



## Способ рихтовки неразрезных подкрановых балок

Нежданов Кирилл Константинович, доктор технических наук, профессор;

Кузьмишкин Алексей Александрович, кандидат технических наук, доцент, директор института инженерной экологии;

Гарькин Игорь Николаевич, аспирант

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

В связи с наращиванием темпов промышленного производства, в настоящее время остро стоит вопрос о создании различных способов и устройств для повышения долговечности подкрановых балок. В Пензенском государственном университете архитектуры и строительства решением этих вопросов занимается профессор Нежданов К.К. Среди работ можно отметить [1], [2], [3], [4].

Управление неравномерными осадками зданий, а также восстановление их первоначального проектного положения и несущей способности является, в настоящее время, существенными проблемами особенно при эксплуатации промышленных зданий. Это связано с тем, что неравномерные осадки самым неблагоприятным образом сказываются на эксплуатации подкрановых путей, особенно с неразрезными подкрановыми балками.

Особенно данные проблемы актуальны для промышленных зданий в связи с особыми условиями эксплуатации (повышенные динамические нагрузки, агрессивные среды и т.д.) и общего износа фонда зданий и сооружений предназначенных для нужд промышленности. Вследствие неравномерных осадок, в раме может возникнуть неблагоприятное напряженное состояние, которое приводит к потере устойчивости и прочности, и способствует появлению аварийных ситуаций на производстве. Важно создать такие конструкции, в которых возможна была бы регулировка напряженного состояния.

С помощью описанного ниже способа можно управлять и устранять неравномерные осадки здания, и производить рихтовку неразрезных подкрановых балок. Задача по реализации способа управления перемещениями, осадками и креном сооружения фундаментами на сваях, объединёнными ростверком, жёстко соединёнными с колонной, реализуют следующим образом.

Ветви колонны, выполненные из овальных в сечение труб, закрепляют на независимых друг от друга ростверках ветвей, объединяющих сваи под ними. Устанавливают по шаблону пространственные арматурные каркасы и опалубку ростверка-стопора, объединяющего сваи под ним, и являющегося макрорегулятором, и бетонируют его. Причём верхняя поверхность его выступает выше поверхности пола на 600...700 мм.

Устанавливают на ростверк-стопор по вертикальной оси колонны столбики-стопоры, устанавливают по шаблону пространственные арматурные каркасы и анкерные болты, закреплённые на них, и опалубку ростверков ветвей, причём верхняя поверхность их совпадает с поверхностью пола.

Контролируют правильность установки анкерных болтов, навинчивают на анкерные болты нижние рихтующие гайки, контролируют отметку их верхней грани нивелиром, безвыверочно монтируют колонну, совмещая отверстия в её базе с анкерными болтами. Опускают колонну до упора её плиты в рихтующие гайки и закрепляют базу колонны крепёжными гайками.

В случае возникновения неравномерных осадок колонн, определяют нивелировкой величину осадки и крена каждой колонны, устанавливают сверхнормативные отклонения осадок отдельных колонн, составляют таблицу величин необходимой стимуляции осадок колонн, получивших минимальную осадку и исказивших прямолинейность рельсовых путей кранов и их проектных отметок, и вызвавших неблагоприятные напряжения в каркасе здания.

Для выравнивания осадок всех колонн, монтируют домкратную балку, соединяющую ветви, устанавливают на ростверк-стопор, домкраты-пульсаторы под домкратной балкой, производят вдавливание ростверка-стопора на проектную величину  $\Delta S_{\text{доп}}$ , соответствующую необходимой дополнительной осадке этой колонны; контролируемую по нивелиру, вместе с соединёнными с ним сваями в грунтовое основание.

Разгружают домкраты-пульсаторы, и этим полностью разгружают ростверк-стопор, передают всю вертикальную сжимающую силу от колонны только на ростверки ветвей колонны. Этим вызывают их автоматическую дополнительную осадку и колонны на величину  $\Delta S_{\text{доп}}$  до упора домкратной балки в столбики-стопоры и автоматического стопорения и остановки осадок при достижении колонной проектной отметки, затем циклы повторяют с другими колоннами.

На рис. 1 показан один из фундаментов на сваях, являющийся макрорегулятором для сооружения; на рис. 2 показан вид А-А на рис. 1; на рис. 3 показан вид Б-Б на рис. 1.

Колонна 1 закреплена на независимых друг от друга ростверках, соединяющих сваи, являющихся макрорегуляторами.

Колонна 1 содержит левую 2 и правую 3 ветви, соединённые друг с другом домкратной балкой 4. Каждая из ветвей снабжена опорными таврами 5. Опорные тавры 5 соединены с ветвями сваркой. Контактующие поверхности опорных тавров 5 фрезерованы и опираются на фрезерованные поверхности фланцевых гаек 7. Фланцевые гайки навертываются на анкерные болты из трубчатой арматуры 8. Трубчатая арматура 8 с винтовыми гребнями снабжена петлевыми анкерами 9. Сваи 10 ветвей колонны 1 объединяют ростверки ветвей 11.

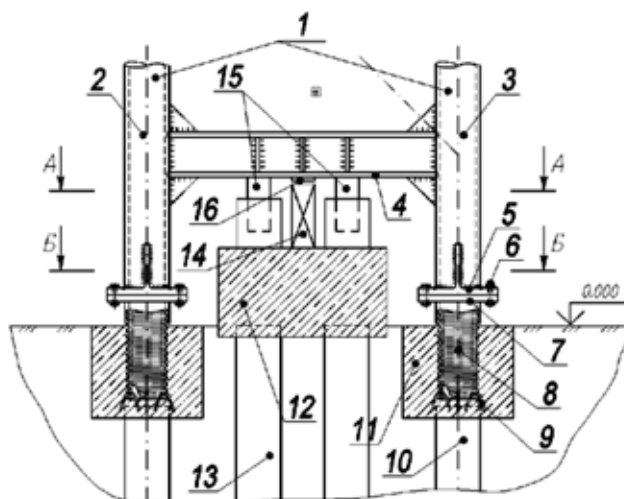


Рис. 1.

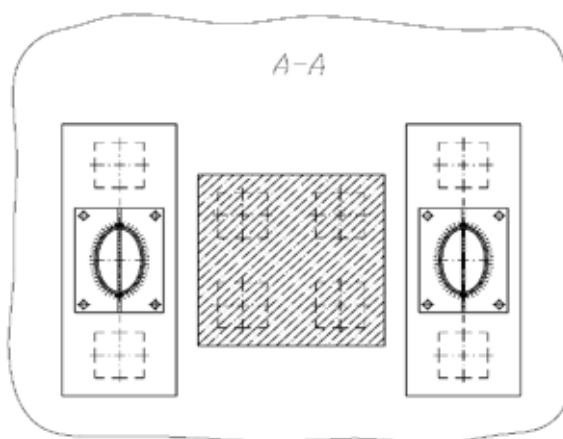


Рис. 2.

На сваях под колонну 1 устанавливают по шаблону опалубку и пространственные арматурные каркасы ростверков 11 ветвей, объединяющих сваи 10 под ними. Ростверк-стопор 12 объединяет сваи 13 под ним. Причём верхняя поверхность ростверка-стопора выше поверхности пола на 600...700 мм. Ростверк-стопор 12 является макрорегулятором.

Устанавливают на ростверк-стопор по вертикальной оси колонны столбики-стопоры 14, являющиеся стопорами осадок.

Анкерные болты 8 сделаны из арматуры периодического профиля, с винтовыми гребнями [7]. Винтовые гребни обеспечивают, как и у стержневой арматуры периодического профиля [8], хорошее сцепление с бетоном. Расположение гребней по винтовой линии правой или левой позволяет выполнять стыки такой арматуры без трудоёмкого процесса сварки. Особенно эффективна арматура периодического профиля с гребнями по винтовой линии для анкерных болтов.

Сваи 10 объединены ростверками ветвей под каждой из ветвей колонн.

Анкерные болты 8 замоноличены в ростверках ветвей

11 точно по шаблону с контролем установки, например, лазерным нивелиром.

Контролируют правильность установки анкерных болтов 8, навинчивают на анкерные болты верхние 7 фланцевые рихтующие гайки. Контролируют отметку их верхней грани лазерным нивелиром, безвыверочно монтируют колонну 1, совмещая отверстия в её базе с анкерными болтами 8, опускают колонну 1 до упора её опорных тавров 5 в рихтующие гайки, закрепляют базу колонны крепёжными болтами 6.

В случае возникновения неравномерных осадок колонн, определяют нивелировкой величину осадок и крена каждой колонны. Устанавливают сверхнормативные отклонения осадок отдельных колонн, составляют таблицу величин необходимых дополнительных осадок отдельных колонн.

Отставание осадок колонн 1, получивших минимальную осадку, исказило прямолинейность рельсовых путей кранов и проектные отметки их. Неравномерные осадки вызвали неблагоприятные напряжения в каркасе здания. Для выравнивания осадок всех колонн, необходимо стимулировать осадку колонн 1, получивших мини-

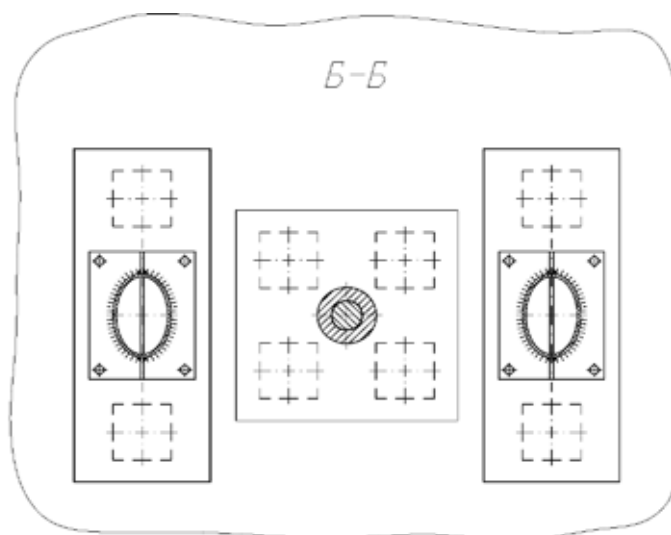


Рис. 3.

мальную осадку. Для этого ветви колонны соединяют домкратной балкой.

Устанавливают на ростверк-стопор 12, являющийся макрорегулятором, домкраты-пульсаторы 15 по центру или с эксцентриситетом. Производят вдавливание ростверка-стопора 12 на проектную величину  $\Delta S_{\text{доп}}$ , соответствующую необходимой дополнительной осадке этой колонны; контролируемую по лазерному нивелиру, вместе с соединёнными с ним сваями 13.

Разгружают домкраты-пульсаторы 15, и этим полностью разгружают ростверк-стопор 12 и передают всю вертикальную сжимающую силу только на ростверки 11 ветвей колонны. Этим вызывают их автоматическую дополнительную осадку и колонны 1 на величину  $\Delta S_{\text{доп}}$  до упора домкратной балки в столбики-стопоры 14 и автоматического стопорения и остановки осадки при достижении колонной проектной отметки. Затем циклы повторяют с другими колоннами.

После запланированного вдавливания ростверка-стопора на величину  $\Delta S_{\text{доп}}$  над столбиками-стопорами появляются зазоры  $\Delta S_{\text{доп}}$ , равные по величине требуемой дополнительной осадке колонн. После разгрузки домкратов-пульсаторов ростверк-стопор также разгружается от сил, передаваемых от каркаса сооружения. Силы передают только на ростверки ветвей и на сваи под ними. Происходит увеличение сил на ростверки ветвей колонны в 2...2,5 раза, а, следовательно, и на сваи под ними. Такое увеличение сил на сваи вызывает их автоматическую дополнительную осадку на запланированную величину по отношению к нулевой отметке сооружения. Дополнительная осадка на величину  $\Delta S_{\text{доп}}$  происходит не мгновенно, а постепенно в течение нескольких дней.

Осадка свай продолжается до полного закрытия зазора  $\Delta S_{\text{доп}}$  и упора домкратной балки в столбики-стопоры, и включения в работу ростверка-стопора, выполняющего функции макрорегулятора, и свай под ним.

После закрытия зазора осадка автоматически стопорится, так как ростверки и сваи 10 под ними, разгружаются на 40...50 %, поэтому их осадка автоматически стопорится.

Цель достигнута, и неравномерные осадки всех фундаментов выровнены. Вредные избыточные напряжения, вызванные в каркасе и конструкциях здания, полностью устранены и восстановлена нормальная надёжная эксплуатация здания. Новый свайный фундамент под колонну выполнил функции макрорегулятора и устранил избыточные напряжения в каркасе здания и его узлах.

Сопоставление нового способа управления перемещениями, осадками и креном сооружения фундаментами на сваях, являющимися макрорегуляторами, с прототипом показывает следующие существенные отличия, а именно:

- ростверк состоит из трёх не соединённых друг с другом участков: двух ростверков ветвей, и ростверка-стопора, объединяющих сваи под ним по центру;
- каждый из ростверка имеет осадку, независимую от других ростверков;
- выравнивание осадок фундаментов и колонн выполняют или посредством сообщения, мало осевшим сваям, дополнительных осадок  $\Delta S_{\text{доп}}$ , или посредством поддомкрачивания избыточно осевших колонн;
- осадку автоматически стопорят ростверком-стопором закрытием зазора.

Экономический эффект возник из-за следующего:

- устранена возможность обрушения здания;
- свайный фундамент является макрорегулятором, управляющим напряжённым состоянием каркаса здания, а, следовательно, он позволяет оптимизировать напряжённое состояние каркаса сооружения и этим уменьшить его материалоемкость.

На данный метод получен патент РФ [9], в настоящее время ведутся работы по внедрению данного метода в производство.

Литература:

1. Нежданов К.К., Кузьмишкин А.А., Гарькин И.Н. Трёхглавый рельсовый блок для подкрановых балок // Региональная архитектура и строительство — Пенза: ПГУАС. — № 1.2012 — с. 66—68.
2. Нежданов К.К., Нежданов А.К., Гарькин И.Н. Экстремальное повышение моментов инерции рельсов при кручении // Строительная механика и расчёт сооружений. Москва ЦНИСК им.Курчереико, № 6—2011
3. Нежданов К.К., Гарькин И.Н. Способ проката двутаврового профиля из низколегированной стали// Строительная механика и расчёт сооружений.: -2011 № 4 Москва ЦНИСК им.Курчереико
4. Нежданов К.К., Гарькин И.Н., Мостовой кран, исключаяющий возникновение усталостных трещин в подкрановых балках [Текст]: XI Неделя науки СПбГПУ: матер.международ.науч.-практ.Конф.Ч. IV. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. — 300 с., с. 253—255
5. Кудзис А.П. Железобетонные и каменные конструкции: Учеб. для строит. спец. вузов. Ч.2. Конструкции промышленных и гражданских зданий и сооружений. — М.: Высшая шк.,1989. — 264 с.: ил.
6. Маслов Н.Н. Основы механики грунтов и инженерной геологии. Высшая школа. — М.1968—630 с.
7. Нежданов К.К., Нежданов А.К., Кострыкин П.А., Туманов В.А. Способ управления осадками осевшего фундамента. Патент России № 2230157 Бюл.№ 16. 10.06.2004.
8. Нежданов К.К., Туманов В.А., Нежданов А.К., Кострыкин П.А. Узел соединения двухветвевой внецентренно нагруженной колонны и способ восстановления проектной отметки фундамента. Патентный документ Ru.2002 119942, 28.07.2002.
9. Нежданов К.К., Нежданов А.К., Каледин К.И. Способ управления перемещениями, осадками и креном сооружения фундаментами на сваях, являющимися макрорегуляторами Патент России 2416696 Бюл.№ 11 20.4.2011

## Повышение долговечности неразрезных подкрановых балок: способ снижения локальных напряжений

Нежданов Кирилл Константинович, доктор технических наук, профессор;

Кузьмишкин Алексей Александрович, кандидат технических наук, доцент, директор института инженерной экологии;

Гарькин Игорь Николаевич, аспирант

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Одна из актуальных проблем по увеличению выносливости и долговечности подкрановых балок, является разработка устройств уменьшающим максимумы локальных напряжений  $\sigma_y$ , приводящих к появлению усталостных трещин в подрельсовой зоне подкрановой балки.

В настоящей статье предлагается способ модернизации стандартного рельса для повышению выносливости и ресурса подкрановых балок.

В 30-х годах прошлого века в строительных конструкциях, происходило массовое внедрение сварных соединений без оценки ресурса соединений. В настоящее время ресурс соединений легко оценить, используя исследования М.М. Гохберга. В справочнике по кранам [1] приведены расчётные эффективные коэффициенты концентрации напряжений  $K_{эф}$ .

Чем больше этот коэффициент — тем ниже ресурс соединения. Для клёпаного соединения  $K_{эф}=1,6$ , Для сварного соединения  $K_{эф}=4,0$  [1]. Оценим уменьшение ресурса  $4,0/1,6 = 2,5$ . Ресурс сварного соединения ниже в два с половиной раза.

Следовательно, при массовом внедрении сварки и замене клёпаных подкрановых балок сварными подкра-

новыми балками в 30-х годах XX века, была допущена техническая ошибка — высококачественные клёпаные соединения в подкрановых балках были заменены низкокачественными сварными соединениями.

Поэтому в цехах чёрной и цветной металлургии с тяжёлым интенсивным режимом работы кранов (8К...7К) ресурс подрельсовых зон подкрановых балок недостаточен, балки недолговечны и быстро выходят из строя из-за возникновения и развития усталостных трещин. Данная проблема рассмотрена в работах [2], [3], [4].

Замена подкрановых балок приводит к вынужденной остановке цеха, что нарушает непрерывный технологический процесс выплавки стали и приносит большие убытки.

В настоящее время была разработана металлическая подкрановая балка, профессором К.К. Неждановым с аспирантами, патент RU № 2095527 [5]. В этом техническом решении верхний пояс выполнен гнутым, симметричным U-образным. Верхний пояс содержит отбортованные горизонтальные краевые участки, переходящие по кривой в участки, наклонные к краевым участкам. Элементы соединены друг с другом криволинейным участком по линии симметрии балки. Рельс снабжен U-образным амортизатором, размещённым в U-образном верхнем поясе, взаи-

действующим и соединённым верхними краями с подошвой рельса.

Подошва рельса западает в U-образный пояс на 0,5–0,75 его высоты и взаимодействует с ним боковыми кромками, а шейка рельса соединена фрикционными болтами посредством U-образных симметричных относительно неё накладок. Выемка в верхнем поясе заполнена низко модульным материалом, гасящим динамику воздействий колёс кранов. В качестве низко модульного материала используется чугунная дробь.

Недостаток описанного выше — возможность истирания чугунной дроби и её перемещения в выемке верхнего пояса. Однако следует отметить, базальт имеет свойства близкие к чугуну. Модуль упругости у базальта более чем в два раза ниже, чем у стали, что составляет 40...48 % [7]. Поэтому базальт следует использовать как амортизатор, гасящий динамику воздействий колёс кранов.

Кроме того, базальт отлично сопротивляется коррозии, а на смятие работает не хуже малоуглеродистой стали [6]. К тому же, технология изготовления литья из базальта отработана и совершенна. Следует отметить, что верхний пояс подкрановой балки при её изгибе находится в сжатой зоне, а расчётное сопротивление базальта при сжатии такое же как у малоуглеродистой стали [6].

Динамика же воздействий колёс мостовых кранов в цехах чёрной и цветной металлургии с тяжёлым интенсивным режимом работы кранов (8К...7К) достигает максимальной величины  $K_{дин} = 1,6$  [1].

Стоит отметить, что авторами уже были разработаны ряд устройств и способов для уменьшения воздействия динамики колёс, создание различных специальных устройств для возникновения амортизирующего эффекта [8], [9], [10], [11].

Ликвидация возможности возникновения усталостных трещин в подрельсовой зоне стенки подкрановой балки, повышение её выносливости и повышение технологичности изготовления подкрановой балки можно достигнуть повышением моментов инерции и моментов сопротивления стандартного рельса, и снабжение его амортизирующими свойствами.

Способ заключается в том, что крановый рельс снабжают подрельсовой подкладкой, например, из швеллера, ориентируют швеллер полками вверх, по шаблону на точной линии в проектных точках групповым способом продавливают отверстия в стенке швеллера и развёртывают их на проектный диаметр.

Изготавливают трубчатые втулки такой же высоты, как полка швеллера и образуют фаску на нижнем конце каждой втулки, соответствующую диаметру отверстия, прикрепляют к каждой втулке упор для фиксации рельса, впредсвивают втулки в отверстия, ориентируя упоры вовнутрь к рельсу, и затыкают отверстия во втулках.

Монтируют сверху упомянутый рельс, опирая его подошву на упоры втулок, выполняют преграды по торцам подрельсовой подкладки, заливают в подрельсовую подкладку жидкий базальт и после кристаллизации базальт

получают единый сталебазальтовый амортизирующий рельс, вплавленный в базальт.

Механизировано фрезеруют торцы сталебазальтового амортизирующего рельса, по шаблону прочищают, развёртывают и калибруют отверстия во втулках вплавленных в сталебазальтовый амортизирующий рельс и отправляют готовые амортизирующие рельсы для монтажа на подкрановых балках.

Сталебазальтовый амортизирующий рельс содержит стандартный (крановый или железнодорожный) рельс. Рельс снабжают подрельсовой подкладкой, из швеллера, ориентируют швеллер полками вверх. По шаблону на точной линии в проектных точках групповым способом продавливают отверстия в стенке швеллера (подрельсовой подкладки) и развёртывают их на проектный диаметр.

Изготавливают трубчатые втулки такой же высоты, как полка швеллера и образуют фаску на нижнем конце каждой втулки, соответствующую диаметру отверстия, прикрепляют к каждой втулке упор для фиксации рельса по продольной оси соосно со швеллером.

Впрессовывают втулки в отверстия, ориентируя упоры фиксатора вовнутрь к рельсу, и затыкают отверстия в трубчатых втулках. Монтируют сверху упомянутый рельс точно в проектное положение соосно со швеллером, опирая его подошву на упоры втулок, выполняют преграды (не показано), по торцам подрельсовой подкладки, ориентированной стенкой горизонтально и заливают в подрельсовую подкладку жидкий базальт.

После кристаллизации базальта получают единый сталебазальтовый амортизирующий рельс, вплавленный в базальт. Механизировано фрезеруют торцы сталебазальтового амортизирующего рельса, по шаблону прочищают, развёртывают и калибруют отверстия во втулках в сталебазальтовом амортизирующем рельсе и отправляют готовые рельсы для монтажа на подкрановых балках 6.

Конструкция составного, амортизирующего сталебазальтового рельса является единым целым. Моменты инерции его при изгибе  $J_x$  и кручении  $J_{кр}$  определяются как составного сечения. Их величина повышается по сравнению со стандартным рельсом в несколько раз!

Слой базальта фиксирует рельс, амортизирует и уменьшает локальные воздействия вертикальных сил  $P$ , горизонтальных сил  $T$ , и крутящих моментов  $M_{кр}$  от катящихся колёс кранов. Рельс надёжно зафиксирован в поперечном направлении без эксцентриситета и монтируется как единое целое вместе с подкрановой балкой безвыверочным способом. Рихтовку рельсовых путей осуществляют на уступах колонн механизировано.

Локальные воздействия вертикальных сил  $P$ , горизонтальных сил  $T$ , и крутящих моментов  $M_{кр}$  от катящихся колёс кранов распределяются сталебазальтовым амортизирующим рельсом на значительную длину подкрановых балок. Локальные напряжения [7] также распределены на большую длину подкрановых балок и за счёт этого экстремумы локальных напряжений снижены в два



и более раз. Данный слой амортизирует и гасит динамику воздействий колёс кранов. Более тяжёлый рельс I может быть заменен более лёгким и получена соответствующая экономия материала.

Сопоставление показывает, что способ повышения моментов инерции и моментов сопротивления стандартного рельса, и снабжение его амортизирующими свойствами достигнуто.

Эффект возникает вследствие:

1. Рельс вплавлен в амортизирующий слой базальта и объединён с ним в единый монолитный сталебазальтовый амортизирующий рельс.

2. Рельс надёжно зафиксирован в амортизирующем слое базальта, как в поперечном, так и в вертикальном направлениях.

3. Амортизирующий слой, сплавленный с подошвой рельса увеличивает моменты инерции рельса при изгибе  $J_x$  и кручении  $J_{кр}$  в несколько раз и распределяет локальные воздействия на большую длину подкрановых балок.

4. Рельс установлен без эксцентриситета, что значительно уменьшает локальный крутящий момент  $M_{кр}$  и со-

ответственно повышается выносливость подрельсовой зоны.

5. Предложенная конструкция разрабатывалась исходя из принципа равновыносливости, поэтому соединения технологичны, быстроразъёмны и выполнены высокоресурсными шпильками или болтами, удобными при монтаже (легированные болты из стали «40Х Селект» с термообработкой). Такие соединения обеспечивают минимальную концентрацию напряжений [1].

6. Технологический процесс изготовления монолитного сталебазальтового амортизирующего рельса автоматизирован. Его осуществляют на поточной линии. Трудоёмкость изготовления значительно снижена.

Таким образом, использование способа позволит качественно изменить сопротивляемость подрельсовой зоны стенки подкрановой балки циклическим воздействиям колёс кранов, переводя её работу из области ограниченной в область так называемой «неограниченной выносливости».

В настоящее время на описанное в статье устройство подана заявка на изобретение.

#### Литература:

1. Справочник по кранам. Т.1 / Под ред. М.М. Гохберга. — М.:Машиностроение, 1988, — 536 с.
2. Кузьмишкин А.А. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук Выносливость металлических подкрановых конструкций при тяжелом режиме циклических нагружений. — Пенза, 2006. — 187 с.
3. Кузьмишкин А.А., Гарькин И.Н., Лепёхина О.С. Снижение динамических воздействий на подкрановые балки изменением конструкции мостовых кранов// Московское научное обозрение № 4 (Апрель) 2012, с. 8–11.
4. Кузьмишкин А.А., Гарькин И.Н. Узел упругого соединения трехглавого рельса с подкрановой балкой// Московское научное обозрение № 4 (Апрель) 2012, с. 12–14.
5. Нежданов К.К., Нежданов А.К. Металлическая подкрановая конструкция. Патент России № 2095527. Бюл. № 31 зарег. 10.11.1997.
6. Стальные конструкции [Текст]: СНИП П-23–81\*. — М., 1988–96 с.
7. Нежданов К.К. Снижение локальных напряжений в подкрановой балке гофрированием стенки II Строительная механика и расчёт сооружений. — 1989-N4-C.9–11.
8. Нежданов К.К., Кузьмишкин А.А., Гарькин И.Н. Подкрановые балки: перспективные разработки// Инновационные технологии в производстве, науке и образовании. сб. трудов II-ой междунар. науч.-практ. конф. Часть 2. — Махачкала, 2012 с. 274–281.
9. Нежданов К.К., Кузьмишкин А.А., Гарькин И.Н. Применение толстостенных двутавровых крановых рельсов // Региональная архитектура и строительства, № 3 (14), 2012. с. 79–85.
10. Гарькин И.Н. Повышение долговечности и эксплуатационных свойств подкрановых балок// Всеросс. конк. науч.-исслед. работ студентов и аспирантов в области технических наук: мат. работ победителей и лауреатов конкурса. -СПб.:Изд.-во Политех.ун-та, 2012.-394 с.с. 149–150.
11. Гарькина И.А., Данилов А.М., Гарькин И.Н. Защита от удара и сопровождающей вибрации: экспоненциально-тригонометрическая аппроксимация функций// Региональная архитектура и строительства, № 3 (14), 2012. с. 85–89.



## Модифицированный аппарат вложенных гибридных сетей Петри

Немеш Дмитрий Андреевич, магистрант  
Волгоградский государственный технический университет

В данной статье предлагается модернизировать существующие аппараты гибридных сетей Петри и вложенных сетей Петри с целью получения формализма сетей Петри, направленного на исследование технологических процессов произвольной структуры. Новый аппарат получается путем частичного объединения и расширения формализмов сетей Петри.

В общем случае вложенную гибридную сеть Петри можно определить следующим образом:

$NHPN = \{Atom, Lab, SN (HPN), (EN_1, \dots, EN_k), \Lambda\}$ ,  
рассмотрим составляющие этого множества.

1)  $Atom = Var \cup Con$  – множество атомов, состоящее из множеств  $Var = \{v, \dots\}$  имен переменных (позиций) и  $Con = Con_{atom} \cup Con_{net} \{c, \dots\}$  имен констант или фишек (состоящее, в свою очередь, из множеств  $Con_{atom}$  атомарных и  $Con_{net}$  сетевых констант). Константы из  $Con_{net}$  интерпретируются как маркированные обыкновенные сети Петри (сетевые фишки). А константы из  $Con_{atom}$  – как индивидуальные фишки, не имеющие собственной структуры (атомарные фишки).

2)  $Lab = Lab_v \cup Lab_h$  – множество меток. Где  $Lab_v = \{l_1, l_2, \dots\}$  и  $Lab_h = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots\}$  – два непересекающихся множества меток. Элементы множества  $Lab_v$  используются для вертикальной синхронизации переходов, а элементы  $Lab_h$  – для горизонтальной синхронизации.

3)  $SN (HPN)$  – системная сеть в составе вложенной гибридной сети Петри (ВГСП), представляющая собой гибридную сеть Петри (ГСП):  $HPN = (P, T, Pre, Post, D, C)$ .

$P = P_d \cup P_c$  – множество позиций сети, объединяющее множества дискретных позиций  $P_d$  и непрерывных позиций  $P_c$ . Непрерывные позиции содержат только метки, отражающие уровень сигнала в текущий момент времени в данной позиции. Дискретные позиции могут содержать одновременно метки двух типов: обыкновенные (атомарные) и сетевые, представленные маркированными обыкновенными сетями Петри.

$T = T_d \cup T_c \cup T_k \cup T_e$  – множество переходов, объединяющее множества дискретных  $T_d$  и непрерывных  $T_c$  переходов, расширенное за счет множеств переходов квантования  $T_k$  и экстраполяции  $T_e$ . Для каждого типа переходов определены характеризующие их параметры: временные интервалы задержек срабатывания, пропускная способность, периоды квантования и экстраполяции.

$Pre, Post$  – матрицы инцидентности, характеризующие множество дуг, они определяются аналогично матрицам инцидентности ГСП с соблюдением всех необходимых правил и замечаний к ним. В системной части ВГСП, как и в ГСП, не должно существовать дуг, соединяющих непрерывную позицию с дискретным переходом. При этом если существует дуга, соединяющая дискретную позицию с непрерывным переходом, то должна существовать и обратная дуга, образующая в данном месте графа петлю.

Все возможные варианты соединений вершин графа ВГСП приведены ниже на рисунке 1.

Отметим, что для переходов квантования и экстраполяции входными могут быть также обыкновенные дуги, соединяющие их с дискретными и непрерывными пози-

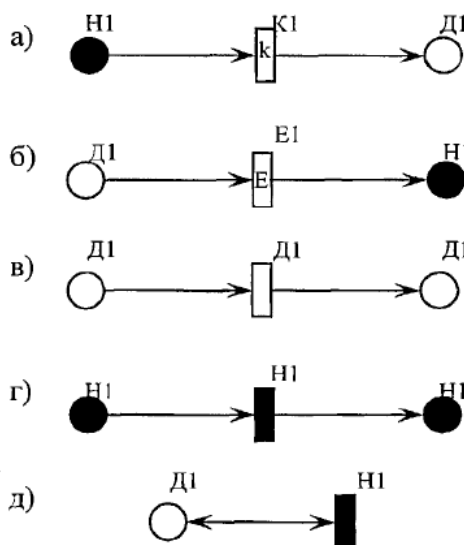


Рис. 1. Возможные варианты соединения вершин графа ВГСП

циями, соответственно, но они не переносят метки через переход и выполняют роль условий срабатывания для перехода.

$D: T_i \rightarrow R^+$  — функция, определяющая интервалы задержки для дискретных временных переходов как некоторый постоянный порог срабатывания.

$C: T_c \rightarrow R_0^+ \times R_\infty^+$  — функция, определяющая пропускную способность для непрерывных переходов ( $R_\infty^+ = R^+ \cup \{\infty\}$ ).

Маркировка сети назначает для каждой дискретной позиции целое число фишек с учетом их потенциала, а для каждой непрерывной позиции — присутствует в ней сигнал или нет.

4)  $(EN_1, \dots, EN_k)$  ( $k \geq 1$ ) — конечный набор обыкновенных сетей Петри. Сети  $EN_1, \dots, EN_k$  представляют собой элементарные сети в составе вложенной гибридной сети Петри NHPN.

5)  $\Lambda$  — функция пометки переходов, помечающая некоторые переходы системной сети метками из  $Lab_v$  и некоторые переходы в элементарных сетях метками из  $Lab_v \cup Lab_n$ .

Отметим, что графически NHPN представляется в виде графа, вершинами которого являются множества позиций  $P = P_d \cup P_c$  и переходов  $T = T_d \cup T_c \cup T_k \cup T_e$  сети. На графе множество дискретных позиций  $P_d$  изображается кружками, множество непрерывных позиций  $P_c$  — закрашенными кружками, множество дискретных временных переходов  $T_d$  изображаются прямоугольниками, множество непрерывных переходов  $T_c$  — закрашенными прямоугольниками, множества переходов квантования  $T_k$  и экстраполяции  $T_e$  — прямоугольниками, помеченными буквами K и E, соответственно.

Введем в предлагаемый аппарат характерное для сетей Петри высокого уровня понятие веса дуг ( $v$ ), что расширит описательные возможности предлагаемого аппарата.

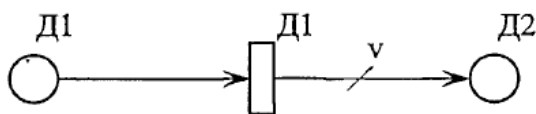


Рис. 2. Вес дуги

Вес дуги может быть приписан как для входящих в переход дуг, так и для исходящих. При этом, вес входящей в переход дуги, может быть только положительным, он показывает, при какой минимальной маркировке входной позиции данный переход сработает. В этом случае из позиции удаляется число фишек равное весу исходящей из позиции дуги. Положительный вес исходящей из перехода дуги показывает, во сколько раз увеличится число проходящих через переход фишек, при добавлении их в выходные позиции перехода. По умолчанию вес дуги равен 1.

Существенным добавлением в аппарат является возможность использования дробных и отрицательных значений для веса исходящей из перехода дуги.

Дробный вес дуги  $v$  позволяет сравнивать маркировку входной для перехода позиции с заранее заданным значением. Допустим, нам необходимо определить момент, когда в позиции Д1 (Д — дискретные) появится 10 фишек (рисунок 2.), тогда определим вес дуги как 0,05. В случае когда маркировка Д1 меньше 10, в позицию Д2 «будет добавляться» 0 фишек, при  $m(Д1)=10$  в позицию Д2 добавится одна фишка (исходя из правил округления десятичных дробей).

При построении различных вычислительных систем (в том числе и при реализации типовых динамических звеньев) требуется находить разность двух величин, в обыкновенных сетях Петри есть возможность находить только сумму двух величин. Отрицательный вес дуги позволяет сформировать отрицательную маркировку в той или иной позиции, при сложении которой с заданной положительной маркировкой другой позиции, получается искомая разность величин.

Кроме того, в аппарат внесено следующее условие: если вес исходящей из перехода дуги меньше 0, то из входящих в переход позиций удаляется и добавляется со знаком минус в выходную позицию все количество фишек, находящихся в ней в данный момент времени. Причем у перехода может быть только одна исходящая дуга с отрицательной величиной веса.

При использовании отрицательного веса дуги следует говорить о модифицированной маркировке, определяющей не количество фишек в позиции, а числовую величину, сформированную в данной позиции сети. Либо о потенциале фишек находящихся в этой позиции, маркировка при этом будет по-прежнему отражать количество фишек в данной позиции. Независимо от трактовки маркировки сети, в этом случае уравнения динамики сети не изменятся.

Кроме введения в аппарат понятия веса дуги предлагается дополнить его понятием ингибиторных дуг. Такая дуга запрещает срабатывание перехода при маркированной ее входной позиции. Использование ингибиторных дуг позволяет существенно расширить описательные возможности аппарата.

Определим в поведении ВГСП следующие четыре типа шагов срабатывания:

1. Системно-автономный шаг — это срабатывание перехода системной сети в соответствии с правилами для ГСП, при этом элементарные сети рассматриваются как фишки, не имеющие собственной структуры. Такой шаг может переместить, породить или убрать объекты, но не может изменить их внутреннее состояние.

2. Элементарно-автономный шаг меняет только внутреннее состояние (маркировку) элементарной сети, не меняя ее местонахождения в системной сети. Этот шаг выполняется в соответствии с обычными правилами срабатывания для переходов сетей Петри.

3. Шаг горизонтальной синхронизации есть одновременное срабатывание двух переходов в двух элементарных сетях, находящихся в одной позиции системной сети (эти

переходы должны быть помечены специальными метками горизонтальной синхронизации).

4. Шаг вертикальной синхронизации используется для синхронизации перехода в системной сети с некоторыми переходами элементарных сетей. Вертикальная синхронизация означает одновременное срабатывание перехода системной сети и переходов (помеченных дополнительной меткой) элементарных сетей, задействованных в этом срабатывании.

Предлагаемый модифицированный аппарат позволяет проводить одновременный анализ непрерывной и дискретной составляющих гибридных систем. С его помощью можно проводить наблюдение за исследуемой системой в целом, а не за отдельными ее частями. Возможность представления отдельных частей системы в виде ВСП позволяет упростить восприятие большой и громоздкой СП,

сделать модель системы более наглядной и понятной для рядового исследователя. Кроме того, с помощью модифицированного аппарата ВСП возможно исследование элементов обслуживания в гибридных системах. Применение механизмов синхронизации между переходами расширяют возможности представления все более усложняющихся и растущих технических систем. Введение понятий веса дуги, расширяющих и запрещающих дуг, делает предлагаемый формализм более выразительным и мощным средством описания различных дискретно-непрерывных систем. Введение в аппарат новых переходов позволяет ввести в сети Петри такое понятие теории управления как обратные связи, а значит, расширяет возможности построения на базе предлагаемого формализма моделей технологических процессов.

#### Литература:

1. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. — М.: Наука, 1978. — 400 с.
2. Давыдов Д.В. Методы и модели анализа сетей АСУ с поддержкой качества обслуживания. — Вологда: ВоГТУ, 2007. — 139 с.
3. Куо Б. Теория и проектирование цифровых систем управления, перевод с английского. — М.: Машиностроение, 1986. — 446 с.
4. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. — М.: Мир, 1984. — 264 с.

## Моделирование типовых динамических звеньев в терминах модифицированного аппарата сетей Петри

Немеш Дмитрий Андреевич, магистрант  
Волгоградский государственный технический университет

Для проведения моделирования поведения звена с использованием разработанного ПК, необходимо представить его реализацию в системе моделирования, определить начальные данные и провести анализ полученных результатов. В качестве результатов моделирования могут выступать как табличные значения, так и графики изменения маркировки сети.

В ТАУ в качестве входных воздействий, на которые ищется реакция звена, приняты воздействия, описываемые элементарными математическими функциями, то есть такими, на которые можно разложить любые произвольные функции.

### Модель безынерционного звена

В качестве начальных данных для анализа правильности представленной структуры звена и работы аппарата будем использовать единичную ступенчатую функцию  $l(t)$  и произвольный сигнал, величина которого равномерно убывает в течение времени.

На рисунке 1 представлена реализация звена с использованием программного комплекса. Безынерционное звено представлено непрерывной позицией  $H1$ , дискретной позицией  $D1$  и переходом квантования  $K1$ . Дуга, соединяющая переход квантования  $K1$  и дискретную позицию  $D1$ , имеет вес 2, что соответствует коэффициенту пропорциональности звена.

Для реализации единичной ступенчатой функции необходимо в непрерывную позицию  $H1$ , с начальной маркировкой равной 0, подать непрерывный сигнал равный 1, и поддерживать его в течение последующего времени моделирования. Для чего воспользуемся непрерывной позицией  $H2$ , с начальной маркировкой равной 1, и непрерывным переходом  $H1$ , с пропускной способностью равной 1.

При наличии единичного сигнала на входе звена, переход квантования будет каждый шаг моделирования передавать на выход новые значения, которые в свою очередь будут там накапливаться, поэтому реализуем вспомогательную «ветвь» сети Петри. Она представ-

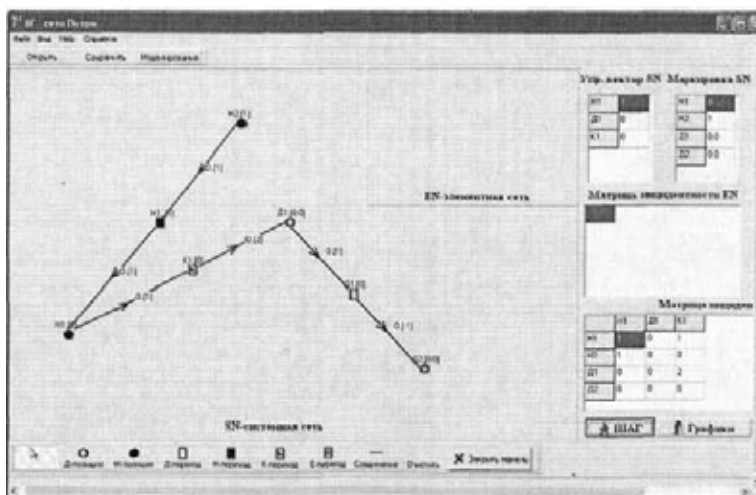


Рис. 1. Моделирование поведения безынерционного звена

Таблица 1. Результаты моделирования поведения безынерционного звена

	H1	H2	D1	D2
m0	0	1	0	0
m1	1	0	0	0
m2	1	0	2	0
m3	1	0	2	-2
m4	1	0	2	-4
m5	1	0	2	-6
m6	1	0	2	-8
m7	1	0	2	-10
m8	1	0	2	-12
m9	1	0	2	-14
m10	1	0	2	-16

лена дискретным переходом D1 и дискретной позицией D2. Основная задача их в освобождении дискретной позиции D1, что достигается весом дуги, соединяющей дискретный переход D1 и дискретную позицию D2, равным -1. Снимаемые переходом квантования значения будут накапливаться в позиции D2, а в D1 все время будет формироваться новое значение квантования.

Следует отметить, что результат на выходе звена появляется с задержкой в один временной интервал. Значения, полученные при моделировании полностью совпадают с теоретически полученными.

Рассмотрим второй случай. Если на вход звена подается произвольный сигнал, величина которого равномерно убывает в течение времени. Реализация звена представлена на рисунке 3. Рисунок аналогичен представленному выше лишь с тем отличием, что изначально в непрерывной позиции H1 сформирован сигнал, уровень которого с течением времени уменьшается. Кроме того,

коэффициент пропорциональности звена в этом случае равен 1.

Результаты моделирования представлены в таблице 2 и на рисунке 4. Отметим, что результат на выходе звена появляется также с задержкой в один временной интервал. Значения, полученные при моделировании полностью совпадают с теоретически полученными.

Из анализа результатов моделирования можно сделать вывод об адекватности представленной модели безынерционному звену.

#### Модель идеального дифференцирующего звена

В качестве начальных данных для анализа правильности представленной структуры звена и работы аппарата будем использовать произвольный сигнал, величина которого равномерно увеличивается в течение времени.

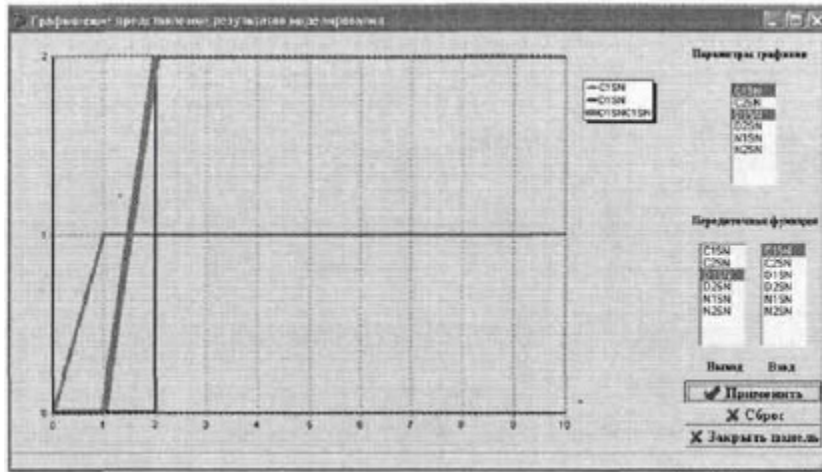


Рис. 2. Графики изменения маркировки позиций

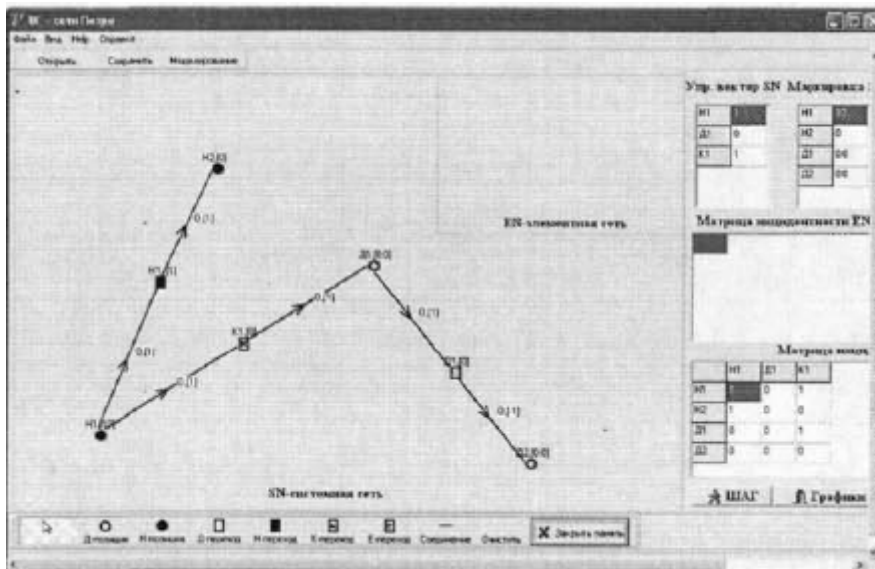


Рис. 3. Моделирование поведения безынерционного звена

Таблица 2. Результаты моделирования поведения безынерционного звена

	H1	H2	D1	D2
m0	10	0	0	0
m1	9	1	0	0
m2	8	2	9	-10
m3	7	3	8	-19
m4	6	4	7	-27
m5	5	5	6	-34
m6	4	6	5	-40
m7	3	7	4	-45
m8	2	8	3	-49
m9	1	9	2	-52
m10	0	10	1	-54



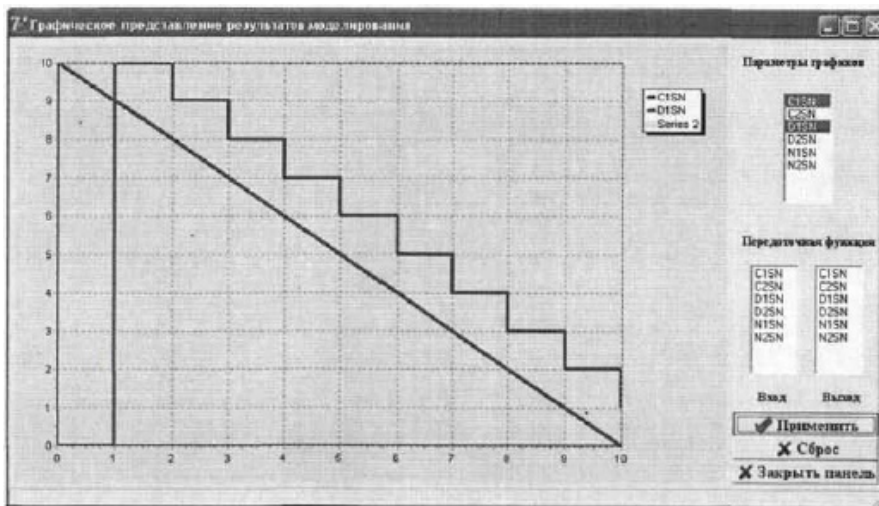


Рис. 4. Графики изменения маркировки позиций

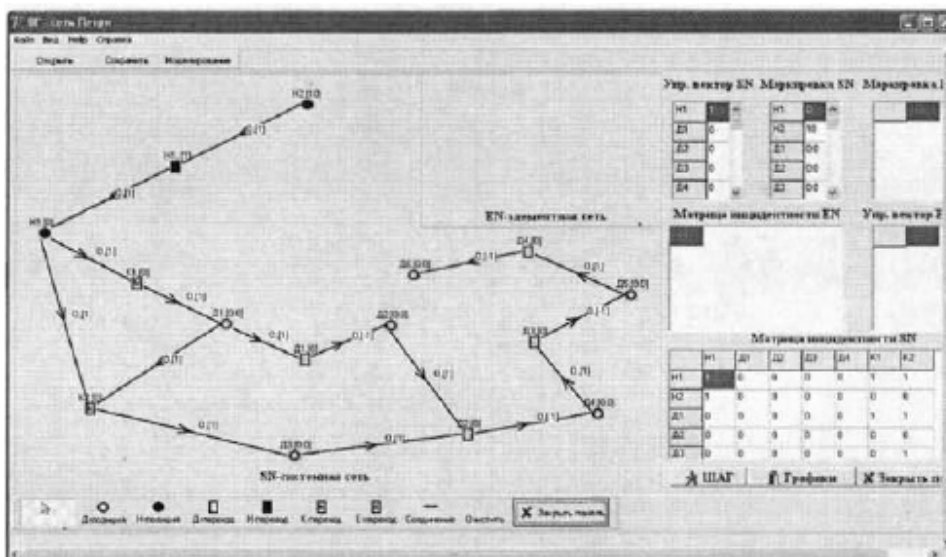


Рис. 5. Моделирование поведения идеального дифференцирующего звена

Реализация идеального дифференцирующего звена с использованием разработанного комплекса представлена на рисунке 5.

Идеально дифференцирующее звено представлено непрерывной позицией Н1, дискретными позициями Д1-Д5, дискретными переходами Д1-Д3 и переходами квантования К1, К2. Непрерывная позиция Н1 является входом звена, а дискретная Д5 – выходом. Связка непрерывного перехода Н1 и непрерывной позиции Н2 служат источником повышения сигнала в позиции Н1. Дискретные переход Д4 и позиция Д6 необходимы для накопления результатов работы звена.

Результаты моделирования представлены в таблице 3, рисунках 6 и 7. Следует отметить, что результат на выходе звена появляется с задержкой в пять временных интервалов. Значения, полученные при моделировании

полностью совпадают с теоретически полученными.

Из анализа результатов моделирования можно сделать вывод об адекватности представленной модели идеальному дифференцирующему звену.

### Модель идеального интегрирующего звена

В качестве начальных данных для анализа правильности представленной структуры звена и работы аппарата будем использовать произвольный сигнал, величина которого равномерно уменьшается в течение времени.

Реализация идеального интегрирующего звена с использованием разработанного комплекса представлена на рисунке 8.

Идеально интегрирующее звено представлено непрерывной позицией Н1, множеством дискретных позиций



Таблица 3. Результаты моделирования идеального дифференцирующего звена

	H1	H2	Д1	Д2	Д3	Д4	Д5	Д6
m0	0	10	0	0	0	0	0	0
m1	1	9	0	0	0	0	0	0
m2	2	8	1	0	0	0	0	0
m3	3	7	2	-1	2	0	0	0
m4	4	6	3	-2	3	-1	0	0
m5	5	5	4	-3	4	-1	1	0
m6	6	4	5	-4	5	-1	1	-1
m7	7	3	6	-5	6	-1	1	-2
m8	8	2	7	-6	7	-1	1	-3
m9	9	1	8	-7	8	-1	1	-4
m10	10	0	9	-8	9	-1	1	-5
m11	10	0	10	-9	10	-1	1	-6
m12	10	0	10	-10	10	-1	1	-7
m13	10	0	10	-10	10	0	1	-8
m14	10	0	10	-10	10	0	0	-9
m15	10	0	10	-10	10	0	0	-9

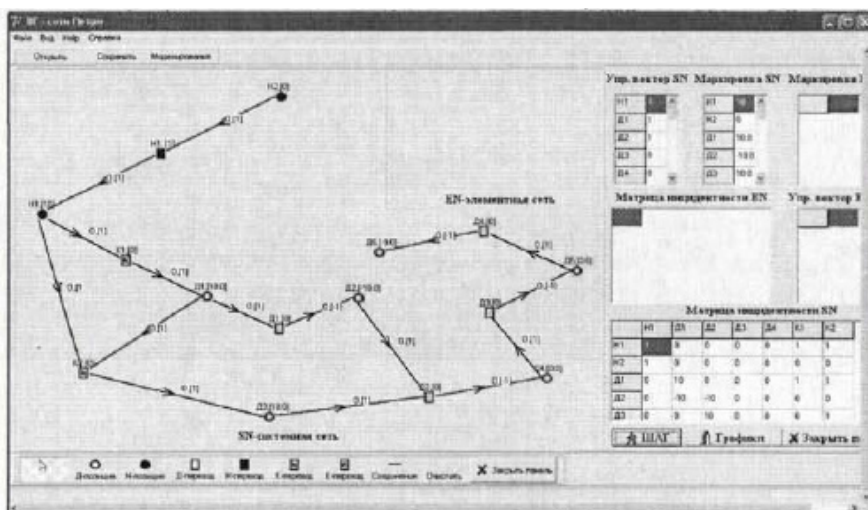


Рис. 6. Результаты моделирования после 15 шагов

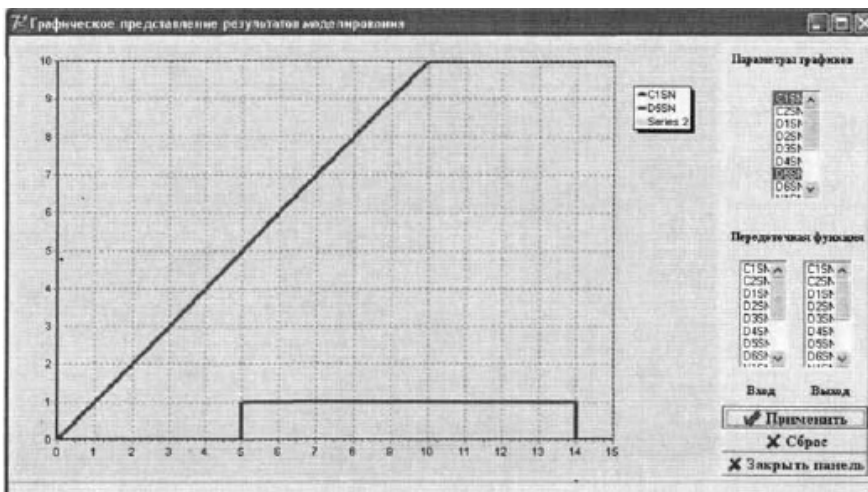


Рис. 7. Графики изменения маркировки позиций

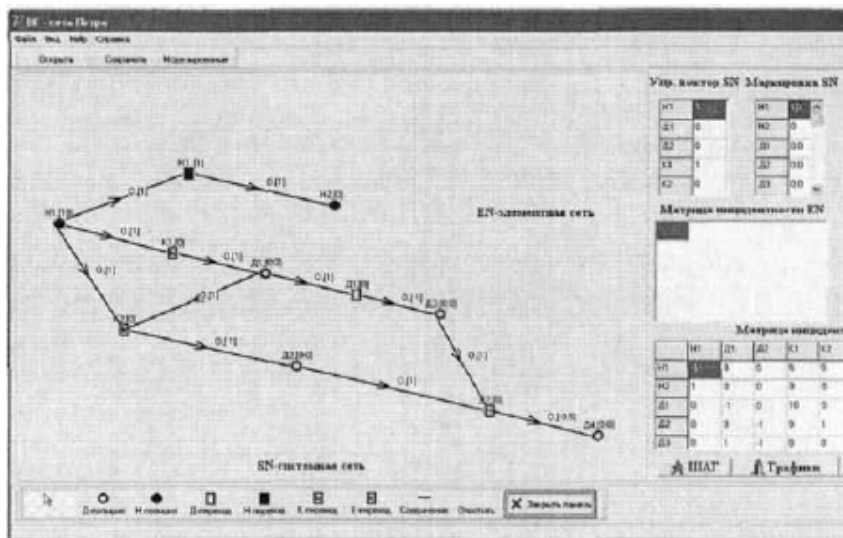


Рис. 8. Моделирование поведения идеального интегрирующего звена

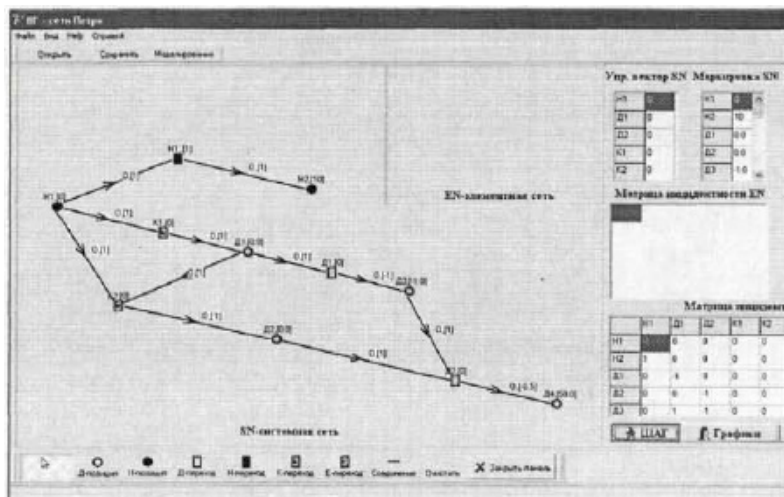


Рис. 9. Результаты моделирования после 12 шагов

Д1-Д4, переходами квантования К1-К4, дискретными переходами Д1, Д2. Непрерывный переход Н1 и непрерывная позиция Н2 обеспечивают изменение сигнала в позиции Н1 во времени.

Результаты моделирования представлены в таблице 4, рисунках. Следует отметить, что результат на выходе звена появляется с задержкой в три временных интервала. Средняя ошибка вычисления составила 2,5 %.

Из анализа результатов моделирования можно сделать вывод об адекватности представленной модели идеальному интегрирующему звену.

Так как программный комплекс (ПК) в целом представляет собой довольно большой код, объединяющий несколько подпрограмм, в данной статье были рассмотрены только несколько алгоритмов.

Разработка ПК велась на языке Delphi 7.0. Данный язык программирования обладает широкими возможно-

стями по созданию приложений для среды Windows. Являясь объектно-ориентированным языком программирования, Delphi позволяет значительно сократить затраты на реализацию программного кода приложения.

В ходе работы над ПК были разработаны классы позиций TPosition, переходов TPer, дуг TDuga и графических элементов TOblm. При разработке класса дуг был разработан новый компонент Line. Разработка данного компонента оказалась необходимой вследствие того, что в среде Delphi нет компонента, позволяющего соединить два графических изображения простой линией, таким образом, чтобы к созданной линии можно было бы обращаться как к объекту, последнее должно упростить ряд операций над линиями (дугами сети Петри).

Построенное ПО наглядно отображает результаты моделирования. Кроме того, программный комплекс позволяет оперативно вмешиваться в процесс моделирования

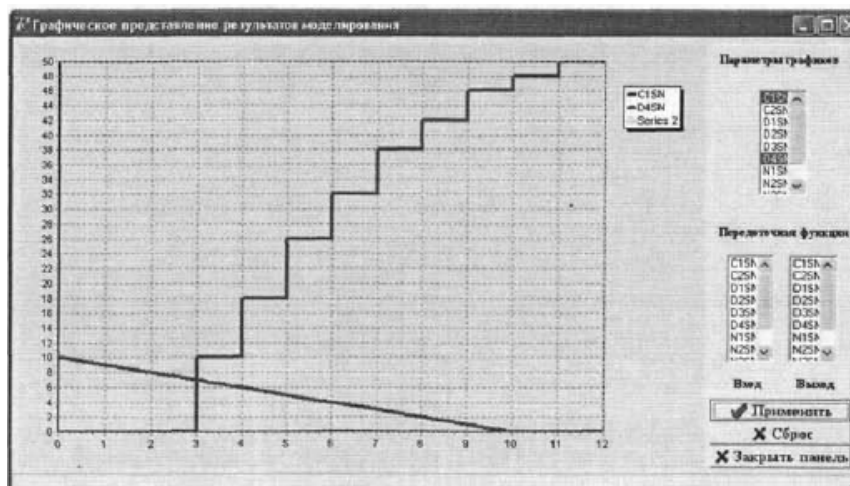


Рис. 10. Графики изменения маркировки сети

```

procedure GetMMark(PoN,PoD: TCollection);
var i: integer;
begin
  for i:=0 to PoN.Count-1 do
    MMark[i]:=TPosition(PoN.Items[i]).NumM;
  for i:=0 to PoD.Count-1 do
    MMark[i+PoN.Count]:=TPosition(PoD.Items[i]).NumM;
end;
    
```

Рис. 11. Пример программной реализации процедуры вычисления маркировки ГСП

при обнаружении ошибок и недочетов в исходной модели.

В терминах модифицированного аппарата сетей Петри разработаны и промоделированы минимально необходимые типовые динамические звенья. Реализованная на

основе программного комплекса библиотека типовых динамических звеньев позволяет строить системы любой сложности в терминах сетей Петри, опираясь на правила и законы ТАУ.

Литература:

1. Баженова И.Ю. Delphi 7. Самоучитель программиста. – М.: Кудиц – образ, 2003. – 448 с.
2. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 400 с.
3. Давыдов Д.В. Методы и модели анализа сетей АСУ с поддержкой качества обслуживания. – Вологда: ВоГТУ, 2007. – 139 с.
4. Культин Н.Б. Основы программирования в Delphi 7. – СПб.: БХВ – Петербург, 2003. – 608 с.
5. Куо Б. Теория и проектирование цифровых систем управления, перевод с английского. – М.: Машиностроение, 1986. – 446 с.
6. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. – М.: Мир, 1984. -264 с.

## Анализ математических моделей каналов связи с белым гауссовым шумом

Перов Борис Геннадиевич, студент;

Голков Виталий Борисович, студент;

Черанёв Максим Александрович, студент;

Полторак Вадим Петрович, кандидат технических наук, доцент

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

### Введение

Канал связи с белым Гауссовым шумом, является наиболее распространённой среди используемых моделей каналов связи. Это связано с тем, что в независимости от характера физической линии связи (витая пара, коаксиальный кабель, оптоволокно, радиоканал и т.д.) и степени ее защищенности от внешних помех, в ней все равно присутствует белый Гауссовый шум, что, в свою очередь, объясняется самой его природой, а именно тем, что он возникает в результате теплового движения электронов, которое присутствует в любой проводящей среде [1].

В данной статье рассматриваются существующие математические модели каналов связи с белым Гауссовым шумом, их преимущества, недостатки и ограничения. На основании проведенного анализа обосновывается необходимость разработки новой математической модели и формируется перечень требований, соответствие которым позволило бы выполнять качественно новые исследования. В заключение приводится разработка критериев оценки адекватности математической модели.

### Анализ существующих математических моделей каналов связи с белым Гауссовым шумом

На сегодняшний день, фактически, наиболее распространена всего одна математическая модель для каналов связи с белым Гауссовым шумом, которая базируется на использовании точек сигнального пространства.

Её суть заключается в преобразовании исходного вектора данных, состоящего из символов исходного алфавита модулятора, в точки сигнального пространства согласно выбранному способу модуляции, наложении белого Гауссового шума на полученные значения и преобразовании зашумленных точек сигнального пространства в вектор выходных данных (символов исходного алфавита модулятора). На примере с многопозиционной цифровой фазовой манипуляцией это может быть выражено следующими аналитическими выражениями:

преобразование символа исходного алфавита модуля-

тора в точку сигнального пространства:  $S_i = e^{j \frac{2\pi}{M} i}$ , где  $j$  – мнимая единица,  $M$  – размер алфавита модулятора,  $i$  – символ алфавита модулятора в диапазоне  $[0, M - 1]$ ,  $S_i$  – точка сигнального пространства;

7) наложение белого Гауссового шума на точку сигнального пространства:  $R_i = S_i + n$ , где  $n$  – комплексное значение белого Гауссового шума,  $R_i$  – зашумленная точка сигнального пространства;

преобразование зашумленной точки сигнального пространства в символ исходного алфавита:  $x = \left[ \frac{j \cdot M \cdot \ln R_i}{2\pi} \right] \bmod M$ , где  $j$  – мнимая единица,  $M$  – размер алфавита модулятора,  $R_i$  – зашумленная точка сигнального пространства,  $[ ]$  – оператор округления, а  $\bmod$  – оператор взятия по модулю.

Мы видим, что данная математическая модель действительно в полной мере описывает процесс передачи данных по каналам связи с белым Гауссовым шумом и при этом хорошо подходит для демонстративных целей (т.к. позволяет визуализировать переданные и принятые точки сигнального пространства). Однако, несмотря на доказанную адекватность самой модели, она целиком игнорирует процессы, происходящие в как в среде передачи, так и в передатчике и в приемнике, которые являются неотъемлемыми частями реальных каналов связи. С одной стороны, это приводит к малому количеству математических операций, требуемых для выполнения процесса моделирования (иными словами, программные реализации этой модели имеют высокую скорость работы), но с другой, сильно ограничивает область её применений.

Таким образом, данная математическая модель не позволяет моделировать и изучать процессы, происходящие в среде передачи данных, передатчике и приемнике, что, например, приводит к тому, что с её помощью невозможно проверить истинность утверждения, гласящего, что для многопозиционной когерентной цифровой частотной манипуляции в канале связи с белым Гауссовым шумом оптимальным с точки зрения помехоустойчивости разнесением по частоте является  $\Delta F \approx 0.715 \cdot F_s$ , где  $F_s$  – символьная частота, на которой работает канал связи [2].

В качестве альтернативной математической модели можно было бы рассмотреть интуитивную векторную математическую модель канала связи с белым Гауссовым шумом (базирующуюся на представлении временных процессов в каналах связи в виде временных векторов – серий отсчетов с временными метками), однако не смотря на кажущуюся простоту этой математической модели, на сегодняшний день не существует ни единого её полноценного формального описания, а существующие реализации слишком частные и, как правило, применимы только для специфических типов каналов связи [3].



### Разработка требований к математической модели каналов связи с белым Гауссовым шумом

В результате анализа существующих математических моделей каналов связи с белым Гауссовым шумом был сделан вывод о необходимости разработки новой математической модели, которая позволила бы изучать и моделировать не только процесс передачи данных в общем, но и физические процессы, происходящие внутри отдельных компонентов самого канала связи (передатчик, среда передачи, приемник).

Исходя из этого, можно сформулировать следующий набор требований, которым должна соответствовать разрабатываемая математическая модель:

**1) математическая модель должна быть адекватной** — исходное и очевидное требование, суть которого заключается в том, что математическая модель должна соответствовать действительности, а данные полученные с её помощью должны соответствовать теоретическим (при условии, что достоверно известно, что они верны) и эмпирическим данным, полученным с помощью иных математических моделей (при условии, что достоверно известно, что эти математические модели адекватны);

**2) математическая модель должна быть реализуемой** — ещё одно очевидное, однако не менее необходимое, требование, которое говорит о том, что математическая модель должна быть реализуемой с использованием современных технических средств (например, как компьютерная программа или модель в некой компьютерной среде моделирования) и должна давать результат, при условии адекватной реализации, за приемлемое количество времени (иными словами, длительность процесса моделирования с использованием современных технических средств не должна превышать срок, за который результаты моделирования могут потерять актуальность);

**3) математическая модель должна позволять выполнять моделирование процесса передачи данных в целом** — несмотря на остальные ограничения и требования, которые могут налагаться на математическую модель для получения каких-либо специфических свойств, она должна быть применима для моделирования процесса передачи данных по каналу связи с белым Гауссовым шумом в целом (например, для изучения вероятностей битовых и/или символьных ошибок для различных способов модуляции данных в определенных диапазонах значений отношения сигнал-шум);

**4) математическая модель должна позволять выполнять моделирование процессов происходящих в передатчике и, при необходимости, давать возможность влиять на них** — качественно новое свойство математической модели (в сравнении с рассмотренной выше математической моделью), суть которого заключается в том, что математическая модель должна включать в себя передатчик, который отвечает за преобразование входных данных в сигналы, которые будут использованы для дальнейшей передачи данных на принимающую сторону, по-

зволять наблюдать за процессами происходящими в нём и, при необходимости, давать возможность влиять на них для получения новых экспериментальных данных;

**5) математическая модель должна позволять выполнять моделирование процессов происходящих непосредственно в среде передачи данных и, при необходимости, давать возможность влиять на них** — качественно новое свойство математической модели (в сравнении с рассмотренной выше математической моделью), суть которого заключается во включении среды передачи данных непосредственно в математическую модель таким образом, чтобы имелась возможность наблюдать за процессами, происходящими в ней и, при необходимости, давать возможность влиять на них;

**6) математическая модель должна позволять выполнять моделирование процессов происходящих в приемнике и, при необходимости, давать возможность влиять на них** — качественно новое свойство модели (в сравнении с рассмотренной выше математической моделью), суть которого в том, что математическая модель должна включать в себя приемник, который отвечает за распознавание и декодирование зашумленных сигналов, полученных из линии связи, таким образом, чтобы имелась возможность наблюдать за процессами, происходящими в нём и, при необходимости, давать возможность влиять на них;

**7) математическая модель должна быть расширяемой** — свойство математической модели, которое гласит, что математическая модель не должна быть намертво ограничена какими-либо своими компонентами и должна иметь такой вид, что, при необходимости, могла бы быть расширена для применения в более широкой области.

Исходя из последнего из вышеперечисленных требований, разрабатываемая математическая модель должна быть применима в широком кругу задач. Однако, исходя из 4-го и 5-го пунктов вышеперечисленных требований очевидно, что математическая модель такого рода не может быть абсолютно универсальной. Другими словами, не существует такого аналитического выражения, которым могла бы быть описана желаемая математическая модель так, чтобы она была применима для любой задачи без каких-либо доработок и/или адаптаций.

В связи с этим, предполагаемые реализации могут быть ограничены определенными типами приемников и передатчиков, однако должны описывать возможности по расширению путем включений аналитических выражений для других приемников и передатчиков с согласованием размерностей и порядков величин.

### Разработка критериев адекватности математической модели

В качестве необходимых и достаточных критериев, соответствие которым позволило бы принять положительное решение относительно вопроса адекватности математической модели канала связи с белым Гауссовым шумом, можно назвать следующие:

1) визуализация процессов, происходящих в передатчике, линии связи и приемнике должна соответствовать ожидаемой согласно теоретическому представлению об этих процессах;

2) зависимости вероятностей символьной ошибки построенные с помощью математической модели должны соответствовать ожидаемым теоретическим данным.

### Выводы

В результате анализа существующих математических моделей каналов связи с белым Гауссовым шумом был

сделан вывод о том, что данные математические модели имеют ряд ограничений, из-за которых они не применимы для изучения ряда процессов, происходящих в каналах связи.

Учитывая результаты проведенного анализа был сформирован и обоснован перечень требований к желаемой математической модели.

В заключение был разработан набор критериев для оценки адекватности потенциальной математической модели, которая могла бы соответствовать описанным требованиям.

### Литература:

1. Thermal Agitation of Electricity in Conductors. J.B. Johnson. 1928.
2. Digital Communication. J.G. Proakis. Masoud Salehi. 2007
3. Bit Error Rate (BER) for frequency shift keying with coherent demodulation: <http://www.dsblog.com/2007/08/30/bit-error-rate-for-frequency-shift-keying-with-coherent-demodulation/>

## Разработка математической модели канала связи с белым гауссовым шумом

Перов Борис Геннадиевич, студент;

Черанёв Максим Александрович, студент;

Полторацк Вадим Петрович, кандидат технических наук, доцент  
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

### Введение

В данной статье выполняется разработка математической модели канала связи с белым Гауссовым шумом соответствующей заданным критериям. Предложенная математическая модель апробируется в задачах моделирования каналов связи с использованием не кодированных многопозиционных цифровой фазовой манипуляции и когерентной цифровой частотной манипуляции. В заключение приводятся результаты проверки адекватности разработанной математической модели.

### Постановка задачи

Разработать математическую модель канала связи с белым Гауссовым шумом, соответствующую следующим критериям:

- 1) математическая модель должна быть адекватной;
- 2) математическая модель должна быть реализуемой;
- 3) математическая модель должна позволять выполнять моделирование процесса передачи данных в целом;
- 4) математическая модель должна позволять выполнять моделирование процессов происходящих в передатчике и, при необходимости, давать возможность влиять на них;
- 5) математическая модель должна позволять выполнять моделирование процессов происходящих непосредственно в среде передачи данных и, при необходимости, давать возможность влиять на них;
- 6) математическая модель должна позволять выполнять моделирование процессов происходящих в приемнике и, при необходимости, давать возможность влиять на них;
- 7) математическая модель должна быть расширяемой.

Исходя из последнего из вышеперечисленных требований, разрабатываемая математическая модель должна быть применима в широком кругу задач. Однако, исходя из 4-го и 5-го пунктов вышеперечисленных требований очевидно, что математическая модель такого рода не может быть абсолютно универсальной. Другими словами, не существует такого аналитического выражения, которым могла бы быть описана желаемая математическая модель так, чтобы она была применима для любой задачи без каких-либо доработок и/или адаптаций.



В связи с этим, в рамках данной работы, мы ограничимся разработкой математической модели для следующих частных случаев:

1) передатчик (способ модуляции):

- а. многопозиционный цифровой фазовый манипулятор (модулятор);
- когерентный многопозиционный цифровой частотный манипулятор (модулятор);

2) приемник (демодулятор):

- а. корреляционный универсальный (т.е. такой корреляционный приемник, который может принять любой сигнал при условии, что ему известна вся информация об ансамбле сообщений используемых передатчиком).

Многопозиционная цифровая фазовая манипуляция и когерентная многопозиционная цифровая частотная манипуляция выбраны по той причине, что являются фундаментальными хорошо изученными способами модуляции которые используются и по сей день.

Корреляционный приемник выбран в связи с тем, что среди существующего на сегодняшний день разнообразия приемников, применяемых в тех или иных областях, корреляционный приемник является наиболее совершенным и лежит в основе оптимальных приемников для современных высокоскоростных телекоммуникационных систем [1].

### Разработка математической модели

В качестве основы для разрабатываемой математической модели возьмем стандартное векторное представление канала связи:  $R_i(t) = s_i(t) + n(t)$ , где  $R_i(t)$  – принятый сигнал в момент времени  $t$ ,  $s_i(t)$  – переданный сигнал в момент времени  $t$ , а  $n(t)$  – значение белого Гауссова шума в момент времени  $t$ .

При этом, стоит отметить, т.к. моделируется непосредственно реальный физический процесс, все значения являются действительными числами.

Основной идеей предлагаемой математической модели является нормализация энергии передаваемого сигнала к единице. Это приведет к тому, что в независимости от характера используемых способов модуляции, белый Гауссовый шум будет налагаться на все переданные сигналы равномерно. Это актуально для таких способов модуляции как, например, цифровая квадратурная амплитудная манипуляция и цифровая амплитудно-фазовая манипуляция (также известная как цифровая асинхронная фазовая манипуляция), при использовании которых, потенциально, возможна ситуация, когда разные сигналы (сигналы представляющие разные символы алфавита) имеют разную мощность и, соответственно, энергию, что, в свою очередь, может привести к тому, что при моделировании белый шум может быть наложен неправильно.

Спектральную плотность мощности белого Гауссова шума описывается следующим выражением:  $S(f) = \frac{hf}{2(2^{\frac{hf}{kT}} - 1)}$ , где  $h$  – постоянная Планка (в Дж·с),  $k$  – постоянная Больцмана (в  $\frac{Дж}{К}$ ),  $T$  – температура окружающей среды (в Кельвинах),  $f$  – частота (в Гц), а  $S(f)$  – искомая спектральная плотность мощности для заданной  $f$  при температуре  $T$ . Таким образом, при комнатной температуре  $T = 300 K$ , белый Гауссовый шум сохраняет до 90 % от своего максимума вплоть до частоты  $f = 2 \cdot 10^{12}$  Гц (2 терагерца). Учитывая то, что для используемых на сегодняшний день телекоммуникационных систем эта частота недостижима, при моделировании существующих каналов связи можно принять что какой бы ни была частота дискретизации, использованная для моделирования, влияние белого шума будет сохраняться. При моделировании теоретических телекоммуникационных систем, которые могут работать в терагерцовом диапазоне и выше стоит учитывать приведенную выше формулу спектральной плотности мощности для определения степени влияния белого Гауссова шума на передаваемые сигналы [2].

Величина белого Гауссова шума, влияющая на передаваемый сигнал в момент времени  $t$  описывается следующим аналитическим выражением:  $n(t) = N(0, \sigma^2)$ , где  $N$  – функция нормального распределения для заданных математического ожидания и дисперсии, а  $\sigma^2$  – дисперсия шума.

В свою очередь, дисперсия белого Гауссова шума определяется следующим выражением:  $\sigma^2 = \frac{N_0}{2}$ , где  $N_0$  – спектральная плотность мощности шума.

Энергия одного символа алфавита модулятора равна  $E_s = R_m R_c E_b$ , где  $R_m = \log_2 M$  – количество бит приходящееся на одно сообщение модулятора,  $R_c$  – кодовая частота (например, для не кодированных каналов равна 1, а для кодированных каналов добавляющих 50 % избыточных данных – 0.5), а  $E_b$  – энергия, приходящаяся на 1 переданный бит.

Исходя из описанного выше принципа нормализации энергии передаваемого сигнала, можно записать следующее выражение связывающее дисперсию белого шума отношение сигнал-шум для одного бита информации:  $\frac{E_b}{N_0} = \frac{E_s}{R_m R_c E_b} = \frac{E_s}{R_m R_c \cdot 2\sigma^2} = \frac{1}{2R_m R_c \sigma^2}$ . Отсюда легко можно выразить дисперсию белого шума:  $\sigma^2 = \frac{1}{2R_m R_c \frac{E_b}{N_0}}$ .

Для соответствия описанному выше представлению канала связи, передаваемые сигналы должны быть нормализованы до единичной энергии. Иными словами,  $s_i(t) = \frac{s_i^*(t)}{\sqrt{E_{si}}}$ , где  $s_i^*(t)$  – исходный сигнал, а  $E_{si} = \int_0^T s_i(t) dt$  – энергия исходного  $i$ -того сигнала.

Для когерентной цифровой многопозиционной частотной манипуляции описанное выше выражение имеет следующий вид:

$$s_i(t) = \frac{A \cos(2\pi f_i t)}{\sqrt{E_{si}}} = \frac{\sqrt{2P} \cos(2\pi f_i t)}{\sqrt{E_{si}}} = \frac{\sqrt{PT} \sqrt{\frac{2}{T}} \cos(2\pi f_i t)}{\sqrt{E_{si}}} = \frac{\sqrt{E_{si}} \sqrt{\frac{2}{T}} \cos(2\pi f_i t)}{\sqrt{E_{si}}} = \sqrt{\frac{2}{T}} \cos(2\pi f_i t)$$

исходя из того, что мощность сигнала равна  $P_{si} = \frac{A^2}{2}$ . Следует отметить, что полученное выражение является выражением для  $i$ -той базисной функции для данного способа модуляции.

Для цифровой многопозиционной фазовой манипуляции описанное выше выражение имеет следующий вид:

$$s_i(t) = \frac{A \cos(2\pi f_c t + \theta_i + \theta_0)}{\sqrt{E_{si}}} = \frac{\sqrt{2P} \cos(2\pi f_c t + \theta_i + \theta_0)}{\sqrt{E_{si}}} = \frac{\sqrt{PT} \sqrt{\frac{2}{T}} \cos(2\pi f_c t + \theta_i + \theta_0)}{\sqrt{E_{si}}} =$$

$$\frac{\sqrt{E_{si}} \sqrt{\frac{2}{T}} \cos(2\pi f_c t + \theta_i + \theta_0)}{\sqrt{E_{si}}} = \sqrt{\frac{2}{T}} \cos(2\pi f_c t + \theta_i + \theta_0)$$

исходя из того, что мощность сигнала равна  $P_{si} = \frac{A^2}{2}$ .

При необходимости, из полученного выражения можно получить базисные функции для данного типа модуляции путем несложных тригонометрических преобразований:

$$\sqrt{\frac{2}{T}} \cos(2\pi f_c t + \theta_i + \theta_0) = \cos(\theta_i) \sqrt{\frac{2}{T}} \cos(2\pi f_c t + \theta_0) - \sin(\theta_i) \sqrt{\frac{2}{T}} \sin(2\pi f_c t + \theta_0)$$

Отсюда ортонормальные базисные функции цифровой многопозиционной фазовой манипуляции:

$$\phi_1 = \sqrt{\frac{2}{T}} \cos(2\pi f_c t + \theta_0) \quad \phi_2 = \sqrt{\frac{2}{T}} \sin(2\pi f_c t + \theta_0)$$

и

Оптимальный корреляционный приемник, распознающий принятые сигналы по принципу максимального правдоподобия, должен иметь полную информацию о выходном ансамбле сообщений передатчика и может быть описан следующим аналитическим выражением:  $i = \arg \max_{0 \leq i \leq M-1} \int_0^T r(t) s_i(t) dt$ , где  $r(t)$  – принятый сигнал,  $s_i(t)$  – эталонный сигнал из ансамбля передатчика отвечающий символу входного алфавита  $i$ ,  $T$  – длительность символа, а  $i$  – принятый символ.

### Проверка адекватности математической модели

Разработанная математическая модель была реализована с помощью компьютерного языка программирования Python. С использованием данной реализации было выполнено моделирование цифровой многопозиционной фазовой манипуляции и когерентной цифровой многопозиционной частотной манипуляции.

Примеры временных диаграммы процессов, происходящих в передатчике, линии связи и приемнике приведены на рисунках 1 и 2.

Также были построены зависимости вероятностей символьной ошибки, которые приведены на рисунках 3 и 4. Наряду с экспериментальными данными на данных рисунках отложены теоретические данные.

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод о том, что разработанная математическая модель является адекватной и пригодной для использования в научных исследованиях, т.к. полученные вероятности ошибки совпадают с теоретическими.

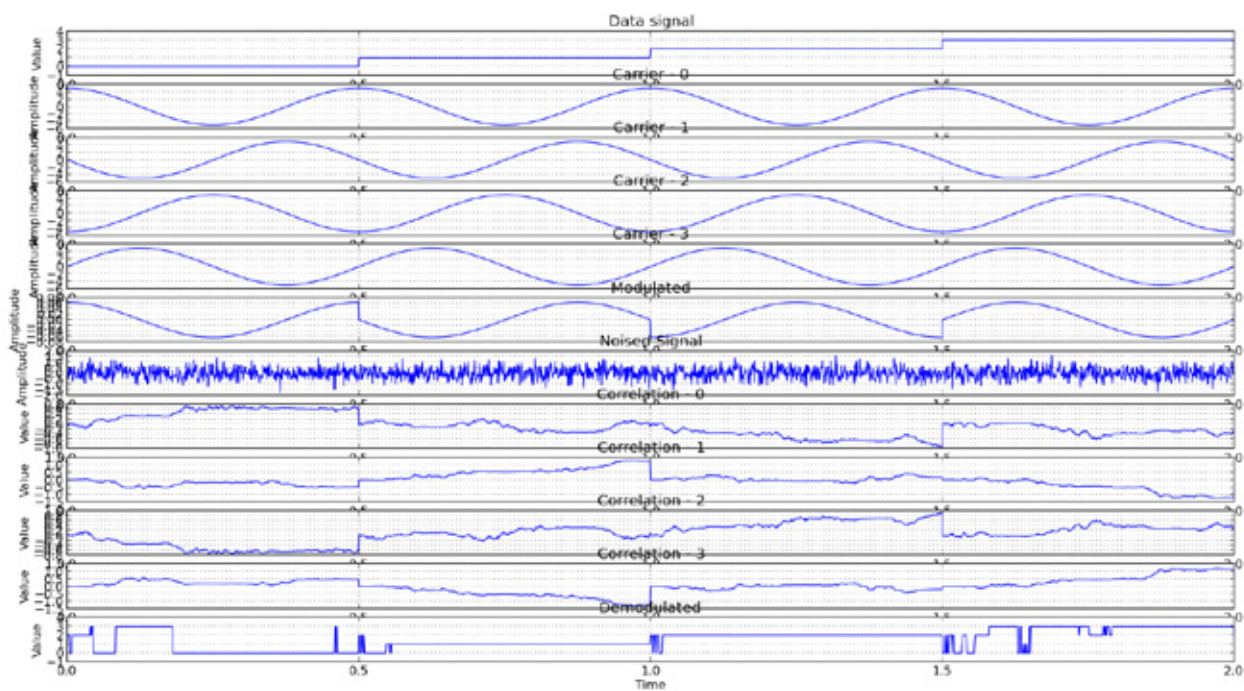


Рис. 1. Пример временных диаграмм для канала связи с белым Гауссовым шумом с использованием цифровой четырехпозиционной фазовой манипуляции

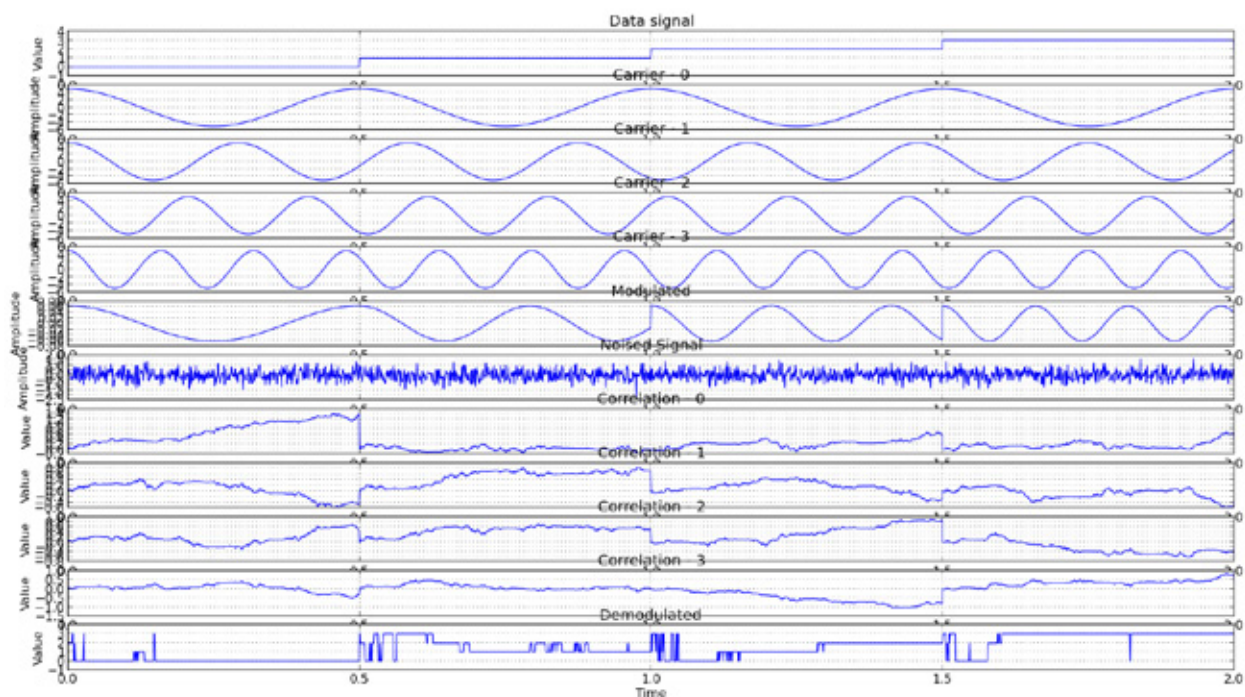


Рис. 2. Пример временной диаграммы для канала связи с белым Гауссовым шумом с использованием когерентной цифровой четырехпозиционной частотной манипуляции

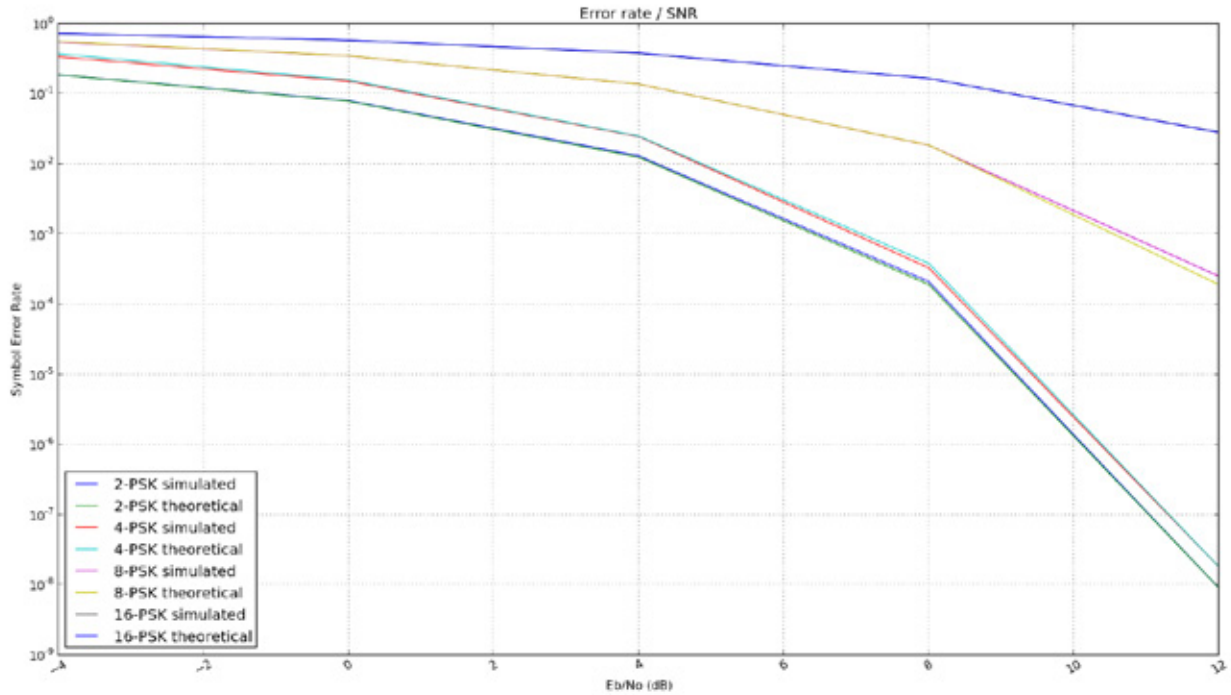


Рис. 3. Вероятность символьной ошибки в зависимости от отношения  $\frac{E_b}{N_0}$  для канала связи с белым Гауссовым шумом с использованием цифровой многопозиционной фазовой манипуляции

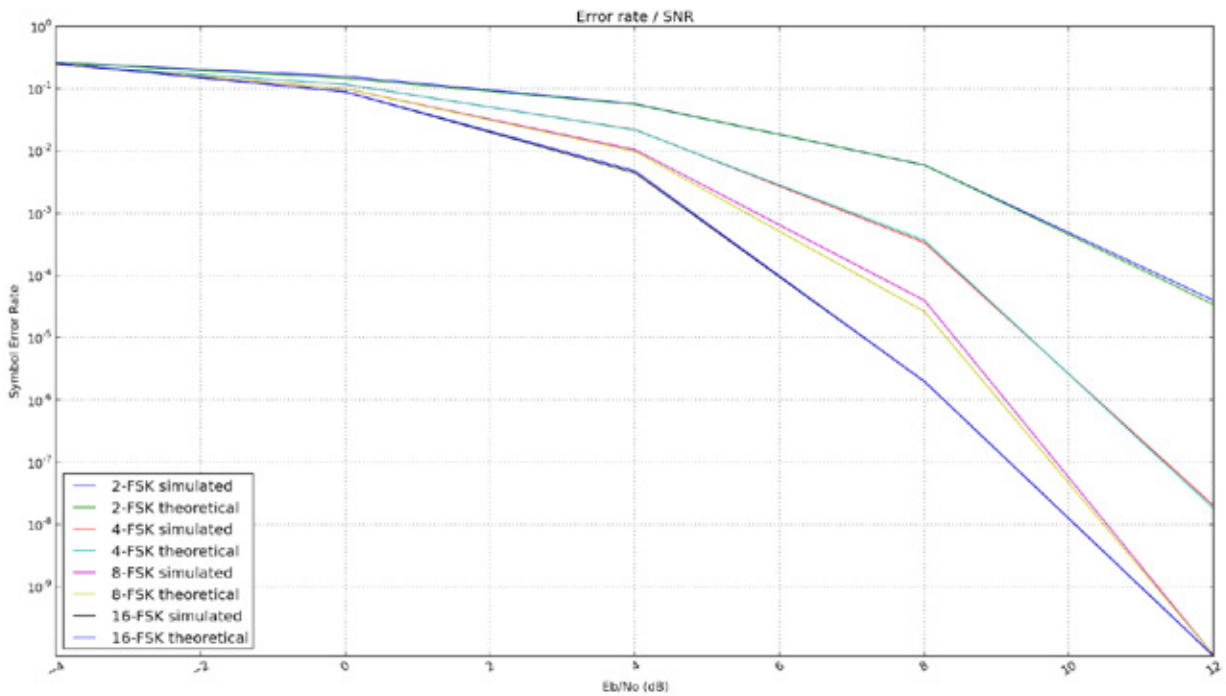


Рис. 4. Вероятность символьной ошибки в зависимости от отношения  $\frac{E_b}{N_0}$  для канала связи с белым Гауссовым шумом с использованием когерентной цифровой многопозиционной частотной манипуляции



## Выводы

На основании требований, являющихся исходными данными, была выполнена разработка математической модели для каналов данных с белым Гауссовым шумом.

Предложенная математическая модель была апробирована в задачах моделирования четырехпозиционной цифровой фазовой манипуляции и когерентной четырехпозиционной цифровой частотной манипуляции.

На основании полученных экспериментальных данных было принято решение об адекватности разработанной математической модели и её пригодности для использования в научных исследованиях.

## Литература:

1. Digitl Communications. Fundamentals and Applications. Second Edition. B. Sklar. 2003.
2. Digitl Communication. J.G. Proakis. Masoud Salehi. 2007

## Обзор методов переработки отходов полимерных материалов и анализ рынка вторичного сырья

Примеров Олег Сергеевич, студент;

Макеев Павел Владимирович, кандидат технических наук, ассистент;

Клинков Алексей Степанович, кандидат технических наук, профессор

Тамбовский государственный технический университет

Производство упаковочных материалов возрастает примерно на 5% в год, а доля пластмасс в них увеличивается ежегодно на 11%. Вместе с тем эта, в общем, положительная тенденция оборачивается и негативной стороной — загрязнением окружающей среды. Исследования показали, что в среднем требуется около 80 лет для того, чтобы деградация полимерного материала упаковки прошла до стадии ассимиляции окружающей средой. За это время человеческое общество успеет произвести столько новых упаковок, что они, после использования покроют огромные площади, на которых ничего не будет произрастать и на которых замрет жизнь. Эта картина особенно актуальна в местах концентрации населения, т.е. в больших городах.

Мировая практика свидетельствует о наличии нескольких возможных путей решения переработки использованной полимерной упаковки:

- захоронение;
- сжигание;
- термическое разложение путем пиролиза;
- разложение с получением исходных низкомолекулярных продуктов (мономеров, олигомеров);
- вторичная переработка отходов.

**Захоронение отходов полимерной тары и упаковки** на полигонах связано с выведением из хозяйственного оборота значительных территорий, долговременным загрязнением окружающей среды и является нерациональным с энергетической точки зрения. Однако этот метод широко применяется как альтернатива другим вариантам утилизации отходов.

**Сжигание отходов полимерных материалов** не требует особой сортировки по типам полимеров, не со-

пряжено с истощением недр земли и существенным увеличением поверхности земли, непригодной для функционирования живых организмов. При этом, образующиеся при сжигании полимеров токсичные газообразные продукты, могут обуславливать интенсификацию парникового эффекта, а иногда — формирование озоновых дыр. Для нейтрализации этих выбросов и приведения данного производства в соответствие с требованиями международного стандарта ISO 9001 требуется установка комплекса дорогостоящего очистного оборудования, что практически делает такое производство нерентабельным [1].

**Пиролиз** — это термическое разложение органических продуктов в присутствии кислорода или без него. Пиролиз полимерных отходов позволяет получить высококалорийное топливо, сырье и полуфабрикаты, используемые в различных технологических процессах, а также мономеры, применяемые для синтеза полимеров.

Количество загрязняющих веществ, выделяющихся при пиролизе, составляет примерно половину от выделяющихся при сжигании таких же объемов ТБО на МСЗ.

Газообразные продукты термического разложения пластмасс могут использоваться в качестве топлива для получения рабочего водяного пара. Жидкие продукты используются для получения теплоносителей. Спектр применения твердых (воскообразных) продуктов пиролиза отходов пластмасс достаточно широк (компоненты различного рода защитных составов, смазок, эмульсий, пропиточных материалов и др.)

Разработаны также процессы каталитического гидрокрекинга для превращения полимерных отходов в бензин и топливные масла.



Таблица 1. Сравнительный анализ цен на российском рынке переработки пластиковых отходов

Тип продукции	Средний ценовой диапазон	Сравнение цен
<b>Полиэтилен</b>		
Отходы	13-20 руб./кг	исходная цена
Вторичное сырье	25-40 руб./кг	в 2 раза выше исходной цены
Первичное сырье	50-60 руб./кг	в 1.5-2 раза выше цены на вторичное сырье
<b>Полипропилен</b>		
Отходы	7-25 руб./кг	исходная цена
Вторичное сырье	20-30 руб./кг	В 1.2-2 раза выше цены на отходы
Первичное сырье	40-62 руб./кг	в 2 раза выше цены на вторичное сырье
<b>Полистирол</b>		
Отходы	10-25 руб./кг	исходная цена
Вторичное сырье	24-37 руб./кг	в 1.5-2.5 раза выше цены на отходы
Первичное сырье	53-59 руб./кг	в 1.5-2.2 раза выше цены на вторичное сырье

Многие полимеры в результате обратимости реакции образования могут снова разлагаться до исходных веществ. Для практического использования имеют значение способы расщепления ПЭТФ, полиамидов (ПА) и вспененных полиуретанов. Продукты расщепления используют снова в качестве сырья для проведения процесса поликонденсации или как добавки к первичному материалу. Однако имеющиеся в этих продуктах примеси часто не позволяют получать высококачественные полимерные изделия, например, волокна, но чистота их достаточна для изготовления литьевых масс, легкоплавких и растворимых клеев.

**Гидролиз** является реакцией, обратной поликонденсации. С его помощью при направленном действии воды по местам соединения компонентов поликонденсаты разрушаются до исходных соединений. Гидролиз происходит под действием экстремальных температур и давлений. Глубина протекания реакции зависит от рН среды и используемых катализаторов.

Этот способ использования отходов энергетически более выгоден, чем пиролиз, так как в оборот возвращаются высококачественные химические продукты.

По сравнению с гидролизом для расщепления отходов ПЭТФ более экономичен другой способ — **гликолиз**. Деструкция происходит при высоких температурах и давлении в присутствии этиленгликоля и с участием катали-

заторов до получения чистого дигликольтерефталата. По этому принципу можно также переэтерифицировать карбаматные группы в полиуретане.

Все же самым распространенным термическим методом переработки отходов ПЭТФ является их расщепление с помощью метанола — **метанолиз**. Процесс протекает при температуре выше 150°C и давлении 1,5 МПа, ускоряется катализаторами переэтерификации. Этот метод очень экономичен. На практике применяют и комбинацию методов гликолиза и метанолиза.

В настоящее время наиболее приемлемым для России является вторичная переработка отходов полимерных материалов **механическим рециклингом**, так как этот способ переработки не требует дорогого специального оборудования и может быть реализован в любом месте накопления отходов.

Использование вторичного сырья в качестве новой ресурсной базы — одно из наиболее динамично развивающихся направлений переработки полимерных материалов в мире.

Существуют различные технологии переработки полимерных отходов, однако все они включают в себя следующие стадии: сбор, сортировка, мойка-сушка, измельчение, пластикация, гранулирование. Организация некоторых стадий сопровождается техническими и эконо-

мическими трудностями, что приводит к увеличению стоимости конечного продукта.

Для России это направление является относительно новым. Между тем интерес к получению дешевых ресурсов, которыми являются вторичные полимеры, весьма актуален [2].

Привлекательность переработки отходов можно проиллюстрировать на следующем примере:

- стоимость с прессованных бутылок ПЭТФ ~ 100 долл. за тонну
- дробленных чистых отходов ПЭТФ ~ 300 долл. за тонну
- гранулы ~ 1000 долл. за тонну
- нити для текстильной промышленности или ткань для дорожного строительства ~ 2500 долл. за тонну.

В таблице 1 приведен сравнительный анализ цен на российском рынке переработки пластиковых отходов (источник: оценка Research.Techart на май 2010 г.) [1].

Стоимость вторичного сырья определяется двумя факторами:

Литература:

1. <http://www.cleandex.ru>
2. <http://www.recycling.nm.ru/recycl01.html>
3. Макеев П.В. Разработка оборудования и технологии для утилизации отходов термопластов Автореф. дисс. на соискание уч. степ. канд. техн. наук по спец. 05.02.13,05.17.06: Тамбов, 2012. 16 с.

## Технология микроволновой предпосевной обработки семян хлопчатника в условиях Туркменистана

Розметов Камил Садуллаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, председатель  
Сельскохозяйственное акционерное общества имени С. Розметова (г. Ашхабад)

Оразкылыджов Б., соискатель  
Туркменский сельскохозяйственный институт (г. Ашхабад)

**М**ногое в претворении задач зависит от своевременного и качественного выполнения прогрессивных агроприемов, решительного отказа от упрощения агротехники, настойчивого поиска внутрихозяйственных резервов, широкого внедрения достижений науки и передового опыта.

В настоящее время актуальность проблемы повышения урожайности хлопчатника возросла в связи с ограничением возможности расширения посевных площадей, главным образом, из-за нехватки водных ресурсов.

В последние годы благодаря созданию новых машин и механизмов многие основные процессы возделывания хлопчатника механизированы. Однако до сих пор на значительной части площадей сев хлопчатника в республике осуществляется рядовым опущением семян.

Конкурентоспособность экономики любой страны во

а) степени переработки. Может быть реализовано в виде дробленки, агломерата, гранул. Наиболее дорогим является гранулированное сырье.

б) цветом — натуральный, белый или цветной. Наиболее дорогим является бесцветное сырье. Также на стоимость пластиковых отходов влияет степени их чистоты и однородности.

**Вывод:** проблем, связанных с утилизацией полимерных отходов, достаточно много. Решение которых невозможно без организации сбора, сортировки и первичной обработки; без разработки системы цен на вторичное сырье, стимулирующих предприятия к их переработке; без создания эффективных способов переработки вторичного полимерного сырья и также методов его модификации с целью повышения качества; без создания специального оборудования для его переработки; без разработки номенклатуры изделий, выпускаемых из вторичного полимерного сырья. Эти проблемы имеют свою специфику, но их нельзя считать неразрешимыми.

многим зависит от уровня развития наукоемкого, высокотехнологического производства. Основы нормального роста и развития растений закладываются при получении полноценных и дружных всходов, что обеспечивается высокими посевными качествами семян. При прорастании качественных семян происходит быстрый переход зрелого жизнеспособного семени из состояния вынужденного покоя к состоянию активной жизнедеятельности, к интенсивному росту проростка. Поэтому исследованиям различных сторон физиологии прорастания семян, разработке эффективных методов их предпосевной обработки с целью повышения жизнеспособности проростков придается большое значение [1,2].

В повышении урожайности хлопчатника немаловажную роль играют посевные качества семян и способы их подготовку к севу.

Исследованию экономической эффективности сельскохозяйственного производства посвящены многие научные труды экономистов-аграрников: Г.Струмилина, Г.М. Сорокина, Т.С. Хачатурова, К.П. Оболенского, А.И. Коткина, И.Ф. Сулова, В.И. Исаева, Е.С. Городецкого, Г.Г. Котова, Е.С. Карнаухова, Л.Н. Кассирова, И.Н. Буздalова, В.И. Юшкова, Н.М. Емельянова и многих других. Вопросы повышения эффективности сельскохозяйственного производства в условиях Средней Азии освещены в исследованиях К.И. Лапкина, В.В. Кима, Н.Т. Сапильникова, Х.М. Джалилова, В.И. Исакова, Н. Усманова, А.С. Цамутали, Ф.К. Каюмова, Р. Раджапова, К.А. Хасанджанова и других.

За последние годы проведены исследования и опубликованы их итоги по ряду работ, посвященных повышению эффективности сельскохозяйственного производства в Туркменистане. За последние годы изменилась экономическая ситуация; возросла обеспеченность хозяйств, поливной водой, совершенствовались закупочные цены, управление производством, организация и оплата труда, углублялись интеграционные — вертикальные и горизонтальные процессы. Все это требует изучения проблемы повышения эффективности хлопководства в новых экономических и организационных условиях. С учетом всего этого в работе поставлена цель — вскрыть резервы повышения эффективности хлопководства.

Дашогузский оазис расположен в северной части Туркменистана на обширной дельтовой низменности, ограниченной на северо-западе платой Устюрт, на востоке горным хребтом Султануиздаг на юге и западе Заунгскими Каракумами. Основная территория оазиса расположена в древней дельте реки Амударья. Поверхность имеет уклон 0,0002° с юга на северо-запад, в сторону Сарыкамьшской впадины.

Через всю территорию проходят древние русла реки Амударья: Дауан, Дарьялук, Мангидарья, Тунидарья и древние магистральные каналы.

Поверхность оазиса выпуклая, слегка волнистая равнина, расчлененная ирригационной сетью и нарушенная несколькими возвышенностями. Образование этой равнины генетически связано с деятельностью древних протоков, по которым направлялась вода от современной дельты Амударья в Сарыкамьшскую впадину. В этом направлении наблюдается основное падение абсолютных высотных отметок в пределах 95—50 м над уровнем моря.

Дельта равнины Амударья, по данным М.М. Рогова (1957), состоит из Хорезмской, Сарыкамьшской и Аральской впадин, которые последовательно заполнялись речными наносами. Хорезмская дельта, в которую входит и Дашогузский веляят Туркменистана, в течение длительного времени развивается как долинная равнина реки.

Дашогузский оазис расположен преимущественно в Сарыкамьшской дельте Амударья и только наиболее северная часть его заходит в современную дельту реки.

Почвенный покров земледельческих районов Дашогузского веляята разнообразен по механическому составу,

степени засоления и характеру почвообразовательных процессов.

Верхнечетвертичные аллювиально-дельтовые отложения территории представлены хорошо проницаемыми тонко и мелкозернистыми, преимущественно пылевыми песками с редкими прослойками глин.

Эти отложения залегают на глинистых, практически водонепроницаемых породах неогана и покрываются комплексом современных агроирригационных наносов.

Последние переслаиваются супесями, суглинками и глинами мощностью 2—10 м и более. Античную роль в развитии почвообразовательного процесса играют грунтовые воды.

Во внутренних этрапах веляята, где грунтовые воды залегают на глубине 1—3 м, протекает гидроморфный режим почвообразования. На периферической части веляята, где грунтовые воды находятся на глубине 3—10 м, сложился переходный режим почвообразования.

На окраине и в пустынном секторе дельты, где глубина залегания превышает 10—15 м, определен автоматический режим почвообразования.

В орошаемых районах Дашогузского оазиса наиболее распространенными типами почв являются луговые-аллювиальные, лугово-такырные, такыровидные, такыры и пустынно-песчаные.

Луговые почвы образованы в результате временного или постоянного увлажнения из грунтовых вод восходящими капиллярными токами. Признаки луговости (увлажнение, ржавые пятна и сизая окраска) отмечаются грунтовыми водами. Луговые почвы развиты в данном районе на отложениях преимущественно суглинистого механического состава.

В отличие от луговых почв сероземного пояса, они характеризуются малым содержанием гумуса и других питательных веществ.

В луговых почвах Дашогузского оазиса содержания гумуса колеблется в пределах 0,66—1,28 %, общего азота от 0,049 до 0,080 %, валового фосфора от 0,13 до 0,23 %, валового калия от 1,30 до 2,40 %.

Грунтовые воды залегают в поливной сезон на глубине 1,0—1,3 м, в зимнее время на 1,8—2,5 м. Все орошаемые луговые почвы в различной степени засолены. Содержание суммы солей  $SO_4$  в этих почвах колеблется от 0,20 до 1,34 %, гипса от 0,73 до 5,01 %.

Интенсивная фильтрация воды из Амударья, из ирригационной сети и с орошаемых полей при высоком коэффициенте земельного использования и общая естественная бессточность определяют высокое залегание уровня грунтовых вод в пределах 1—2 м от дневной поверхности.

Содержание солей в грунтовых водах по глубине и величине минерализации довольно пестрое. Средняя минерализация грунтовых вод под орошаемыми массивами 2—5 г/л, однако встречается 20—30 г/л и более. Качественный состав солей в грунтовых водах при низкой степени минерализации — сульфатный или хлоридно-сульфатный, а при высокой сульфатно-хлоридный, редко-хлоридный.

В связи с вышеуказанным, большое внимание исследователей привлекает разработка новых технологий предпосевной обработки семян хлопчатника, обеспечивающих: повышение посевных качеств семян; стимулирование физиолого-биохимических процессов роста и развития проростков; длительное хранение семян без потерь посевных качеств; возможность проведения точного сева и снижение расхода посевного материала; повышение устойчивости проростков к пониженной температуре, высокой влажности и патогенным микроорганизмам; совместное применение фунгицидов и биостимуляторов-доноров микроэлементов и биоактивных лигандов, воздействующих на физиологические процессы.

Особый практический интерес вызывают новые технологии, которые могут повлиять на рост, развитие и, в конечном итоге, на продуктивность сельскохозяйственных культур. Новейшие методы и технологии могут быть разработаны на основе современной физиологии растений, которая развивается во взаимодействии с различными областями естественных наук, при сочетании не только с классическими методами исследования и фундаментальными данными, но и новых подходов с применением последних достижений генетики, биохимии, фитопатологии, физико-химической биологии.

Огромную роль играет селекция и семеноводство, но на практике в интенсивном хлопководстве успех дела обеспечивают и качественно выполненные подготовка семян, почвы и посев хлопчатника [3].

Сев высококачественными и правильно подготовленными семенами в хорошо разделанную, прогретую и достаточно влажную почву обеспечивает получение ранних и дружных всходов. В первую очередь посевные работы следует проводить на легких и песчаных почвах, которые лучше прогреваются и быстрее теряют влагу в верхнем слое, затем переходить на земли со средним и тяжелым механическим составом почвы. Каждое фермерское хозяйство должно проводить сев в лучшие агротехнические сроки, использовать семена высокого класса районированных и высокоурожайных сортов прошедших заводскую обработку и калибровку.

Используя приведенные рекомендации необходимо помнить, что сев оголенными семенами хлопчатника следует начинать на пять-семь дней позже, чем опущенными семенами. Большие преимущества имеет сев сеялками точного высева, который производят оголенными семенами, т.к. он позволяет в 2–3 раза сократить расход семян, значительно облегчить прореживание всходов или полностью исключить его. Указанные сроки сева сельскохозяйственных культур привязаны главным образом к потребности семян в положительных температурах необходимых для процесса прорастания. Следует учесть, что в районах предгорий к рекомендованным датам сева сельскохозяйственных культур следует прибавить 5–7 дополнительных дней, что связано с более низкими температурами в этих местах.

Исходя из вышеизложенного, мы применяли технологию микроволновой (РКЭС-1) предпосевной обработки

семян хлопчатника в условиях Туркменистана. Частота облучения одинаковая, меняется только доза облучения в пределах 0,7–1,7 мВт/кг. Мы приняли среднюю дозу облучения 1,1 мВт/кг микроволновым оборудованием и технологию предпосевной обработки семян сельскохозяйственных культур (фото-1). Установка для предпосевной биофизической обработки семян технических культур РКЭС-1, разработанной «Институт ядерных проблем» БГУ. Установка РКЭС-1 обеспечивает заданные режимы работы с производительностью 1 тонна семян в сутки.

Разработано несколько типов оборудования для микроволновой предпосевной обработки семян сельскохозяйственных культур на основе микроволновых модулей. Характеристики модуля излучения подбираются индивидуально для каждого растения. В основе технологии лежит информационное воздействие микроволновой энергии малого уровня мощности на биологические объекты. Это воздействие повышает энергию прорастания семян и иммунитет растений. Применение микроволновой технологии предпосевной обработки семян позволяет уничтожить семенную инфекцию, повысить энергию прорастания семян, усиливает развитие корневой системы, увеличивает фотосинтезирующий аппарат растений, способствует более быстрому развитию растений и более раннему плодоношению. Увеличивает урожайность на 10–12 %. Биотехнология, применяемая при выращивании сельскохозяйственной продукции, является экологически безопасной.

Цель исследований – разработать научно обоснованные технологии сева хлопчатника семенами различного способа подготовки, способствующие экономии посевного материала, ускорению появления всходов, снижению расходов на прореживание и повышению урожая хлопка-сырца.

Перед посевом убрав опущенность семян хлопчатника, зарядив энергией микроволновыми лучами с помощью установки РКЭС-1, получили семена высокого качества и этим впервые используя новый метод в Дашогузском велаяте, получили высокий урожай хлопчатника.

После отбора семян хлопчатника был выбран участок площадью равный 1 гектару в сельскохозяйственном акционерном обществе имени С.Розметова этрапа имени С.А. Ниязова Дашогузского велаята.

Сведения о всхожести семян хлопчатника для посева в лабораторных условиях приведены в таблице 1.

Оголение семян хлопчатника химическим способом с микроволновым облучением (установка РКЭС-1) в отличие от без микроволнового облучения повысила энергию прорастания семян на 4 %, лабораторную всхожесть на 3 %. А по сравнению с опущенными семенами на 13 % и 8 % в 2011 году, на 1 % и 6 % в 2012 году соответственно.

Из вышеуказанного можно сделать выводы, что оголение семян химическим способом с микроволновым облучением (установка РКЭС-1) значительно укрепляет корни и увеличивает рост хлопчатника.





Рис. 1. Момент обработки семян облучением с помощью установки РКЭС–1

Таблица 1

Опушенные семена			Оголение химическим способом			
			без микровол. облуч. РКЭС-1		с микровол. облуч. (РКЭС-1)	
Всхожесть, %			Всхожесть, %		Всхожесть, %	
годы	энергия проростания	лабораторная всхожесть семян	энергия проростания	лабораторная всхожесть семян	энергия проростания	лабораторная всхожесть семян
2011	70	92	79	97	83	100
2012	82	94	79	97	83	100
средний	76	93	79	97	83	100

По сравнению с 2011 годом в 2012 году всхожесть опущенных семян возросла до 12 %, оголенных — до 2 %. Всхожесть оголенных семян химическим способом в отличие от опущенных в 2011 году увеличилась на 9 и составил опущенных семян в 2012 годы.

Потом проверили в лабораторных условиях семена на всхожесть. Семена на всхожесть проверяют следующим образом: с каждого из видов приготовленных отборных семян берут по 100 штук и сажают в специально подготовленные коробки с землей (рис. 2).

После использования установки РКЭС-1, были определены влажность, засоренность, механическое воздействие на семена и вес 1000 семян в лаборатории основной в сельскохозяйственном акционерном обществе имени С. Розметова (табл.1).

Сведения о всхожести семян хлопчатника для посева в лабораторных условиях приведены в таблице 2.

Из приведенной выше таблицы мы видим влияние на урожайность и всхожесть семян хлопчатника, от способов посева и веса семян. Из всех способов наиболее рациональным является оголение семян химическим способом и микроволновым облучением с помощью установки РКЭС-1, где в результате проведенных опытов установлена разница в урожайности до 6,7–7,4 ц/га, полевая всхожести семян до 28,80 %.

Таким образом, опущенные семена хлопчатника очищают химическим методом от пуха и каждое семя отбирают по весу и объему. Отобранные семена первого сорта помещают в химический раствор от насекомых и болезней, а после высушиваются. Высушенные семена обрабатывают микроволновыми лучами с помощью установки РКЭС-1 и проверяют семена на всхожесть в лаборатории. Затем, дают разрешение на посев. Предоставляется возможность на посев оголенных семян в некотором коли-





Рис. 2. Разница всхожести семян хлопчатника в лабораторных условиях

Таблица 2

В зависимости видов способа посева и веса семян хлопчатника	Урожайность, ц/га		Урожайность, (средн) ц/га	Разница, ц/га	Полевая всхожесть, %
	2011 г.	2012 г.			
Контроль (опущенный семян), 120 кг/га	33,2	34,2	33,7		59,60 %
Оголение химическим способом, норма сева 25 кг/га	34,5	35,8	35,15	1,45	82,00 %
Оголение химическим способом и микровол. облуч. (РКЭС-1), норма сева 25 кг/га	39,9	41,6	40,75	7,05	89,40 %

честве определенным методом. Это помогает сэкономить семена и избавиться от разрежаемости ростков. После облучения семян микроволнами всхожесть увеличивается на 5–6 %. В 2011 году на участках сельскохозяйственного акционерного общества имени С.Розметова были высеяны оголенные химическим методом семена хлопчатника. В результате научных исследований были до-

стигнуты нормальная всхожесть, проростаемость, урожайность, а также средний урожай хлопчатника составил 40–45 ц/га. Следовательно, для повышения всхожести семян, ускорения появления всходов, улучшения роста и развития растений, повышения урожая хлопка — сырья целесообразна технология микроволновой предпосевной обработки семян хлопчатника в условиях Туркменистана.

Литература:

1. Каримов Х.Х. и др. Стимулятор прорастания семян хлопчатника в составе капсулирующей смеси //Инф. лист, Душанбе, 1988, октябрь — 2 с.
2. Рахимова М.М., Кандрашина, Т.Ф. Современные химические технологии — достижения научно-образовательного потенциала общества. //Материалы республиканской конференции «Интеллектуальный потенциал-движущая сила гражданского общества», Душанбе, 10 ноября 2005. — с. 44–48.
3. Розметов К.С. Эффективность предпосевной обработки семян хлопчатника в условиях луговых почв. // Молодой ученый. Чита. 2011. № 1.с. 302–304.

## Разработка системы управления миксером баночной линии с целью повышения экономической эффективности

Савчиц Артем Вячеславович, старший преподаватель;

Мещеряков Александр Александрович, студент

Волжский политехнический институт (филиал) Волгоградского государственного технического университета

*В данной статье рассматривается проект модернизации системы управления миксером баночной линии на предприятии ООО «Кока-Кола ЭЙЧБИСИ Евразия» (г. Волжский Волгоградской области), выполненный с целью повышения экономической эффективности процесса.*

Для производства сладких газированных напитков на предприятиях используют специальные сатурационные установки (миксер-сатураторы). Данные аппараты предназначены для насыщения воды углекислым газом и смешивания ее с сиропом.

Миксер баночной линии представлен на рисунке 1.

Одной из основных задач, стоящей перед пищевой промышленностью и пищевым машиностроением, является создание высокоэффективного технологического оборудования, которое на основе использования прогрессивной технологии значительно повышает производительность труда, сокращает негативное воздействие на окружающую среду и способствует экономии исходного сырья, топливно-энергетических и материальных ресурсов.

Анализ современного состояния и тенденций развития, пищевых и перерабатывающих отраслей АПК России свидетельствует о том, что технический уровень производств нельзя признать удовлетворительным. Лишь 19%

активной части производственных фондов предприятий соответствуют мировому уровню, около 25% подлежат модернизации, а 42% — замене.

На данный момент для управления и контроля производством до сих пор используется, к сожалению, обычная коммутационная аппаратура либо морально устаревшие контроллеры, которые являются громоздкими и не эффективными в плане обслуживания.

Они не способны в полной мере производить гибкий контроль и управление производственным объектом, а с усложнением линий создают порой серьезные трудности при ликвидации аварийных ситуаций. Выходом из сложившейся ситуации может являться применение современных промышленных контроллеров, способных в полной мере удовлетворить требованиями современного типа производства, а также обеспечить возможность их использования для управления из единых координационных центров с целью сбора оперативной информации и управления.



Рис. 1. Миксер баночной линии

Миксер баночной линии состоит из четырёх основных объектов управления. Это деаэратор, карбонизатор, сатуратор и ёмкость с сиропом.

Деаэратор представляет собой техническое устройство, реализующее процесс деаэрации жидкости (воды), то есть её очистки от присутствующих в ней нежелательных газовых примесей. На вход деаэратора подаётся вода с давлением от двух до трёх бар. Далее происходит процесс дегазации (удаление нежелательных растворённых газов). На входе и выходе деаэратора стоят приборы, снимающие показания расхода, температуры, давления, плотности, уровня жидкости в деаэраторе и концентрации растворённых в ней газов.

На следующем этапе очищенная жидкость поступает в карбонизатор. В нём происходит насыщение очищенной воды углекислым газом. В бак карбонизатора подают очищенную воду и углекислый газ. Расход углекислого газа составляет 235 кг/ч, давление поддерживается в пределах от восьми до двенадцати бар. После насыщения жидкость поступает в сатуратор. На входе и выходе карбонизатора стоят приборы, снимающие показания расхода, температуры, давления, плотности, уровня жидкости в карбонизаторе и концентрации растворённого в ней углекислого газа.

В сатураторе происходит смешение насыщенной углекислым газом воды и сиропа (его давление должно быть в пределах от 0,5 бара до 2 бар). На входе и выходе сатуратора стоят приборы, снимающие показания расхода, температуры, давления, плотности и уровня жидкости в сатураторе. Далее полученная смесь направляется в блок розлива.

Перед автоматизацией технологического объекта должны быть выполнены следующие мероприятия:

- оборудование технологического объекта управления должно быть механизировано, и работать в установленный межремонтный период;
- технологическая схема должна быть составлена таким образом, чтобы процесс был управляемым, и разделен на определенные зоны с возможностью воздействия на технологический режим в каждой из них;
- должен быть обеспечен доступ к местам установки датчиков, запорных и регулирующих органов;
- число возмущающих воздействий должно быть сведено к минимуму.

Контролю и регулированию подлежат параметры, характеризующие протекание технологического процесса в отдельных аппаратах. К этим параметрам относятся:

- расход сиропа;
- расход сиропа;
- температура воды, поступающей в деаэратор;
- температура напитка на выходе из теплообменника;
- давление воды и напитка в трубопроводах;
- расход воды в трубопроводах;
- уровень жидкости в емкостях;
- контроль качества продукта.

В связи свыше сказанным целью данной работы явля-

ется разработка системы управления миксером баночной линии с целью повышения экономической эффективности.

На основе проведенного анализа научной и научно-технической литературы, для реализуемого проекта была выбрана централизованная система управления миксером баночной линии на базе высокопроизводительного контроллера ILC 390PN 2TX-IB ввода/вывода PROFINET. Контроллер ILC 390PN 2TX-IB представлен на рисунке 2.



Рис. 2. Контроллер ILC 390PN 2TX-IB

Контроллер Inline с PROFINET-интерфейсом для сопряжения с другими устройствами управления или системами, поддержка языков программирования согласно МЭК 61131–3.

Через встроенные PROFINET-интерфейсы возможны настройка и программирование с помощью ПУ, для автоматизации PC Work согласно IEC 61131, параллельный обмен данными с OPC-серверами и коммуникация с конечными устройствами, поддерживающими протокол TCP/IP. Наряду с конфигурированием INTERBUS возможно также удобное развертывание и ввод в эксплуатацию систем PROFINET IO.

Особенности:

- программирование согласно МЭК 61131–3 на следующих языках: язык функциональных блок-диаграмм, язык инструкций, язык структурированного текста, язык релейных диаграмм, язык последовательных функциональных схем, язык последовательных функциональных схем для машин и язык релейно-лестничной логики;
- настройка конфигурации сетей INTERBUS и PROFINET;
- программирование устройств INTERBUS и PROFINET;
- диагностика сетей INTERBUS и PROFINET.

В качестве блока питания для контроллера ILC 390 PN 2TX-IB и модульных повторителей используем импульсный источник питания с регулированием в первичной цепи STEPPS100240AC/24DC/1,5.

В качестве блока питания для датчиков, панели управления и прибора измерения плотности и концентрации продукта был выбран однофазный источник питания AD 1500–24S. Устройства обеспечивают высокую надежность и длительный срок службы благодаря встроенной



Рис. 3. Прибор Anton Paar DPRn 427S

защите от короткого замыкания, перегрузки и тепловой защите.

Для измерения давления были выбраны сенсор измерения давления Cerabar M PMP 45. Гигиенические применения требуют специальных типов рабочих соединений и защиты от попадания промывочных жидкостей. Такого рода датчики должны обеспечивать бесперебойное измерение без дополнительных ошибок даже после CIP и SIP очистки.

Для измерения уровня выбран микроимпульсный радар (рефлекс-радар) интеллектуальный преобразователь для непрерывного измерения уровня жидкостей Levelflex M FMP45C.

Для измерения плотности и концентрации выбираем прибор компании Anton Paar DPRn 427S, представленный на рисунке 3.

Точные измерения плотности и концентрации:

- пищевые продукты;
- напитки (экстракт, алкоголь, °Brix, и т.д.);
- сахара.

Комбинация прибора Anton Paar DPRn 427S:

- анализатор напитков Cobrix3 – непрерывное измерение °Brix, концентрации CO<sub>2</sub> и других параметров в безалкогольных напитках, пиве, винах и алкогольных коктейлях;

- мониторинг плотности – измерение плотности при данной температуре и плотности с учетом температурной компенсации;

- интегрированный температурный датчик Pt1000 позволяет осуществлять температурную компенсацию;

- инлайн адаптер – быстрая и простая установка в линиях с достаточно быстрым и непрерывным потоком.

Вторичный преобразователь прибора Anton Paar mPDS mPDS 2000 V3 представлен на рисунке 4.

. Вторичный преобразователь mPDS обрабатывает сигналы от датчиков плотности DPRn, скорости звука SPRn и датчиков плотности/скорости звука DSRn. Пересчет измеренных сигналов в концентрации выполняется автоматически мощным программным обеспечением (ПО). Гибкое ПО работает с аналоговыми и цифровыми



Рис. 4. Вторичный преобразователь Anton Paar mPDS mPDS 2000 V3

входами и аналоговым выходом, оповещает пользователя в случаях выхода продукции за допустимые пределы и т.д.

Модуль mPDS 2000V3:

- работает с датчиками DPRn, SPRn и DSRn;
- дополнительный вход для датчика Carbo CO<sub>2</sub>;
- широкий набор прикладных программ;
- возможность настройки программы;
- определяет плотность и концентрацию 2-х компонентных жидкостей или 3-х компонентных жидкостей с датчиком DSRn;

- встроенные системы безопасности: IPS 501 для подключения DPRn/SPRn/DSRn;

- интерфейс Profibus DP.

Для измерения температуры были выбраны термоэлектрические преобразователи сопротивления Sitrans T3R PA.

Для измерения расхода был выбран расходомер массовый Proline Promass 83S.

В качестве исполнительных механизмов выбираются электроприводы компании Emico LTD SA 005.

Измерительная информация от датчиков в контроллер будет поступать по сетевому интерфейсу Profibus, управляющие воздействия так же будут передаваться по сетевому интерфейсу.

В качестве регуляторов скорости центробежных насосов применили преобразователь частоты компании Danfoss VLT FC 300.

Информация с контроллера будет передаваться на панель управления и рабочую станцию для отображения и архивирования.

Для разработки экранной индикации использовалось ПО Visu+ промышленного применения, предназначенное для визуализации процессов. Наряду с функциональностью SCADA, например, функциями обслуживания и контроля, представления графиков изменения характеристик и обработки аварийных сигналов, данный инструмент предлагает дополнительные возможности по регистрации рабочих параметров и протоколированию, а также по подключению к базам данных и системе Enterprise Resource Planning (ERP – система планирования ресурсов предприятий).



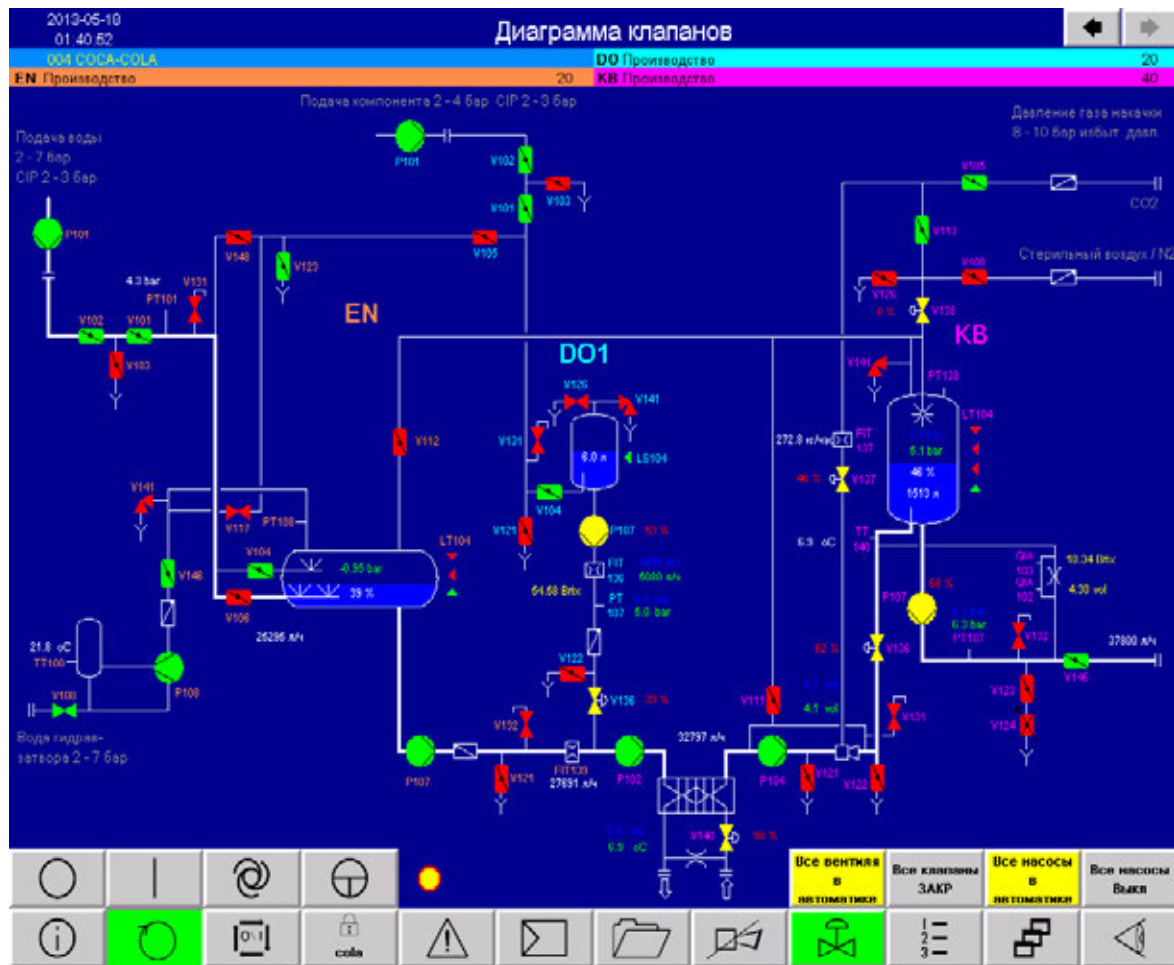


Рис. 5. Экран изображения производства процесса сатурации-карбонизации

На рисунке 5 представлен экран функциональной схемы производства процесса сатурации-карбонизации с диаграммой клапанов.

Разработан алгоритм управления определения качества продукта, блок-схема которого представлена на рисунке 6.

### Алгоритм

**НАЧАЛО**

“Пуск насоса”

“Открытие клапана циркуляции”

ЕСЛИ “Брикс = Брикс зад.” ТО

“Закрытие клапана циркуляции”

“Открытие клапана подачи напитка в блок розлива”

ИНАЧЕ

ЕСЛИ “Брикс < Брикс зад.” ТО “Изменение подачи воды”

ИНАЧЕ

ЕСЛИ “Брикс > Брикс зад.” ТО “Изменение подачи сиропа”

ЕСЛИ “CO<sub>2</sub> = CO<sub>2</sub> зад.” ТО

“Закрытие клапана циркуляции”



“Открытие клапана подачи напитка в блок розлива”  
 ИНАЧЕ  
 ЕСЛИ “Брикс < Брикс зад.” ТО “Изменение подачи воды”  
 ИНАЧЕ  
 ЕСЛИ “Брикс > Брикс зад.” ТО “Изменение подачи сиропа”  
 ЕСЛИ “CO<sub>2</sub> = CO<sub>2</sub> зад.” ТО  
 “Заккрытие клапана циркуляции”  
 “Открытие клапана подачи напитка в блок розлива”  
 ИНАЧЕ  
 ЕСЛИ “CO<sub>2</sub> < CO<sub>2</sub> зад.” ТО “Изменение подачи CO<sub>2</sub>”  
 ИНАЧЕ  
 ЕСЛИ “CO<sub>2</sub> > CO<sub>2</sub> зад.” ТО “Сброс CO<sub>2</sub>”  
 КОНЕЦ

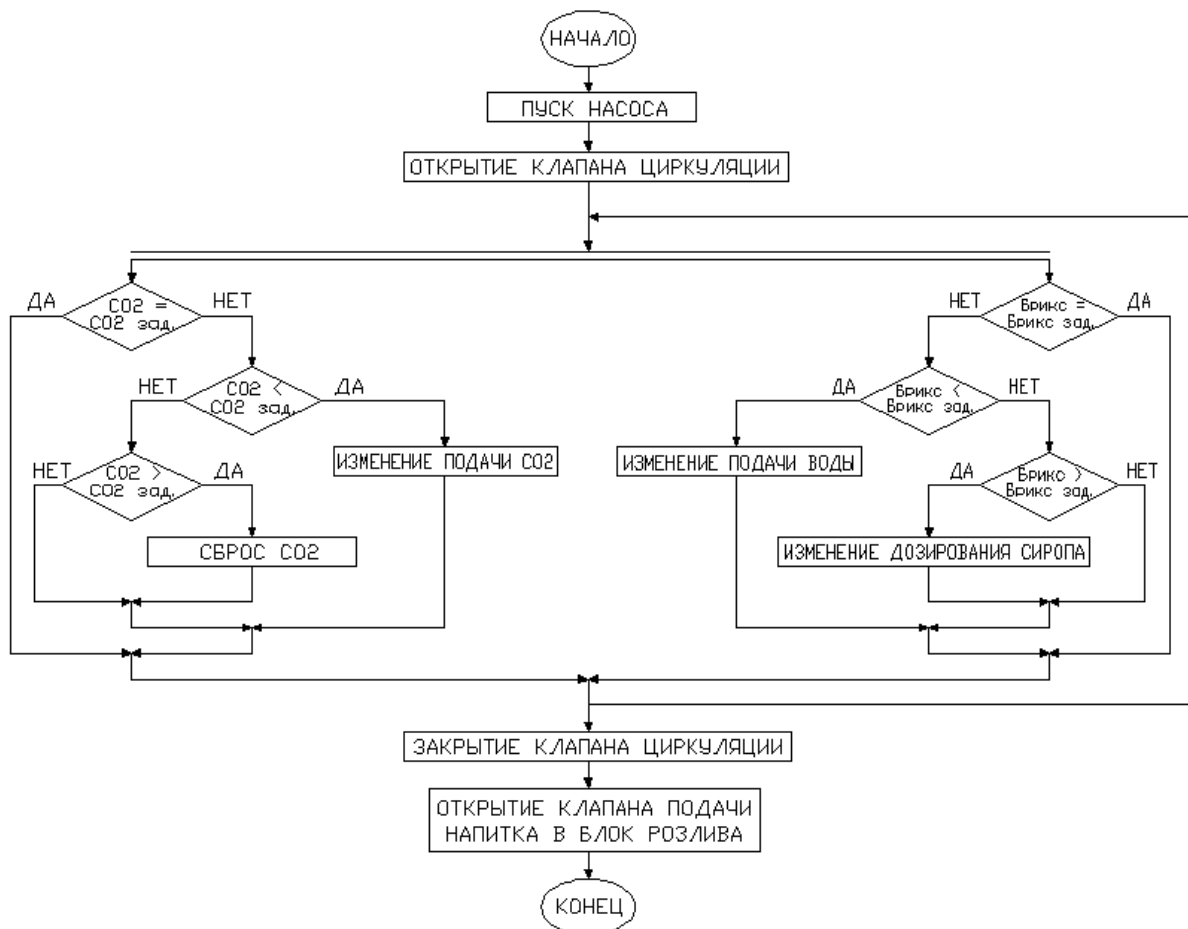


Рис. 6. Блок-схема алгоритма управления

Провели экономическое обоснование технического решения проекта и сделали вывод. Что разработка и внедрение технических решений по проекту позволит получить следующие результаты:

- Капитальные затраты на осуществление проекта К2 = 3,9 млн.руб.;
- Годовой экономический эффект Эг = 973 тыс. руб.;
- Рентабельности капитальных затрат по проекту

$R_{к2} = 25 \%$ ;

– Срок окупаемости капитальных вложений

$T_{ОК}^П = 4 \text{ года}$ .

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что система управления миксером баночной линии, со-

зданная на базе микропроцессорной техники с использованием современного оборудования в области автоматизации технологических производственных процессов, будет удовлетворять заданным требованиям.

Литература:

1. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. — М.: Горячая линия – Телеком, 2009. — 608 с., ил.
2. Нестеров А.Л. Проектирование АСУТП. Методическое пособие. Книга 1 — СПб.: ДЕАН, 2010. — 552 с.
3. Нестеров А.Л. Проектирование АСУТП. Методическое пособие. Книга 2 — СПб.: ДЕАН, 2009. — 994 с.
4. Хазаров В.Г. Интегрированные системы управления технологическими процессами. — СПб.: Профессия, 2009. — 592 с. ил., табл., сх.
5. Каталог компании Anton Paar: URL: <http://www.anton-paar.com/>, дата обращения на сайт 12.02.2013 года.
6. Каталог компании Phoenix Contact: URL: <http://www.phoenixcontact.ru/>, дата обращения на сайт 18.02.2013 года.
7. Каталог компании Danfoss: URL: <http://www.danfoss.info/>, дата обращения на сайт 21.03.2013 года.
8. Каталог компании ООО «КИП–Сервис»: <http://www.kipservis.ru/>, дата обращения на сайт 11.04.2013 года.

## **Разработка системы управления котельной «NOVITER» с целью повышения экономической эффективности**

Савчиц Артем Вячеславович, старший преподаватель;

Шкляр Владимир Николаевич, студент

Волжский политехнический институт (филиал) Волгоградского государственного технического университета

*В данной статье рассматривается проект модернизации системы управления котельной «NOVITER» на предприятии ООО «Кока-Кола ЭйчБиси Евразия» (г. Волжский Волгоградской области), выполненный с целью повышения экономической эффективности процесса.*

Теплоэнергетические установки характеризуются непрерывностью протекающих в них процессов. При этом выработка тепловой энергии в любой момент времени должна соответствовать потреблению (нагрузке). Особое значение придается вопросам автоматизации теплоэнергетических процессов в связи с взрыво- и пожароопасностью перерабатываемых веществ, с необходимостью предотвращения вредных выбросов в окружающую среду.

В результате длительной эксплуатации котельной NOVITER, эксплуатируемые средства автоматизации морально и физически устарели. В результате чего стали возникать частые поломки, сбои в работе оборудования, и как следствие необходимость модернизации средств автоматизации. В связи с выше сказанным целью данной работы является разработка системы управления котельной «NOVITER» с целью повышения экономической эффективности.

На основе проведенного анализа научной и научно-технической литературы и патентов, для реализуемого проекта была выбрана централизованная система управления малой котельной на базе модульного контроллера.

Перед автоматизацией технологического объекта должны быть выполнены следующие мероприятия:

- оборудование технологического объекта управления должно быть механизировано, и работать в установленном межремонтный период;
- технологическая схема должна быть составлена таким образом, чтобы процесс был управляемым, и разделен на определенные зоны с возможностью воздействия на технологический режим в каждой из них;
- должен быть обеспечен доступ к местам установки датчиков, запорных и регулирующих органов;
- число возмущающих воздействий должно быть сведено к минимуму.

Только при выполнении этих условий можно повысить эффективность технологического объекта управления.

Требования к поддержанию режимных и особенно выходных параметров является обязательным условием проведения технологического процесса.

Контролю и регулированию подлежат параметры, характеризующие протекание технологического процесса в отдельных аппаратах. К этим параметрам относятся:

- давления газа;
- давление пара в котле;
- давление в сети отопления;
- уровень воды в котле, в деаэраторе, в вытяжном баке, в баке доп. воды;
- рН воды в деаэраторе, в баке дополнительной воды;
- температура в деаэраторе, в вытяжном баке, в сети отопления, в сети ГВС, в помещении котельной, на улице;
- расход в сети ГВС;
- контроль пламени.

Для системы управления был выбран контроллер BECKHOFF CX. Контроллеры BECKHOFF CX – это модульные программируемые контроллеры, предназначенные для построения систем автоматизации средней и высокой степени сложности. Программирование контроллера BECKHOFF CX осуществляется средой TwinCAT. Программирование контроллеров в TwinCat производится в стандарте МЭК 61131–3.

Процессор является сердцем системы управления. Почти все системные операции контролируются процессором, поэтому важно, чтобы он был правильно установлен и отлажен. Для данной системы управления был использован процессор CX2020 (рис. 1).

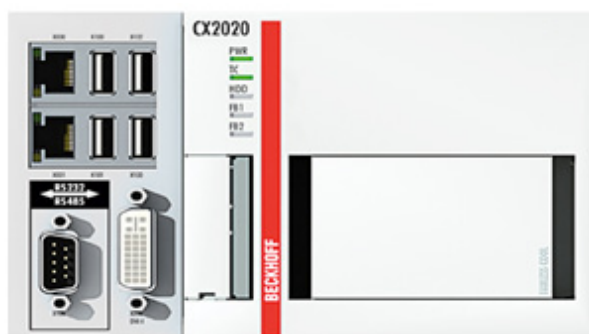


Рис. 1. Внешний вид процессора

Для сетевого ввода/вывода информации был использован сетевой модуль CX2500–0031. Внутренне они подключаются через разъем PCI Express. Последовательные интерфейсы могут быть добавлены с помощью модуля CX2500–0031 (RS422/RS485).

Для ввода дискретных сигналов в контроллер был использован модуль EL1004. В

EL1004 цифровой входной разъем приобретает двоичные сигналы управления от уровня процесса и передает их, в электрически изолированы, с более высокого уровня автоматизации единицы. Цифровые входные разъемы, с EL100x серии имеют 3 мс входного фильтра.

Для вывода дискретных сигналов из контроллера был использован модуль EL2872. В EL2872 цифровой выходной терминал предлагает очень компактную конструкцию с его 16 каналами. 20-контактный разъем обеспечивает безопасное подключение разъемов, используя прорезанием изоляции контакт, как это привычно для кабелей и специальных круглых кабелей. Это

значительно упрощает разводку многим каналам.

В данном проекте была выбрана панель управления серии CP7901 (рисунок 2).



Рис. 2. Внешний вид панели управления

В качестве блока питания для процессора, сетевого модуля, модулей дискретного ввода/вывода, панели управления был выбран блок питания серии CX2100–0904. В источнике питания CX2100–0904 также имеется встроенный емкостной ИБП. В случае сбоя питания это позволяет системе сохранять данные на носителе, а затем завершить работу упорядоченным образом.

В качестве блока питания для датчиков был выбран однофазный блок питания DRP024V060W1AA. Устройства обеспечивают высокую надежность и длительный срок службы благодаря встроенной защите от короткого замыкания, перегрузки и тепловой защите.

Для измерения давления были выбраны датчики давления 415, предназначенные для преобразования избыточного давления (ДИ) в цифровой выходной сигнал.

Для измерения уровня был выбран бесконтактный микроволновый уровнемер PilotREK – 4.

Для контроля пламени был выбран фотодатчик сигнализирующий ФДС-01. Предназначен для преобразования пульсаций потока инфракрасного оптического излучения в электрический сигнал в виде переключающихся контактов реле.

Для измерения температуры были выбраны термоэлектрические преобразователи сопротивления ТЭРА ТСП – RS.

Для измерения рН были выбраны датчики AnaCONT LGP-Ex. С помощью компактных преобразователей рН возможно непрерывно контролировать кислотность (рН<7) и щелочность (рН>7) жидкостей, а на основании полученных данных дозировать необходимые химикаты или совершать другие технологические операции.

Для измерения расхода был выбран расходомер-счетчик электромагнитный «ВЗЛЕТ ЭРСВ-5×0Л».

Измерительная информация от датчиков в контроллер будет поступать по сетевому интерфейсу RS-485, управляющие воздействия так же будут передаваться по сетевому интерфейсу.

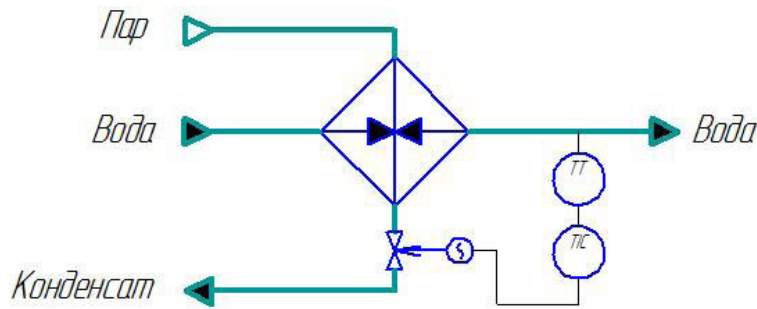


Рис. 3. Схема регулирования системы ГВС

Пуск двигателей будет осуществляться с помощью устройств плавного пуска, что позволит снизить затраты а электроэнергию.

Информация с контроллера будет передаваться на панель оператора и рабочую станцию для отображения и архивирования.

Объектом автоматического регулирования выбран пластинчатый теплообменник (поз.12, лист № 1). С его помощью происходит изменение температуры воды на выходе путем изменения подачи пара.

Для разработанной САУ составили математическое описание пластинчатого теплообменника, как выбранного объекта автоматического регулирования. Применив аналитический метод, состоящий в определении характеристик реального объекта из составленной математической модели по дифференциальным уравнениям.

Теплообменник имеет следующие динамические каналы:

- $F_n(x) \rightarrow T'_ж(y)$  – канал регулирования температуры выходящей воды расходом пара;
- $T'_ж(z) \rightarrow T_ж(y)$  – канал возмущения по температуре входа воды;
- $F_ж(x_1) \rightarrow T_ж(y)$  – канал возмущения по расходу воды.

Передаточные функции теплообменника:

по каналу  $x - y$

$$W_x(p) = \frac{0,92}{0,9 \cdot p^2 + 2,8 \cdot p + 1}$$

по каналу  $x_1 - y$

$$W_{x_1}(p) = - \frac{0,92 \cdot (1,27p + 1)}{0,9 \cdot p^2 + 2,8 \cdot p + 1}$$

по каналу  $z - y$

$$W_z(p) = \frac{(1 - 0,92) \cdot (1,27p + 1)}{0,9 \cdot p^2 + 2,8 \cdot p + 1}$$

Получили общую передаточную функцию объекта управления:

$$W_H(p) = \frac{1,27p + 1,92}{0,9 \cdot p^2 + 2,8 \cdot p + 1} \cdot e^{-0,9 \cdot p}$$

Кривая нагрева, полученная по аналитической математической модели, представлена на рисунке 4.

АЧХ, ФЧХ и АФХ, полученной передаточной функции представлены на рисунках 5 и 6, 7.

Составили матрицу управляемости Q:

$$Q = \left( \frac{G}{(F \cdot G)} \right) ;$$

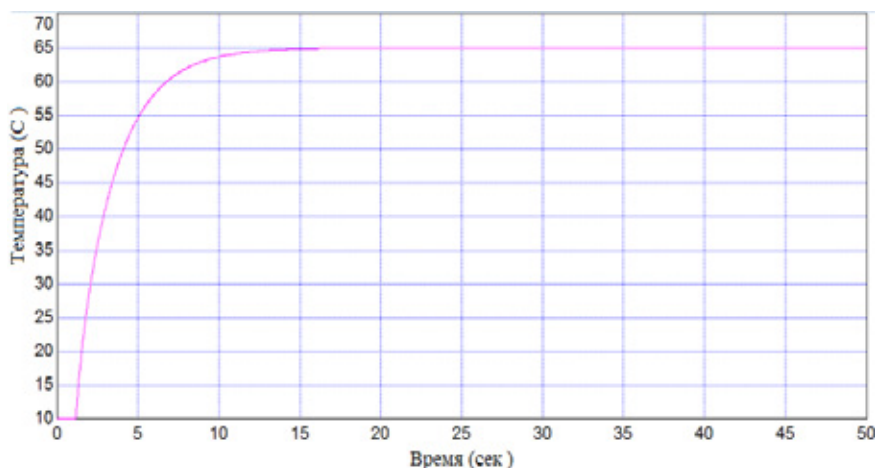


Рис. 4. Кривая нагрева

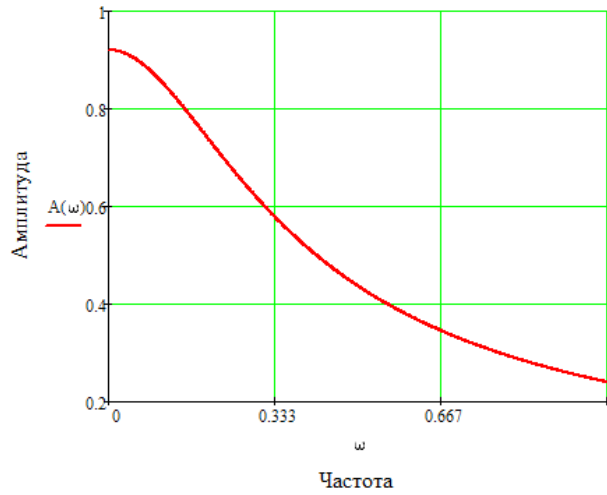


Рис. 5. Амплитудно-частотная характеристика объекта

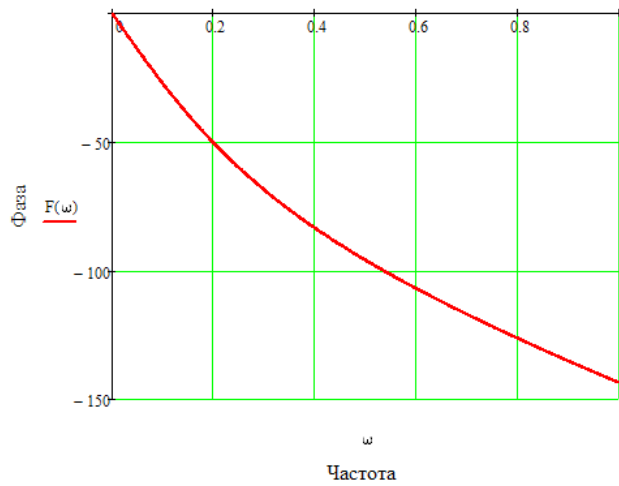


Рис. 6. Фазо-частотная характеристика объекта

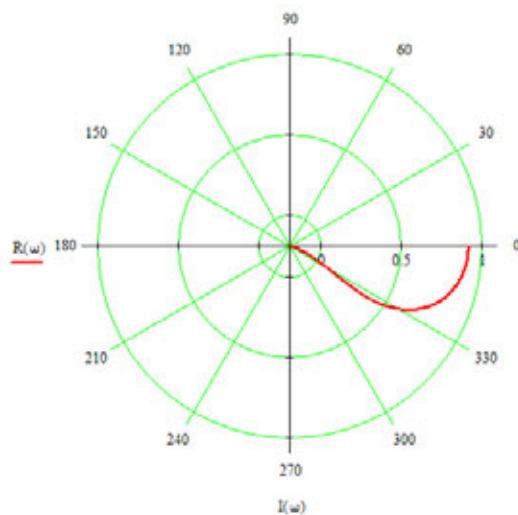


Рис. 7. Амплитудно-фазовая характеристика



По критерию Калмана в рассматриваемой системе ранг матрицы  $Q = 2$ , следовательно, система управляема. Составили матрицу наблюдаемости  $N$ :

$$N = \begin{pmatrix} H^T \\ (F^T \cdot H^T) \end{pmatrix}$$

В рассматриваемой системе ранг матрицы  $N = 2$ , следовательно, система наблюдаема.

Исследовали устойчивость системы, используя корневой метод оценки устойчивости системы (критерий Ляпунова), для этого привели к каноническому виду характеристическое уравнение системы, предварительно разделив уравнение на коэффициент перед старшей степенью уравнения.

Для корневой устойчивости линейной системы необходимо и достаточно, чтобы все корни характеристического уравнения ее передаточной функции имели отрицательные вещественные части.

Анализ корней показывал, что система устойчива, поскольку все корни расположены в левой полуплоскости.

На основании этого сделали вывод, что система управляема, наблюдаема и устойчива.

Так как в объекте управления отсутствует, поступление частых резких возмущений, был выбран для моделируемой системы управления ПИ-регулятор.

ПИ-регулятор обладает двумя важными достоинствами. Во-первых, введение его в статическую САР вместо П-регулятора превращает САР в астатическую, что улуч-

шает качество регулирования в установившемся режиме. Во-вторых, ПИ-регулятор позволяет посредством форсирующего звена, входящего в его состав, в существенной мере компенсировать на высоких частотах инерционность, вносимую интегратором, и сохранить качество переходного режима исходной статической САР, в частности ее быстродействие.

Определили коэффициенты ПИ-регулятора и провели анализ эффективности системы. Сделали выводы, что увеличилось быстродействие, и введение ПИ-регулятора позволило сократить время достижения задания.

Провели экономическое обоснование технического решения проекта и сделали вывод. Что разработка и внедрение технических решений по проекту позволит получить следующие результаты:

– Капитальные затраты на осуществление проекта  $K2 = 1,279$  млн.руб.;

– Годовой экономический эффект  $\Delta r = 317,4$  тыс.руб.;

– Рентабельности капитальных затрат по проекту  $R_{K2} = 25\%$ ;

– Срок окупаемости капитальных вложений  $T_{OK}^П = 4$  года.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что система управления котельной «NOVITER», созданная на базе микропроцессорной техники с использованием современного оборудования в области автоматизации технологических производственных процессов, будет удовлетворять заданным требованиям.

#### Литература:

1. Нестеров А.Л. Проектирование АСУТП. Методическое пособие. Книга 1 – СПб.: ДЕАН, 2010. – 552 с.
2. Нестеров А.Л. Проектирование АСУТП. Методическое пособие. Книга 2 – СПб.: ДЕАН, 2009. – 994 с.
3. Каталог продукции BECKHOFF, 2012г: URL: <http://www.beckhoff.ru>, дата обращения на сайт 15.10.2012 г.
4. Устройства плавного пуска Altistart: URL: <http://www.Schneider-electric.ru>, дата обращения на сайт 10.10.2012 г.
5. Каталог продукции ТЭРА: URL: <http://www.ao-tera.com.ua>, дата обращения на сайт 12.10.2012 г.
6. Дьяконов В.П. VisSim + MathCAD + Matlab. Визуальное математическое моделирование. – М.: СОЛОН – Пресс, 2004. – 384 с.: ил.

## Численное моделирование и исследование переходных процессов при высокоскоростном ударе цилиндрического тела о жесткую преграду

Салиев Эргаш Алибекович, кандидат физико-математических наук, доцент;  
Савурбаев Абдумумин, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник;  
Ташпулатов Мухиддин Аманкулович, соискатель;  
Кувандиков Жура Турсунбаевич, соискатель  
Джизакский политехнический институт (Узбекистан)

*Разработаны алгоритмы и комплекс программ для моделирования на ПК переходных процессов в твёрдом деформируемом теле. Решается задача об ударе цилиндрического тела о жесткую преграду с учётом выхода переднего фронта волны за зону контакта, когда на границе заданы предельные условия взаимодействия: 1) полное прилипание и 2) отсутствие трения.*

## Numerical Modeling and Research of Transient Process at High-Speed Impact of Cylindrical Body to Rigid Barrier

Saliyev Ergash Alibekovich  
Savurbayev Abdumumin, senior scientific researcher  
Tashpulatov Muxiddin Amankulovich  
Kuvandikov Jura Tursunbayevich

*Algorithms and complex of programs for modeling on the IT of transients process in rigid deformable body are developed. The task about impact of a cylindrical body to rigid barrier is solved in content of exit of a forward wave front out of a zone of contact when on boundary conditions of interaction are set: 1) a full adhesion and 2) lack of friction.*

Интерес к задачам высокоскоростного соударения деформируемых тел продиктован необходимостью детального изучения протекающих при этом переходных процессов. Именно в эти промежутки времени происходят возрастания напряжений и температур до максимальных значений, переход материалов из одного состояния в другое, развивается зона контакта. Знание этих закономерностей служат при расчётах на прочность деталей машин, подвергающихся в процессе работы ударным нагрузкам и различного рода конструкций, внедряющихся с малыми и большими скоростями в деформируемую среду, при создании противометеоритной защиты космических аппаратов и т.п.

Как известно, стремления к математическому моделированию переходных процессов при ударе в особенности проявляется в тех областях знания, где прямой эксперимент, позволяющий собрать достаточно полную и объективную информацию об исследуемой реальности, практически невозможен. Кроме того, в случаях когда уравнения состояния среди часто самоопределяется путём изучения распространения пластических волн, возникают трудности правильной интерпретации экспериментальных данных, полученных в условиях высоких скоростей нагружения, когда необходимо учитывать процесс распространения волн. Объяснения этих явлений способствуют развитию теории распространения упругопластических волн и распространения ударных волн, допущениях и позволяющем в то же время ставить разрешаемые математические задачи.

При классическом подходе исследование сплошных сред, начинают обычно с изучения свойств бесконечно малых элементов рассматриваемой области, устанавливают соотношения между средними значениями различных величин, связанных с рассматриваемыми бесконечно малыми элементами, а затем, устремляя размеры элементов к нулю при неограниченном возрастании их числа, получают дифференциальные уравнения в частных производных описывающие поведение области.

В противоположность классическому подходу в настоящее время широко используется подход, основанный на представлении сплошной среды в виде множества конечного числа элементов, соединённых между собой в конечном числе узлов на границе между ними [1]. При такой пространственной дискретизации геометрия объекта с достаточной полнотой сохраняется в идеализированной модели.

При установлении свойств отдельных элементов могут использоваться уравнение, описывающие поведения области, но размеры элементов все время остаются конечными, дифференциальные уравнения в частных производных заменяются системами алгебраических и обыкновенных дифференциальных уравнений.

При этом, если удовлетворяются некоторые условия полноты, то с увеличением числа элементов и уменьшением их размеров поведения дискретной системы приближается к поведению «непрерывной системы», т.е. сплошной среды.

Рассматривается плоская динамическая контактная задача о нормальном ударе цилиндрического полукольца о недеформируемую полуплоскость. Исследуется распространение волн в твердом теле при различных значениях скорости  $V_0$  с предельными условиями взаимодействия в упругом материале:

1) полное прилипание и 2) отсутствие трения.

Пусть тело, имеющее в сечении форму полукольца с внутренним  $R_0$  и внешним  $R_m$  радиусами движется с постоянной скоростью  $V_0$  и в момент времени  $t=0$  встречает абсолютно жесткую неподвижную преграду. В декартовой системе координат  $(x, y)$ , связанной с телом, направление вектора скорости совпадает с осью  $X$ , которая нормальна к поверхности преграды.

При решении задачи удобно обратить движение и считать, что деформируемое тело до удара находится в состоянии покоя, а жесткая преграда налетает на него со скоростью  $-V_0$ . Для упругой среды из геометрии задачи (рис. 1) определяется границы критической области, где скорость расширения зоны контакта будет превосходить скорость продольной волны.

Требуется определить параметры движения в предположении, что первоначальное касание произошло в момент времени  $t=0$  в точке и при различных допущениях относительно характера взаимодействия тел в процессе соударения.

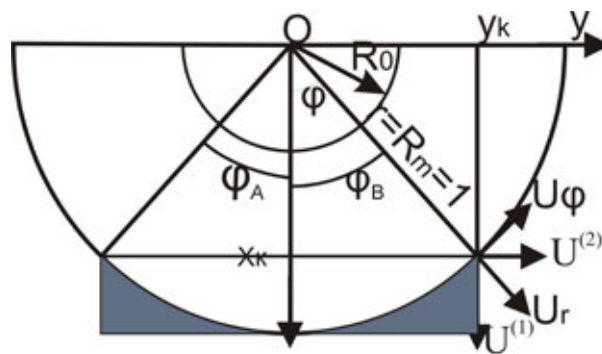


Рис. 1. Геометрия задачи

Уравнение движения дискретной модели выводится в декартовой системе координат на основе вариационного принципа Гамильтона-Остроградского. Для более точной аппроксимации области тела конечно-элементная (КЭ) модель строится в цилиндрической системе координат с помощью регулярной сетки образованной

$$\Delta r = \frac{R_m - R_0}{M}, \quad \Delta \varphi = \frac{\varphi_N - \varphi_0}{N},$$

координатными линиями:  $r = R_0 + i \cdot \Delta r$ ,  $\varphi_j = j \cdot \Delta \varphi$ , а в некоторых случаях для удобства удовлетворения граничных условий переход из цилиндрической системы координат в декартовую осуществляется по формулам:  $x = R \cdot \cos \varphi$ ,  $y = R \cdot \sin \varphi$ .

Уравнение движения для  $i$ -го узла сетки имеет вид:

$$\sum_{k \in M(i)} \Delta m_k \int_{t_1}^{t_2} \ddot{U}^{(1)} dt = - \sum_{k \in M(i)} \int_{t_1}^{t_2} \left\{ \iint_{\Delta V_{k \in M(i)}} \left[ \sigma_{11} \frac{\partial \psi_k}{\partial x} + \sigma_{22} Q_4 \frac{\partial \psi_k}{\partial y} + \sigma_{12} \left( Q_4 \frac{\partial \psi_k}{\partial x} + Q_3 \frac{\partial \psi_k}{\partial y} \right) \right] dv - \int_{\Delta S_{k \in M(i)}} P_1 \psi_k ds \right\} dt,$$

$$\sum_{k \in M(i)} \Delta m_k \int_{t_1}^{t_2} \ddot{U}^{(2)} dt = - \sum_{k \in M(i)} \int_{t_1}^{t_2} \left\{ \iint_{\Delta V_{k \in M(i)}} \left[ \sigma_{11} Q_2 \frac{\partial \psi_k}{\partial x} + (\sigma_{22} + \sigma_{12}) \frac{\partial U^{(2)}}{\partial y} \frac{\psi_k}{\partial y} + \sigma_{12} \psi_2 \frac{\partial \psi_k}{\partial y} \right] dv - \int_{\Delta S_{k \in M(i)}} P_2 \psi_k ds \right\} dt,$$

где введены обозначения:  $Q_1 = \frac{\partial U^{(1)}}{\partial x}$ ,  $Q_2 = \frac{\partial U^{(2)}}{\partial x}$ ,  $Q_3 = \frac{\partial U^{(1)}}{\partial x}$ ,  $Q_4 = \frac{\partial U^{(1)}}{\partial y}$ ;

$U^{(1)}$ ,  $U^{(2)}$  — проекции вектора перемещений материальных частиц на оси декартовой системы координат;  $\psi_k(x, y)$  — функции формы используемого конечного элемента [1].  $k$  — соответствующие локальные номера узла —  $i$  в кратных элементах данного узла;  $\sigma_{pq}$  — компоненты тензора напряжений ( $p, q=1, 2, 2, 1, 2, 2$ );  $p_1, p_2$  — нормальные и касательные к преграде составляющие поверхностных сил.

Границы тела вне зоны контакта считаются свободными от усилий. Вне зоны контакта удовлетворяются условия полного прилипания и отсутствия трения. В терминах скоростей и внешних сил эти условия соответственно записываются так:

$$V_n^i = -V_0 \cdot \cos\alpha, V_t^i = 0; V_n^i = -V_0 \cdot \cos\alpha, P_e^i = 0,$$

где  $i$  принимает все значения из множества граничных узлов зоны контакта.

В качестве начальных условий берутся нулевые.

Шаг интегрирования  $\Delta t_{\text{рас}}^{(n)}$  определяется с учётом ограничений. С одной стороны этот шаг должен удовлетворять условию:  $\Delta \tau_{\text{кр}} \leq \chi \frac{\Delta L}{a_{\text{max}}}$ , где  $0 \leq \chi = \text{const} \leq 1$ ,

$\Delta L$  – минимальный линейный размер элемента,  $a_{\text{max}}$  – максимальная скорость распространения возмущения, с другой стороны необходимо определить такой шаг  $\Delta t_{\text{рас}}^{(n)} \leq \Delta t_{\text{кр}}^{(n)}$ , который обеспечил бы достаточно точное попадание граничных узлов в зону контакта. Предусмотрен вариант перерасчёта в случае перелёта узла за преграду.

Расчёты для линейной среды проведены в цилиндрической системе координат в расчётной области  $R_0=0,5; R_m=1; \varphi_0=0; \varphi_n=0,4; \Delta r=0,01; \Delta \varphi=0,01$  со скоростями удара  $V_0=-0,05$  и  $V_0=-0,1$ , когда параметры, характеризующие экспериментальные функции взяты в виде [2]:

$$\sigma = (\lambda + 2/3 \cdot \mu) \cdot \varepsilon; \sigma_i = 3 \cdot \mu \cdot \varepsilon_i \text{ где } \lambda = 0,43; \mu = 0,285; \varepsilon - \text{объёмная деформация, } \varepsilon_i - \text{интенсивность деформации.}$$

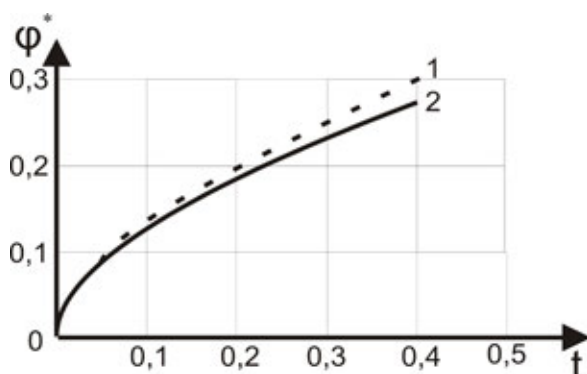


Рис. 2. Законы изменения зоны контакта

На рис. 2 для сопоставления кривых, описывающих зависимости крайней точки зоны контакта от времени в случаях полного прилипания (линия-2) и отсутствия трения (линия-1), приводятся результаты, полученные с идентичными параметрами расчёта. Расчёты показали, что эти кривые в сверхзвуковом режиме расширения крайней точки зоны контакта ( $t^*=0,05$ ) полностью совпадают и начиная с  $t \geq t^*$  в случае отсутствия трения кривая проходит чуть выше, чем во втором случае.

На рис. 3 приведены эпюры касательной к преграде, составляющей вектора скорости для различных моментов времени. Звёздочкой на оси абсцисс помечены положения крайней точки зоны контакта для соответствующих моментов времени.

В зоне контакта при гладкой преграде нет монотонного изменения тангенциальной составляющей скорости частиц. Расчёты показывают, что  $\dot{U}^{(2)}$  с течением времени и расширением зоны контакта меняет знак. Если в начальный момент времени ( $0 \leq t \leq 0,15$ ) между осью симметрии и  $\varphi^*$ ,  $\dot{U}^{(2)} < 0$  и увеличивается при приближении к  $\varphi^*$ , то при  $t \geq 0,2$  в зоне контакта есть точки где  $\dot{U}^{(2)} > 0$ . Справа и слева от крайней точки зоны контакта тангенциальная скорость имеет разные знаки. Причём знаки таковы, что точки тела движутся в противоположные стороны от точки контакта. В самой точке разрыв.

Дополнительные возмущения, порожденные крайней точкой зоны контакта, распространяются вдоль границы контакта и со временем достигают оси симметрии  $\varphi=0$ .

При этом в интервале времени (0,2; 0,25) скорости  $\dot{U}^{(2)}$  в точках вблизи оси  $\varphi=0$  меняют знак. В частности, в точке ( $r=0; \varphi=0,05$ ) положительные значения появляются, начиная с момента времени  $t \geq 0,22$ . Это видно из рис. 4 (б) где показано изменение во времени тангенциальной составляющей вектора скорости в точках ( $(r=1; \varphi=0,05)$  – сплошная линия) и ( $(r=0,9; \varphi=0,15)$  – пунктирная линия) на границе и во внутренней точках тела соответственно.

На рис. 5 приведены графики изменения во времени компонент тензора напряжений  $\sigma_{11}$  и  $\sigma_{22}$  в характерных точках ( $r=1; \varphi=0$ ), ( $r=0,8; \varphi=0$ ) на оси симметрии, в сечении  $r=1$ , ( $r=1; \varphi=0,05$ ) внутри тела ( $r=0,9; \varphi=0,15$ ). Здесь в отличие от случая полного прилипания, в точках на внешней поверхности тела имеет место колебания указанных величин. При этом момент его появления совпадает со временем начала изменения знака кривой  $\dot{U}^{(2)}$  в данных точках.

Изменение во времени вертикальной составляющей вектора скорости  $\dot{U}^{(1)}$  в фиксированных точках ( $r=0,05; \varphi=0$ ); ( $r=0,8; \varphi=0$ ); ( $r=1; \varphi=0,05$ ); ( $r=0,9; \varphi=0,05$ ) кривая  $\dot{U}^{(1)}$  подвергается изменению в сверхзвуковом режиме расширения зоны контакта с момента времени подходе данной точки к преграде и скачком возрастает, определяя величину скорости удара  $V_0=-0,1$  и в дальнейшем остается постоянной. Вертикальное движение в точке ( $r=0,95; \varphi=0$ ) на оси

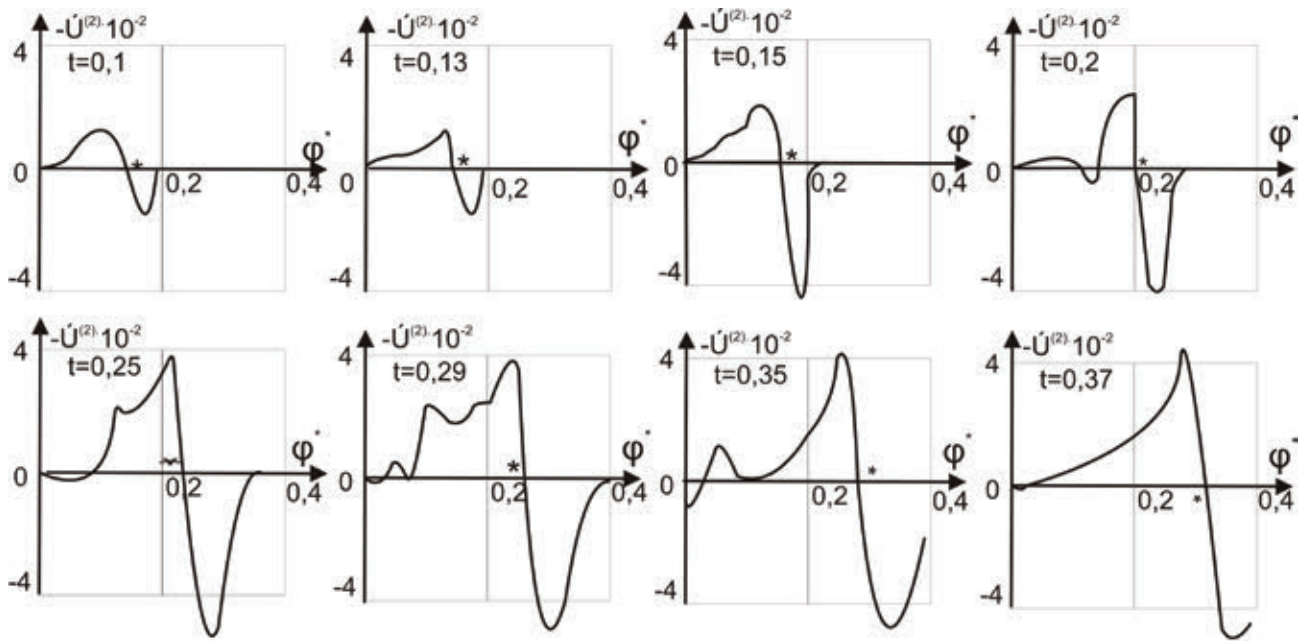


Рис. 3. Эпюры касательной к преграде составляющей вектора скорости

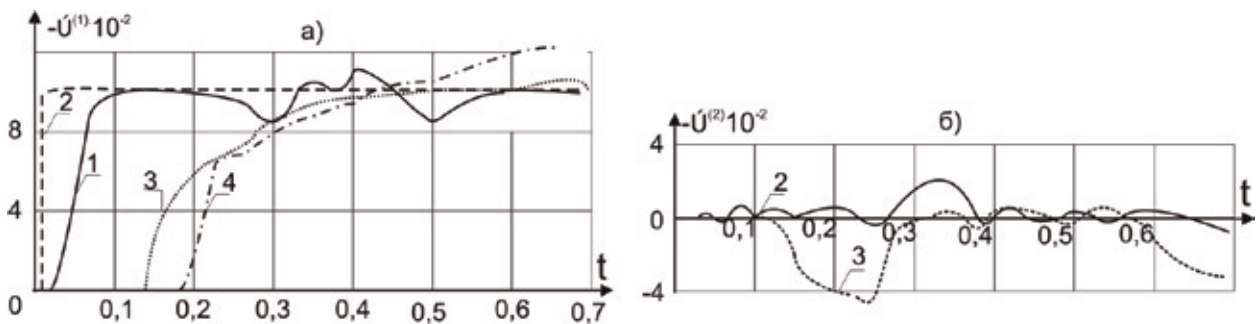


Рис.4. Вертикальное и тангенциальное составляющие вектора скорости. Гладкое тело,  $V_0 = -0,1$ ; 1 - ( $r=1, \varphi=0$ ); 2 - ( $r=1, \varphi=0,05$ ); 3 - ( $r=0,9; \varphi=0,15$ ); 4 - ( $r=0,8; \varphi=0$ );

Рис. 4. Вертикальное и тангенциальное составляющие вектора скорости. Гладкое тело,  $V_0 = -0,1$ ; 1 - ( $r=1, \varphi=0$ ); 2 - ( $r=1, \varphi=0,05$ ); 3 - ( $r=0,9; \varphi=0,15$ ); 4 - ( $r=0,8; \varphi=0$ )

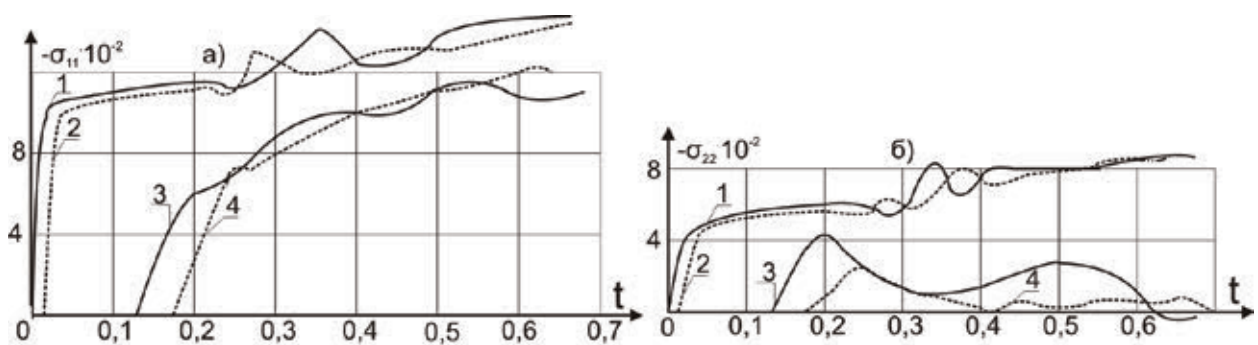


Рис.5. Графики компонент тензора напряжений. Гладкое тело,  $V_0 = -0,1$ ; 1 - ( $r=1, \varphi=0$ ); 2 - ( $r=1, \varphi=0,05$ ); 3 - ( $r=0,9; \varphi=0,15$ ); 4 - ( $r=0,8; \varphi=0$ );

Рис. 5. Графики компонент тензора напряжений. Гладкое тело,  $V_0 = -0,1$ ; 1 - ( $r=1, \varphi=0$ ); 2 - ( $r=1, \varphi=0,05$ ); 3 - ( $r=0,9; \varphi=0,15$ ); 4 - ( $r=0,8; \varphi=0$ )



симметрии появляется на фронте продольной волны, на котором скорость  $\dot{U}^{(1)}$  скачком возрастает до значения в точке ( $\tau=1$ ;  $\varphi=0,05$ ). На фронте поперечной волны кривая изменяется непрерывно. Это продолжается до момента времени ( $t \approx 0,25$ ) прихода в данную точку возмущений, распространяющихся вдоль границы контакта. Влияние последнего, как подтвердили расчёты, с глубиной уменьшается.

Таким образом поставленная цель разработки алгоритмов и комплекс программ, представляющие интегрированную среду, как инструмент организации и проведения вычислительных экспериментов по исследованию переходного процесса при ударе цилиндрического кольца о жесткую преграду достигнута.

Литература:

1. Зенкевич О., Чанч И. Метод конечных элементов в теории сооружений и в механике сплошных сред. — М.: Недра, 1974. — 240 с
2. Рахматуллин Х.А. Сагомоян А.Я., Алексеев Н.А. Вопросы динамики грунтов. — М.: Недра, 1967. — 232 с
3. Бадалов Ф.А. Метод степенных рядов в линейной теории вязко упругости. — Ташкент.: Фан, 1980. — 221 с.

## Адсорбционная очистка легких углеводородных смесей и газов

Сафаров Бахри Джумаевич, кандидат технических наук, доцент;  
Исломов Умид Наимович, старший преподаватель;  
Уринов Рауф Жумаевич, старший преподаватель  
Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

Легкие бензины и газы, получаемые при переработке товарных нефтей Узбекистана, содержат 0,022—1,7 % и более сернистых соединений. Эти примеси оказывают крайне вредное влияние на процессы последующей переработки углеводородных фракций. Они отравляют катализаторы процессов полимеризации, крекинга, риформинга и др.

Несмотря на многочисленные исследования [1—3] в области очистки и доочистки углеводородных фракций, поиск и разработка новых методов являются актуальными. Адсорбционные методы очистки в этом плане следует считать достаточно перспективными.

В настоящей работе приводятся результаты очистки прямогонного бензина (н.к. 80°C) мингбулакской нефти, а также газоконденсата месторождения Уртабулак с помощью ионообменных смол и цеолитов.

Для очистки прямогонного бензина, содержащего 0,042 вес. % общей серы и 0,003 вес. % меркаптановой, был использован сильнокислотный монофункциональный катионит КУ-2 в водородной форме. Очистку проводили в динамических условиях в колонке (при загрузке катионита в количестве 100 г) со скоростью потока бензина 1 мл/мин. Было очищено 25 л продукта с отбором фракций по 1 л, в которых определяли содержание сернистых соединений методом гидрирования их над активным никелем Ренея [4]. Результаты очистки приведены в табл. 1.

Таким образом, 100 г катионита сорбировано 2563,8 г серы, или 88,6 мг-экв. Извлечение сернистых соединений в первой фракции составляет 91 % и содержание серы снижается до 0,003 %. Эффективность очистки достаточно высокая и, учитывая возможность многократ-

ного использования сорбента, так как емкость его после регенерации полностью восстанавливается, можно считать применение этого ионита для тонкой очистки нефтепродуктов весьма перспективным, тем более, что получаемые при десорбции концентраты сернистых соединений могут служить ценным сырьем для нефтехимии.

Регенерацию катионита проводили двумя способами. В целях дальнейшего исследования физико-химических свойств выделяемых концентратов десорбцию осуществляли в несколько стадий растворителями, как это описано в работе [3], но вместо 5 %-ного раствора HCl в этиловом спирте использовали спиртовых раствор щелочи. Если же подобная цель не ставилась, а решался вопрос о числе стадий сорбции—десорбции, регенерацию проводили в одну стадию — спиртовой щелочью.

Представляло определенный интерес изучение очистки газоконденсатов и газов, содержащих сернистые соединения. Уртабулакский газоконденсат для возможности его применения в качестве бензина-растворителя при производстве полиэтилена очищали от примесей гетероатомсо-держущих соединений некоторыми солевыми формами сульфокатионита КУ-2 и цеолита NaX в динамических условиях (табл. 2).

В результате проведенной очистки в очищенных фракциях полностью отсутствуют меркаптаны при их исходной концентрации 0,0002 %, а содержание общей серы уменьшилось с 0,011—0,015 до 0,005—0,007 вес. %.

Как видно из данных табл. 2, модифицированный цеолит NaX более эффективен при очистке конденсата. Степень очистки достигает 65 %. следовательно, помимо полного удаления меркаптанов цеолит извлекает

Таблица 1

Номера фракции	Количество извлеченной общей серы		
	мг	мг-экв	% вес.
1	202,1	6,40	91
2–3	188,3 × 2=376,6	6,1 × 2=12,2	85,4
4	146,5	4,8	67
5–6	126,2 × 2=252,4	4,2 × 2=8,4	58
7–12	120,0 × 5=600,0	4,0 × 5=20,0	55
13–17	112,4 × 4=449,6	4,7 × 4=18,8	58
18–21	101,2 × 3=303,6	3,4 × 3=10,2	56
22–25	77,0 × 3=231,0	2,6 × 3=7,8	45
Всего извлечено общей серы: 2563,8		88,60	

Таблица 2

Адсорбент	Пропущено газоконденсата, л	Поглощено сернистых соединений, мг	Степень очистки, %
Катионит, СО-форма	10	420	56
Ag-форма	8	332	55
Цеолит, СО-форма	10	421	56
Fe-форма	15	628	61
Mn-форма	15	695	66

Таблица 3. Групповой состав углеводородов исходного и очищенного Уртабулакского газоконденсата

Класс углеводородов	Исходный		Очищенный	
	Число расшифрованных пиков	Содержание, % вес.	Число расшифрованных пиков	Содержание, % вес.
Нормальные парафины	7	29,00	7	29,50
С третичным атомом	18	26,50	18	27,68
С четвертичным атомом	6	7,00	5	10,99
Циклопентановые	12	16,50	10	14,12
Циклогексановые	6	11,30	6	8,92
Ароматические	5	6,50	4	5,5
Всего:	54	96,30	50	96,71
Не расшифровано:	8	3,70	5	3,29

и другие классы сернистых соединений, например сульфиды. Таким образом, данный адсорбент может быть рекомендован для очистки углеводородных фракций, содержащих в качестве основной примеси такие сернистые соединения, как меркаптаны и сульфиды. Кроме того, как показали результаты газохроматографического анализа, в очищенном газоконденсате вдвое по сравнению с исходным снизилось содержание ароматических углеводородов (табл. 3). В частности, очищенный газоконденсат не содержит этилбензола, 1,3-диметилбензола, 1-метил-3-этилбензола. Уменьшилось содержание циклопентановых, циклогексановых и других углеводородов, а также полностью удалены кислые компоненты.

Опыты по очистке газовой смеси были проведены с использованием ионитов и цеолитов, обработанных растворами солей металлов I, II, IV, VII и VIII групп, с целью получения соответствующих солевых форм. Поскольку сернистый водород практически всегда присутствует в углеводородных газах, нами и была проверена возможность его извлечения этими адсорбентами. В качестве газов-разбавителей использовали азот и воздух. Прокоск сероводорода контролировали по раствору уксуснокислого кадмия. Обменная емкость изучаемых типов адсорбентов по сере составила 10,5–14,6 вес. % на смолу. Более высокая емкость этих адсорбентов в сравнении с емкостью по сераорганическим соединениям из нефте-

продуктов объясняется тем, что в газовой смеси отсутствуют соединения такого характера, как азотистые основания, кислоты и другие, которые также адсорбируются, затрудняя сорбцию сернистых соединений.

Литература:

1. Пат. Японии № 6218, кл. 18d3, 1972.
2. Лобанова Г.А., Беньковский В.Г., Котова А.В. «Нефтепереработка и нефтехимия», 1973, № 12, с. 10.
3. Kennet, Bacon К.Н. «Oil and gas», 1961, № 12, р. 1991.
4. Livingston I.V. «Hudrocarbon Process», 1971, 50, № 1, р. 126.
5. Турсунова А.В., Садыков А.Т. В сб. «Углеродные адсорбенты и их применение в промышленности», т. 2, Пермь, 1996, с. 51.
6. Талипов Г.А., Абдуллаева А.В. «Свойства и химические превращения углеводов мингбулакских нефтей», Изд-во «Наука» РУз. 1998, с. 180.

## Динамическое программирование в решении задачи оптимального размещения электронных компонентов системы управления

Семахин Андрей Михайлович, кандидат технических наук, доцент;  
Баталов Илья Сергеевич, студент  
Курганский государственный университет

*В статье изложен способ повышения эффективности проектирования электромонтажных схем системы управления технологическим оборудованием с использованием метода Р. Беллмана. Разработана математическая модель, позволяющая наилучшим образом разместить электронные компоненты электромонтажной схемы системы управления технологическим оборудованием. Результаты математического моделирования, позволяют сократить временные и финансовые затраты, повысить обоснованность принимаемых решений.*

**Ключевые слова:** Динамическое программирование, принцип оптимальности Р. Беллмана, сетевая модель, метод Р. Беллмана, состояние системы, траектория, шаговое управление, рекуррентное уравнение, эффективность проектирования, математическое моделирование, математическая модель оптимизации.

Проектирование электромонтажных схем с наименьшими временными и финансовыми издержками является актуальной задачей. Динамическое программирование позволяет повысить эффективность проектирования электромонтажных схем систем управления технологическим оборудованием.

Динамическое программирование возникло в 1951–1953 годах благодаря работам Р. Беллмана [1, с. 158]. В основе динамического программирования лежит принцип оптимальности Р. Беллмана, заключающийся в замене решения исходной многомерной задачи последовательностью задач меньшей размерности. Принцип Р. Беллмана используется для принятия решений в многоэтапных процессах и формулируется следующим образом: если в каждом из состояний дальнейшее поведение системы не зависит от того, как она попала в это состояние, то дальнейшая траектория должна быть оптимальной. Под траекторией понимается последовательность состояний, в которых находится система [2, с. 171].

В каждом из состояний системы известны воздействия, последствия и затраты на переход из одного состояния в другое. Пусть  $x_i$  шаговое управление на  $i$  этапе,  $i = \overline{1, n}$ ,

$n$  – количество этапов. Решение задачи сводится к определению последовательности воздействий на состояние системы  $X^*(x_1, x_2, \dots, x_n)$  при которой суммарные затраты минимальны

$$\min \leftarrow Z = \sum_{i=1}^n z_i$$

где  $z_i$  – затраты на  $i$  шаге.

В соответствии с принципом оптимальности Р. Беллмана  $x_i$  выбираются таким образом, чтобы суммарные затраты на последующие этапы были минимальны. Суммарные затраты зависят от состояния  $S$  и складываются из затрат на  $i$  шаге  $z_i(S, x_i)$  и на последующих шагах. Суммарные затраты на все этапы обозначим  $Z_i$ , тогда оптимальное управление на каждом шаге определяется по рекуррентному уравнению динамического программирования [2, с. 173].

$$Z_i(S) = \min \{ z_i(S, x_i) + Z_{i+1}(f(S, x)) \},$$

где  $S$  – состояние системы;

$z_i(S, x_i)$  – затраты на  $i$  этапе;

$Z_{i+1}(f(S, x))$  – затраты на следующем этапе.

Рекуррентное уравнение динамического программирования выражает затраты на все оставшиеся этапы из любого состояния  $S$  через затраты на данном  $z_i$  и на всех последующих шагах  $Z_{i+1}(f(S, x))$ . Для последнего шага затраты рассчитываются по формуле

$$Z_n(S) = \min_{x_n} z_n(S, x_n)$$

где  $z_n(S, x_n)$  – затраты на последнем шаге  $n$  [2, с. 174].

Разработаем математическую модель динамического программирования оптимального размещения электронных компонентов на электромонтажной панели системы управления технологическим оборудованием.

Постановка задачи. Имеется конечное множество электронных компонентов системы управления технологическим оборудованием и известны первоочередность и оценка эффективности (полезность) размещения электронного компонента на электромонтажной панели. Необходимо разместить электронные компоненты на панели таким образом, чтобы суммарный эффект (полезность) был максимальным.

Размещение электронных компонентов на панели системы управления – многоэтапный процесс. Решение задачи определяется методом динамического программирования (метод Р. Беллмана).

Пусть  $B_i$  – электронный компонент системы управления технологическим оборудованием ( $B_0$  – пустой электронный компонент),  $i = 0, n$ ,  $M_j$  – уникальное место размещения электронного компонента,  $j = 1, m$ ,  $X_{ij}$  – бинарная переменная ( $X_{ij} = 1$  –  $i$  электронный компонент размещен на  $j$  месте, иначе  $X_{ij} = 0$ ). Оценка эффективности (полезность)  $c_{ij}$  размещения  $B_i$  электронного компонента на  $M_j$  месте размещения.

Математическая модель оптимального размещения электронных компонентов системы управления имеет вид

$$\max \leftarrow Z = \sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} * X_{ij}$$

Целевая функция при ограничениях

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^m X_{ij} = 1 \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \sum_{i=0}^n X_{ij} = 1 \end{cases} \quad (2)$$

$$X_{ij} \geq 0, i = \overline{0, n}, j = \overline{1, m} \quad (3)$$

$$X_{ij} - \text{целое число} \quad (4)$$

Ограничение 1 обеспечивает размещение одного электронного блока на панели электромонтажной схемы системы управления технологическим оборудованием на  $i$  шаге.

Ограничение 2 обеспечивает уникальность места расположения электронного компонента на электромонтажной схеме системы управления.

Ограничение 3 налагает неотрицательность на искомые переменные.

Ограничение 4 налагает дискретность на искомые переменные.

Множество  $B = \{B_1, B_2, \dots, B_n\}$  сформировано в результате решения задачи оптимизации структуры электромонтажной схемы системы управления модульной компрессорной станцией, выпускаемой ОАО «Курганхиммаш» [3, с. 92].

Множество  $B = \{B_1, B_2, \dots, B_n\}$  ранжировано. Это позволяет размещать в первую очередь значимые и ответственные электронные компоненты на электромонтажной панели системы управления.

Оценка эффективности (полезность)  $c_{ij}$  размещения  $B_i$  электронного компонента на  $M_j$  месте размещения,  $i = \overline{0, n}$ ,  $j = \overline{1, m}$  представляет интегрированный показатель, учитывающий количественные и качественные характеристики электронных компонентов системы управления. Например, размеры и конструктивные особенности электронных компонентов, удобство монтажа и обслуживания, требования техники безопасности и т.д.

На рис. 1 представлена сетевая модель задачи оптимизации размещения электронных компонентов системы управления.

Динамическое программирование определяет оптимальное решение  $n$ -мерных задач путем ее декомпозиции на  $n$  этапов. Вычислительное преимущество такого подхода состоит в том, что решается одномерная оптимизационная задача вместо  $n$ -мерной задачи. Для решения задач методом динамического программирования используются рекуррентные алгоритмы прямой и обратной прогонки. В прямом алгоритме вычисления проводятся последовательно от первого этапа до последнего. В обратном алгоритме вычисления проводятся от последнего этапа до первого.

Если задано начальное состояние управляемой системы, то задача решается в обратном направлении, а если конечное, то в прямом. Если заданы как начальное, так и конечное состояния, то задача усложняется [1, с. 173].

С вычислительной точки зрения алгоритм обратной прогонки более эффективный, чем алгоритм прямой прогонки [4, с. 445].

Модели динамического программирования включают три основных элемента:

1. Определение этапов.
2. Определение на каждом этапе вариантов решения.
3. Определение состояний на каждом этапе [4, с. 446].

Результаты проведенных исследований позволили сделать выводы.

1. Разработана математическая модель динамического программирования размещения электронных ком-

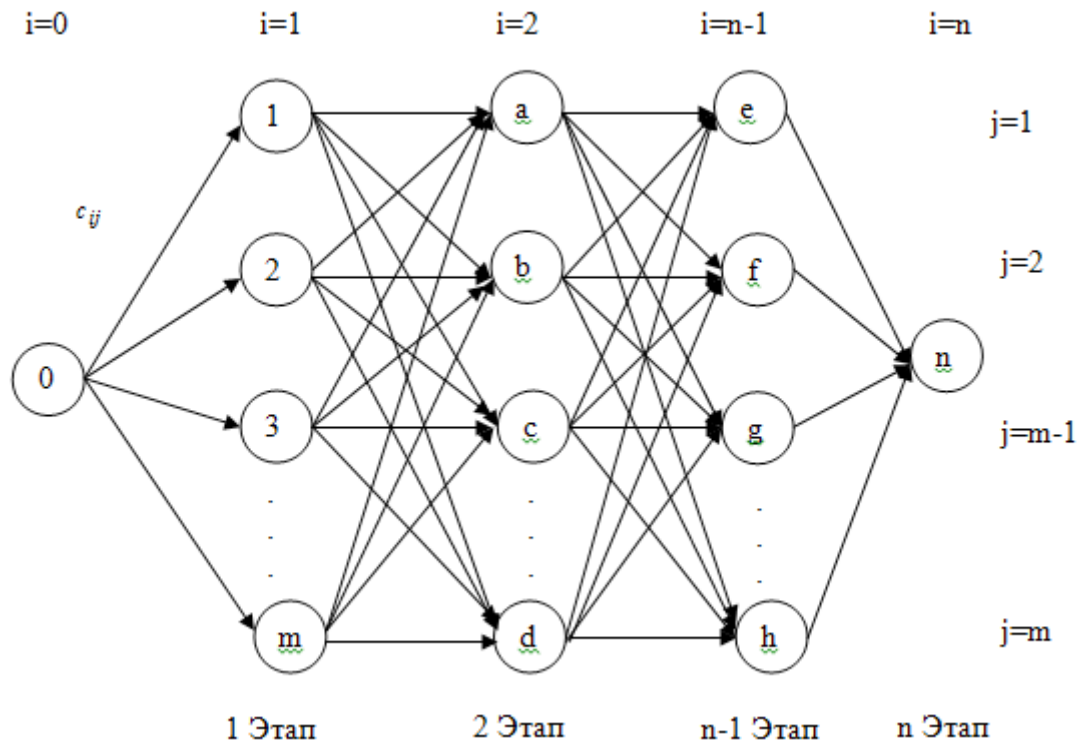


Рис. 1 Декомпозиция задачи оптимизации размещения электронных компонентов системы управления на  $n$  этапов

понентов электромонтажной схемы системы управления модульной компрессорной станцией, выпускаемой ОАО «Курганхиммаш».

2. Математическая модель позволяет сократить затраты и сроки проектирования электромонтажной схемы. Повысить обоснованность принимаемых решений.

Литература:

1. Конюховский П.В. Математические методы исследования операций в экономике. — СПб.: Издательство «Питер», 2000. — 208 с.
2. Струченков В.И. Методы оптимизации. Основы теории, задачи, обучающие компьютерные программы: Учебное пособие/В. И. Струченков. — М.: Издательство «Экзамен», 2005. — 256 с.
3. Семахин А.М., Баталов И.С. Математическая модель оптимизации структуры электромонтажной панели системы управления. Ежемесячный научный журнал «Молодой ученый» № 4 (51). — Чита, ООО «Издательство молодой ученый», 2013. — с. 91–94.
4. Таха Х.А. Введение в исследование операций. 7-е издание: Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2005—912 с.



## Точности определения местоположения подвижных наземных объектов в сотовых сетях GSM и UMTS

Сурков Владимир Олегович, аспирант  
Тамбовский государственный технический университет

*Интеграция в навигационных системах спутниковых радионавигационных систем с системами сотовой связи является перспективным направлением для их развития и дальнейшего совершенствования. Поэтому необходимо выбрать наиболее подходящую для нужд навигации технологию позиционирования в сотовых сетях.*

*Целью статьи является анализ точности позиционирования в наземных сотовых сетях GSM и UMTS и выбор наиболее целесообразной технологии позиционирования для каждой из них. Сбор необходимых данных проводился путем рассмотрения нескольких технологий позиционирования с последующим анализом погрешностей определения местоположения для каждой из них. Результаты показали что, наиболее приемлемой с точки зрения точности технологией позиционирования в сотовых сетях GSM можно считать усовершенствованную технологию измерения разности времени приема сигналов (E-OTD) и её модификации. Для UMTS такими технологиями являются: технология измерения разности времени приема сигналов (OTDoA) с технологией совокупного виртуального подавления сигналов (OTDoA – CVB) для нормального уровня сигнала и технология OTDoA по опорным узлам (OTDoA-RNBP) в местах со слабым уровнем сигнала, а так же модификации технологии CellID. Применение указанных технологий тесным образом связано с применением спутниковых систем навигации.*

### Введение

Задача повышения точности определения координат местоположения объекта является одной из основных для разработчиков навигационных систем. В настоящее время спутниковые радионавигационные системы (СРНС) являются основными из радиотехнических систем коррекции, используемых в навигационных системах для решения задачи позиционирования. При всех своих достоинствах СРНС имеют ряд недостатков при их применении, обусловленных в первую очередь из-за распространения сигналов в условиях города при плотной застройке улиц. Для обеспечения связи сегодня широко используются наземные системы сотовой связи (НСС). В НСС доступна функция определения координат местоположения клиентского оборудования. Поэтому целесообразно использование НСС в навигационных системах совместно с СРНС для определения координат местоположения.

Точность определения местоположения, полученная с помощью НСС, напрямую зависит от технологий позиционирования применяемых в них. Поэтому появляется необходимость сравнения точностей позиционирования в НСС при применении различных технологий и выбора оптимальной технологии из уже имеющихся в соответствии с предъявляемыми требованиями. Данному вопросу посвящено множество публикаций. Так в [1] производится обзор технологий позиционирования в сетях GSM, в [2] приводится классификация технологий позиционирования в сотовых сетях и дается обзор систем зарубежного производства, использующие данные технологии. В [3] приводится пример использования комбинации сотовых сетей и спутниковых навигационных систем с целью из-

учения их характеристик в экспериментальных условиях. Однако обзор технологий позиционирования в сетях GSM и UMTS с выбором наиболее подходящего варианта как для GSM, так и для UMTS в литературе не встречается. Целью статьи является анализ точности позиционирования в наземных сотовых сетях GSM и UMTS и выбор наиболее целесообразной технологии определения местоположения для каждой из них.

### Общие сведения о навигационных системах для подвижных наземных объектов и классификация технологий позиционирования в системах сотовой связи

Обычно под термином навигационная система принято понимать совокупность приборов, алгоритмов и программного обеспечения, позволяющих произвести ориентирование объекта в пространстве. Навигационные системы можно разделить на множество категорий в зависимости от назначения, объема получаемой навигационной информации и используемых методов навигации. Например, в зависимости от области применения навигационные системы разделяют на системы морской, наземной и воздушной навигации. Система навигации ПНО решает задачи определения координат местоположения, параметров движения и углов ориентации подвижного объекта и выдачу необходимой информации. Анализ состава навигационных систем ПНО и обзору существующих систем посвящены отдельные публикации. Можно лишь отметить, что в качестве основной радиотехнической системы коррекции используется система спутниковой навигации.

При всех своих преимуществах таких как высокая точность позиционирования, глобальное покрытие и др., у спутниковых систем есть и недостатки. Так применение СРНС затруднено в густо застроенных городских кварталах из-за многолучевого распространения радиосигнала, вследствие отражения сигналов СРНС от зданий и сооружений. В условиях города дополнительным источником данных о текущем местоположении объекта могут стать системы сотовой связи по причине их широкого распространения в большинстве городов. При их использовании в зависимости от применяемой технологии определения местоположения, возможно, получить точность до 50 м. Поэтому целесообразно рассмотреть существующие технологии позиционирования в наземных сотовых сетях (НСС) и проанализировать возможность их применения для нужд навигации. Далее приведем классификацию данных технологий.

Технологии позиционирования классифицируются по тому, где измеряются параметры сигнала и определяется местоположение абонента:

1. На основе мобильной станции (MS-based);
2. С поддержкой данных сети (Network-assisted);
3. С поддержкой мобильной станции (MS-assisted);
4. На базе сети (Network-based).

Данная классификация является наиболее распространенной и представлена в [4,5].

#### **Анализ точности позиционирования в НСС и выбор оптимальной технологии определения местоположения**

В таблице 1 и 2 приведены точность определения местоположения, достигнутая с помощью различных технологий и принципы работы данных технологий.

Наиболее целесообразной технологией позиционирования в НСС можно считать технологию E-OTD для сетей GSM. Остальные технологии либо имеют низкие показатели точности (CellID) либо не могут применяться по техническим причинам, таким как сложность приема сигналов от нескольких базовых станциях, которая харак-

Таблица 1. Технологии позиционирования в сотовых сетях и их принципы работы

Технология позиционирования	Принцип работы
Технология идентификации соты (CellID)	Сеть мобильной связи может определить приблизительное положение мобильного телефона, зная в какой ячейке соты, устройство используется в данный момент времени
Технология определения местоположения на основе вычисления времени распространения сигнала по линии «вверх» (ToA)	Информацию о местоположении можно получить из абсолютного времени распространения сигнала между передатчиком и приемником, или наоборот
Технология определения местоположения на основе вычисления наблюдаемого времени приема сигнала (OToA)	Принцип аналогичен, что и для ToA
Усовершенствованная технология измерения разности времени приема сигналов (E-OTD)	Технология основана на измерении времени прохождения сигнала от базовой станции (БС) до мобильной и до специальной станции измерения, координаты которой известны
Технология измерения разности времени приема сигналов (OTDoA)	Аналог технологии E-OTD
Технология определения местоположения по направлению приема сигнала (AoA)	Данная технология основана на измерении углов направления прихода радиосигнала от телефона абонента относительно линии, соединяющей две базовые станции сотовой сети

Таблица 2. Технологии позиционирования, используемые в сетях GSM и UMTS

Технология позиционирования	Тип сотовой сети	Точность, м.
Технология идентификации соты (CellID)	GSM	500
Технология определения местоположения на основе вычисления времени распространения сигнала по линии «вверх» (ToA)	GSM	125
Технология определения местоположения на основе вычисления наблюдаемого времени приема сигнала (OToA)	UMTS	100–300
Усовершенствованная технология измерения разности времени приема сигналов (E-OTD)	GSM	40–150
Технология измерения разности времени приема сигналов (OTDoA)	UMTS	50
Технология определения местоположения по направлению приема сигнала (AoA)	UMTS	100–200

терна для технологии OTDoA.

Таким образом, можно выделить несколько направлений повышения точности технологий позиционирования в НСС:

1. Внедрение более совершенных приемопередающих устройств (секторных и адаптивных антенн). Первое направление в настоящее время слабо реализовано из-за необходимости значительных затрат со стороны сотового оператора на дополнительные функции, к которым и относится функция определения местоположения.

2. Определение дополнительных параметров при позиционировании:

- Задержки распространения сигнала (Timing Advance, TA) от базовой станции до мобильной в пределах ячейки;

- Разницы между временем приема сигнала и реальным временем (Real Time Difference, RTD);

- Отклонения времени приема (Rx Timing Deviation, RxTD);

- Задержки времени распространения сигнала от абонентского оборудования (User Equipment Timing Advance, UETA);

- Параметра RSPB – параметр дает информацию о потере мощности сигнала передатчика базовой станции.

Широко известной технологией реализующий данный принцип является технология CellID – TA для сети GSM и CellID – RSPB для сети UMTS.

3. Объединение с другими технологиями позиционирования реализующееся в:

1. Соединении между собой технологий представленных в таблице 1;

2. Соединении между собой технологий представленных в таблице 1 и технологий, которые не используются в качестве основных для позиционирования в НСС. В качестве дополнительных технологий позиционирования могут быть использованы технология позиционирования по времени прохождения сигнала «туда и обратно» (RTT), технология позиционирования по опорному узлу (RNBP), технология позиционирования с применением специальных модулей позиционирования (PE). Принципы работы данных технологий подробно описаны в [6].

Результатом реализации данного направления стали следующие технологии: OTDoA – AoA [7], AoA – RTT [8], CellID – RTT [9,10].

4. Применение дополнительных методов для обеспечения работоспособности в настоящее время применяется только для технологии OTDoA и реализовано в следующих её модификациях:

- Технология определения местоположения OTDoA с периодическим отключением сигнала по линии «вниз» (Idle Period Downlink, IPDL) – OTDoA – IPDL;

- Технология определения местоположения OTDoA с технологией совокупного виртуального подавления сигналов (Cumulative Virtual Blanking, CVB) – OTDoA – CVB;

- Технология определения местоположения OTDoA по опорным узлам (OTDoA-RNBP, Reference-Node-Based Positioning)

- Технология определения местоположения OTDoA с применением специальных модулей позиционирования (OTDoA-PE, Positioning Elements) OTDoA – IPDL с выравниванием по времени – OTDoA – TA – IPDL.

Принципы работы, оценка точности и другие параметры данных технологий описывается в [11–13]. Различие между OTDoA – TA – IPDL и OTDoA – IPDL описывается в [14].

5. Комбинация выше перечисленных направлений. Примером реализации является технология OTDoA – IPDL с применением специальных модулей позиционирования – OTDoA – PE – IPDL, которая описывается в [15,16].

В таблице 3 представлена точность некоторых из перечисленных выше модифицированных технологий позиционирования в НСС.

Наиболее целесообразной с точки зрения точности позиционирования являются улучшенные технологии CellID – RTT и OTDoA – CVB. Применение данных технологий в качестве основных в НСС для определения местоположения может обеспечить относительно точными данными о месте положения как абонентов сотовой связи, так и пользователей навигационных систем.

Однако применение НСС в комбинации с СРНС не дает значительного уменьшения погрешностей позиционирования. По причине того, что значения погрешностей, полученные при применении данных технологий в 10–100 раз больше, чем значения, полученные при применении спутниковых радионавигационных систем. Это проиллюстрировано в статье [17] и приведены соответствующие значения погрешностей при проведении моде-

Таблица 3. Модифицированные технологии позиционирования, используемые в сетях GSM и UMTS

Технология позиционирования	Тип сотовой сети	Точность, м.
CellID – TA	GSM	200
CellID – RTT	UMTS	16–440
AoA – RTT	UMTS	100–300
OTDoA – IPDL	UMTS	100
OTDoA – CVB	UMTS	58–81
OTDoA – AoA	UMTS	125

лирования. Так же следует учитывать рост затрат на производство данных систем, дополнительные затраты на её отладку и проверку всех её модулей, усложнение данной системы и возникающие сложности при ремонте. При-

менение НСС в навигационных системах целесообразно лишь при пропадании сигналов от СРНС посредством использования адаптивных алгоритмов обработки информации в ЭВМ навигационной системы.

#### Литература:

1. Комраков Д.В. Технологии позиционирования наземных подвижных объектов в сетях GSM [Текст] / Д.В. Комраков // Технические науки в России и за рубежом (II): материалы междунар. заоч. науч. конф. (г. Москва, ноябрь 2012 г.). — М.: Буки-Веди, 2012. — С. 38–40.
2. Николаев В.П. Местоопределение абонентов в сетях сотовой связи // Специальная Техника. — 2001. — № 5.
3. Shanmugam S.K., A. Lopez, D. Lu and others. Wireless Location in IS-95 CDMA Cellular Radio Systems. Proceedings of Wireless 2005, Calgary, Canada
4. Дворкина Н.Б., Д.Е. Намиот, и Б.А. Дворкин. Мобильные навигационные сервисы и применение технологии OpenCellID для определения местоположения. Геоматика, 2 (7):80–87, 2010
5. K.I. Adusei, K. Kyamaka, K. Jobmann: Mobile Positioning Technologies in Cellular Networks: An Evaluation of their Performance Metrics, presented at MILCOM 2002, California, USA, 2002
6. Каарен Х., Ахтиайнен А., Лаитинен Л., Найян С., Ниemi В. Сети UMTS. Архитектура, мобильность, сервисы. М: Техносфера. 2007. — 464 с.
7. N.J. Thomas, D.G. M Cruickshank, D.I. Laurenson. «Performance of a TDOA — AOA Hybrid Mobile Location System». The First International Conference on 3G Mobile Communication Technologies, 2000, pp.216–220.
8. 3GPP, TS 25.215. «UMTS: Physical layer measurements (FDD)». Version 5.3.0, Release 5.
9. J. Borkowski, j.niemela, j.lempiainen, «Performance of Cell ID + RTT hybrid positioning methods for UMTS radio networks» EuropeanWireless Conf., February 2004
10. J. Borkowski, j.niemela, j. lempiainen, «Performance of Cell ID + RTT hybrid positioning method for UMTS» Master Thesis, Tampere University of Technology, Finland, January 2004.
11. P.j. duffett-smith, m.d. macnaughtan. «precise UE positioning in UMTs using CumulativeVirtualBlanking». The third international conf. on 3G mobile communication technologies, 2002, pp. 335–339
12. Heikki Laitinen (editor), Suvi Ahonen, Sofoklis Kyriazakos, Jaakko Lähteenmäki, Raffaele Menolascino, Seppo Parkkila. «Cellular network optimisation based on mobile location» CELLO Consortium, 2001.
13. Ю.А. Громаков, А.В. Северин, В.А. Шевцов. Технологии определения местоположения в GSM и UMTS: Учеб. пособие. — М.: Эко-Трендз, 2005. — 144 с.: ил.
14. B. ludden, l. lopes, «cellular based location technologies for UMTS: acomparison between IPDL and TA-IPDL». IEEE 51 vehicular technology conf. vol 2, 2000, pp. 1348–1353.,
15. W.y. park, w.r. lee, s.h. kong, w.c. lee. «High resolution time delay estimation technique for position location, 15 may 2003». The 2002 international technical conf. On circuits/systems, computers and communication, pp. 1610–1614
16. 3gpp, TR 25.847. «technical specification group radio access network: ue positioning enhancements». Version 4.0.0, release 4.
17. Иванов, А. В. Совместная обработка информации спутниковых радионавигационных систем и наземных сетевых систем в навигационных системах подвижных наземных объектов / Иванов А.В., Гостев А.В., Семенов А.А., Соколовская Л.В. / Радиотехника. — Москва, № 4, с. 16–19.

## Учет риска прогара трубчатой печи при оптимизации процесса пироллиза нефтешлама

Тугов Виталий Валерьевич, кандидат технических наук, доцент;  
 Гаибова Татьяна Викторовна, кандидат технических наук, доцент;  
 Саморуков Святослав Анатольевич, магистрант  
 Оренбургский государственный университет

Вопросы оценки и анализа риска имеют особую актуальность для предприятий нефтяной и нефтехимической промышленности в связи с повышенным уровнем

опасности таких производств, широким спектром рисков и спецификой технологических решений. Как и любая другая управленческая технология, технология управ-

ления риском должна располагать средствами для идентификации, анализа и оценки риска, выбора метода снижения риска и организации процесса его реализации, контроля эффективности проводимых мероприятий и корректировки управляющих воздействий для снижения риска. При этом процедуры учета риска и его возможных последствий должны быть «встроены» в алгоритмы работы и производственной, и сбытовой подсистемы современного предприятия. Но на сегодняшний день существует набор разрозненных методик, решающих отдельные задачи идентификации риска, его качественного анализа и количественной оценки [1,2], причем, на слишком обобщающем уровне, не позволяющем получать необходимую информацию для принятия решений с учетом риска и неопределенности в конкретных ситуациях производства и управления. В настоящей статье описана концепция методики принятия технологических решений с учетом производственного риска для одного из перспективных направлений нефтехимии — процесса пиролиза нефтешлама.

Метод низкотемпературного пиролиза позволяет получать максимальное количество газа, содержащего энергетический потенциал отходов. Благодаря отсутствию процесса горения и правильному подбору температурного режима в процессе не образуется летучей или остаточной золы. Применение данного метода позволяет избежать образования вредных примесей в твердом коксующемся остатке, делая его пригодным для дальнейшего использования.

Данный метод является единственным методом переработки смешанных отходов, в котором достигается полный молекулярный распад и уничтожение вредных примесей, это достигается благодаря бескислородной среде.

Анализ аварийных ситуаций на предприятиях нефтехимической промышленности показал [3], что одним из наиболее опасных видов оборудования подобных производств являются трубчатые печи пиролиза (11 % аварий, произошедших на предприятиях нефтегазового комплекса). Технологические процессы на рассматриваемых объектах, сопровождающиеся высоким уровнем давления и температур, могут вызвать ряд опасных и вредных производственных факторов, регламентируемых ГОСТ 12.0.0030–80 системы стандартов безопасности труда [ТР-05–2–2002 Технологический регламент производства пиролиза углеводородов нефти 1 II производства СЭС ОАО «Уфаоргсинтез», 2002 г. ] По взрывоопасности печное отделение пиролиза объекта относится к I категории с постоянно действующими огневыми точками и раскаленными участками трубопроводов и аппаратов. Основной причиной аварий является разгерметизация змеевика, вызванная его локальным перегревом и прогаром.

Прогар *труб змеевиков печи* возможен при превышении температуры в камере сгорания, что связано с частыми остановками циркуляционных компрессоров и печных насосов; при попадании газового конденсата с то-

пливным газом и при подаче избытка воздуха в камеру сгорания, а также в случае загрязнения внутренней поверхности труб (особенно многопоточных) змеевиков.

На состояние пиролизной печи могут оказывать влияние следующие группы факторов: характеристики сырья, в качестве которого для процесса пиролиза нефтешлама выступают газообразные и жидкие углеводороды, а также характеристики технологического режима пиролиза (температура, время контакта, парциальное давление углеводородов в реакционной зоне, частота и скорость изменения температуры и пр.). Для расчета напряжений, возникающих в трубе змеевика печей пиролиза, необходимо формализовать процесс влияния изменяющихся параметров технологического режима на стенки трубы, что весьма затруднительно из-за сложной схемы нагружения или формализовать хотя бы сам технологический процесс пиролиза, происходящий в трубчатой печи.

Идеальным формализованным представлением любого процесса является его математическая модель в виде системы уравнений и неравенств, разработанная аналитическим способом. Математическое описание процесса пиролиза нефтешлама состоит из уравнений материального и теплового баланса. Под материальным балансом понимаются уравнения, являющиеся аналитическими, табличными или графическими выражениями закона сохранения массы в технологическом процессе. Материальные балансы количественно отражают алгоритм управления процессом. Они используются для проверки правильности определения удельных расходов исходных компонентов или удельного выхода продуктов процесса, являющихся исходной базой для составления тепловых балансов высокотемпературной теплотехнологической установки и элементов ее тепловой схемы.

По данным [4] различают следующие разновидности материальных балансов высокотемпературных технологических процессов: материальный баланс компонентов; материальный баланс веществ; материальный баланс химических элементов.

Вышеописанные методы тепловых, материальных и энергетических балансов, содержащие в основе своей аналитические, табличные и графические выражения, составленные исходя из эмпирических данных [5–9], не могут в полной мере описать процессы, протекающие в установках пиролиза.

В основном это связано со значительными сложностями, а иногда и невозможностью описания некоторых параметров количественно. Зачастую они имеют качественный характер и могут быть определены лишь экспертно, что вносит изрядную долю неопределенности.

Таким образом, описание таких процессов при помощи классических методов является достаточно сложным с точки зрения либо аналитических расчетов, снижающих точность, в конечном счете, из-за введения большого числа допущений, либо высокой трудоемкостью циклических пересчетов целого ряда параметров объекта управления.



Необходимо отметить, что к настоящему времени накоплен достаточно широкий опыт решения задачи оценки технического состояния оборудования — подобные методы и средства рассматриваются в теории надежности [10], а также при разработке систем управления техническим обслуживанием и ремонтом [11], применительно к различным видам производства, а также в работах по диагностике состояния оборудования нефтехимических предприятий [4]. Но практическое использование разработанных инструментов на современном уровне развития рыночных отношений помимо учета специфики технологического процесса требует обязательного использования финансовых ограничений и критериев, характеризующих коммерческую результативность технологических корректировок, а такие задачи не рассматриваются пока ни в проектном менеджменте, ни в вышеперечисленных научных направлениях.

Предлагаемая авторами методика оптимизации процесса пиролиза с учетом риска располагает инструментами для решения двух основных задач:

1) оценки технического состояния и производственного потенциала пиролизной установки с учетом риска прогара трубчатой печи на основе теории нечетких множеств и многопараметрической регрессии;

2) определения оптимальных значений характеристик технологического процесса пиролиза нефтешлама, обеспечивающих должный уровень коммерческой эффективности производства с учетом результатов решения первой задачи.

Системное описание рассматриваемых задач в виде моделей черного ящика представлено на рисунке 1.

Параметры для каждой из задач были определены на основе системного анализа проблем, связанных с состоянием трубчатых печей и возможностей их дальнейшего использования при определении технологического режима пиролиза нефтешлама, влияющего на количественный и качественный состав выходных продуктов переработки, а, соответственно, на уровень и продолжительность будущих доходов от производственной деятельности предприятия.

Результатом решения первой задачи является алгоритм оценки технического состояния и производственного потенциала пиролизной установки на основе теории нечетких множеств. Результатом решения второй задачи

является алгоритм определения оптимального уровня технологических параметров пиролиза с учетом продолжительности безотказной работы трубчатой печи и максимальной коммерческой эффективности пиролизной установки.

Потенциальным резервом повышения качества проводимой оценки при решении первой задачи может стать использование аппарата нечеткой логики — преимущества подобного подхода перед остальными методами принятия решений в условиях неопределенности подробно показаны в [12]. Тогда основу алгоритма оценки технического состояния и производственного потенциала пиролизной установки должны составлять следующие стандартные этапы нечеткого вывода:

- выделение признаков, определяющих состояние змеевика пиролизной печи и его производственного потенциала с учетом риска отказа оборудования по причине разгерметизации вследствие локального перегрева;
- определение лингвистических переменных для выделенных признаков;
- построение статистических моделей для идентификации функций принадлежности, заданных экспертно;
- построение базы нечетких лингвистических правил;
- использование в качестве алгоритма вывода алгоритма Мамдани.

В качестве экспериментальной базы для апробации предлагаемых алгоритмов могут быть использованы исходные данные для разработки проекта пиролиза нефтешлама. С использованием программы Project Expert необходимо разработать базовый вариант рассматриваемого проекта без учета риска прогара трубчатой печи. В качестве критериев коммерческой эффективности проекта могут быть выбраны общепринятые в международной практике инвестиционного анализа показатели: чистый дисконтированный доход (NPV) и индекс доходности (PI).

Далее для каждого технологического режима пиролиза, который может быть использован в рамках горизонта планирования проекта, необходимо реализовать алгоритм Мамдани для получения численных значений выходных параметров, характеризующих производственный потенциал пиролизной установки и максимально возможный уровень рентабельности по выбранным критериям коммерческой эффективности. На основании по-



Рис. 1. Системное представление задачи оптимизации процесса пиролиза нефтешлама на основе оценки состояния и производственного потенциала пиролизной установки в виде модели черного ящика

лученной информации впоследствии будет приниматься решение о выборе наиболее подходящего режима пиролиза нефтешлама.

Таким образом, разработанная методика позволяет определить количественную величину риска прогара

трубчатой печи по каждому технологическому режиму пиролиза и выбрать наиболее коммерчески эффективный вариант с точки зрения безотказной работы пиролизной установки.

#### Литература:

1. Ходырев И.О. Совершенствование моделей и методов управления рисками на микроуровне: дисс. канд. экон. наук: 08.00.13: защищена 30.05.12. / И.О. Ходырев. – Ставрополь, 2012.
2. Воробьев С.Н. Системный анализ и управление рисками в предпринимательстве: учебное пособие / С.Н. Воробьев, К.Н. Балдин. – М.: Издательство Московского психолого-социального института; Воронеж: Изд-во НПО «МОДЭК», 2009. – 760 с.
3. Матвеев Д.С. Диагностирование состояния элементов автоматизированных технологических комплексов на примере трубчатой печи: дисс. 2011.
4. Крейт Ф. Основы теплопередачи / Ф. Крейт, У. Блэк; пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – 512 с.
5. Лыков А.В. Теория теплопроводности / А.В. Лыков – М.: Высшая школа, 1967. – 278 с.
6. Анисимов И.В. Математическое моделирование и оптимизация ректификационных установок / И.В. Анисимов, В.И. Бодров, В.Б. Бодровский. – М.: Химия, 1975. – 216 с.
7. Михеев М.А. Основы теплопередачи / М.А. Михеев, И.М. Михеева. – 2-е изд. – М.: Энергия, 1977. – 207 с.
8. Проектирование и эксплуатация огнетехнических установок: учебное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 256 с.
9. Шах Р. Тепловые граничные условия и некоторые решения для ламинарной вынужденной конвекции в каналах / Р. Шах, А. Лондон. – М.: Высшая школа, 1974. – 45 с.
10. ГОСТ 27.301–95 Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения. – Введ. 1997–01–01. – Минск: Межгосударственный совет по организации, метрологии и сертификации, 1995. – 12 с.
11. Дрягин Д.С. Методы управления техническим обслуживанием и ремонтом оборудования на промышленном предприятии: дисс. канд. экон. наук: 08.00.05 / Д.С. Дрягин. – СПб, 2007. – 252 с.
12. Новак В., Перфильева И., Мочкрож И. Математические принципы нечёткой логики = Mathematical Principles of Fuzzy Logic. – Физматлит, 2006. – 352 с

## Разработка алгоритма прогнозирования появления коррозии на внутренней и внешней поверхности теплообменника

Тугов Виталий Валерьевич, кандидат технических наук, доцент;

Давлетов Рафаэль Климович, студент, магистр

Оренбургский государственный университет

В связи с быстрым развитием науки и техники, постоянно меняющимся рынком и ростом клиентских потребностей, а также с увеличением количества ответственных производственных участков со сложным оборудованием возникает необходимость предопределения поломок и неисправностей. К такому оборудованию относятся теплообменники. [1] Они применяются во многих отраслях промышленности. Теплообменные аппараты являются составной частью многих технологических линий. Горячая вода, например, находит применение в ряде технологических процессов на предприятиях промышленности.

При работе теплообменники подвергаются коррозии вследствие чего, могут появиться: трещины внутри металла, изменение толщины, потеря свойств металла, что в дальнейшем выводит теплообменники из строя

На сегодняшний день на «коррозионные дефекты» приходится 31 % от, общего числа отказов теплообменников в России. [2] Это, приводит к значительным экономическим и экологическим потерям.

В условиях дефицита денежных средств и невозможности повсеместно и с необходимой частотой использовать диагностические приборы активно развивается направление диагностирования и прогнозирования состояния теплообменников, основанное на создании математических моделей, описывающих их поведение («виртуальный» контроль). Данное направление представлено работами известных ученых Абдуллина И.Г., Гареева А.Г., Гумерова А.Г., Зайнуллина Р.С., Цикермана Л.Я., и др. [2,3]

Большинство разработанных моделей привязаны к «идеальным условиям эксплуатации» (постоянство вну-

тренного давления, температуры перекачиваемой жидкости и т.п.), что не дает возможности судить о точности расчетов, долговечности реально эксплуатируемого теплообменника. Существует большое количество моделей, которые имеют скорее теоретический интерес, т.к. привязаны к большому числу параметров, оценка которых в производственных условиях практически невозможна ввиду необходимости использования специфического лабораторного оборудования и привлечения кадров высокой квалификации. В опубликованных работах, описывающих автоматизированные системы для оценки состояния теплообменников, нет сведений о математическом аппарате, положенном в основу функционирования систем, и не приводится информация о его адекватности.

Коррозия – самопроизвольно протекающий процесс разрушения металлов в результате взаимодействия с окружающей средой, происходящий с выделением энергии и рассеиванием вещества. Скорость продвижения коррозии можно выразить через изменение массы материала, изменение предела прочности, предела текучести или деформации. Изменение этих величин в единицу времени может быть мерой скорости коррозии.

В работе [4] получена аналитическая зависимость для прогнозирования долговечности теплообменников, эксплуатирующийся в условиях общей механохимической коррозии, учитывающее напряженное состояние и механохимическую активность металла в электролите:

$$t = \frac{1 - \sigma_0 / \sigma_T \cdot S_0}{a \cdot v_0} \quad (1)$$

где  $\sigma_0$  – начальное напряжение в стенке трубы, МПа;  $\sigma_T$  – предел текучести, МПа;  $S_0$  – начальная толщина стенки, мм;  $v_0$  – скорость коррозии, мм/год;

$$a = \exp\left(\frac{\sigma_T V}{RT}\right) \quad (2)$$

где  $V$  – молярный объем металла, см<sup>3</sup>/моль;  $T$  – абсолютная температура, К;  $R$  – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль\*К). Скорость коррозии « $v_0 \cdot a$ » выразим с помощью формулы

$$v = v_0 \exp\left(\sigma_{cp} \frac{V}{RT}\right) \quad (3)$$

которая получается из модели  $i = i_0 \exp\left(\sigma_{cp} \frac{V}{RT}\right)$ ,

где  $V$  – молярный объем металла см<sup>3</sup>/моль;

$R = 8,314$  Дж/(моль\*К);  $T$  – абсолютная температура, К;  $\sigma_{cp}$  – среднее напряжение, МПа;

$v_0$  – скорость коррозии в металле, мм/год.

В рассмотренном математическом описании, не учитываются такие параметры как: температура, влажность, давление, задержки развития коррозии (коррозионные дефекты, появляются не в начальный момент эксплуатации). Начальную скорость коррозии, авторы предлагают определить, на основе полной диагностики, но на

предприятиях, занимающихся обслуживанием теплообменников, может отсутствовать специальное оборудование для проведения исследований, а заказ данной работы сторонней организации может повлечь большие временные и экономические затраты. Поэтому, данную величину будем определять с помощью разработанного алгоритма, который представлен на рисунке 1.

В качестве исходных данных о теплообменнике используются: дата ввода в эксплуатацию, дата замен изоляционного покрытия,  $p_b$  – внутреннее давление в МПа,  $p_n$  – давление наружное в МПа,  $D_b$  – внутренний диаметр трубы в мм,  $b_T$  – предел текучести в МПа,  $s_0$  – исходная толщина стенки теплообменника в мм,  $F_n$  – отношение средних напряжений в начальный и конечный момент исследования,  $T$  – абсолютная температура в К,  $V$  – молярный объем металла в см<sup>3</sup>/моль, тип и толщина изоляционного слоя в мм, параметры катодной защиты. Для проведения технической диагностики необходимо данные дата проведения диагностики, глубины наружного и внутреннего коррозионных дефектов  $S_{n,э}$  и  $S_{b,э}$  в мм.  $S_b$  и  $S_n$  – текущие внутренняя и наружная глубины дефекта, расчетные, мм;  $t_{тек}$  – текущее время в годах;  $r_b$ ,  $r_n$  – внутренний и наружный радиус трубы на текущий момент.

Определение начальной скорости коррозии, осуществляется по алгоритму.

1. Ввод исходных данных по результатам технической диагностики. Время ввода в эксплуатацию теплообменника, время проведения диагностики,  $p_b$  и  $p_n$  – внутреннее и наружное давление коррозионно-активной среды, МПа; предел текучести, МПа;  $T$  – абсолютная температура, К;  $V$  – молярный объем металла см<sup>3</sup>/моль;  $S_{b,э}$  и  $S_{n,э}$  – глубина внутреннего и наружного дефекта на момент диагностики, мм;  $N_{воб}$  и  $N_{вон}$  – шаги увеличения/уменьшения начальной внутренней и наружной скорости коррозии, мм/год;  $N_t$  – шаг по времени, лет;  $N_{t(i)}$  – проверочный шаг по времени, лет;  $\Delta$  – погрешность, определяющий допустимые отличия между реальными и вычисленными глубинами внутренних и наружных дефектов, мм.

2. Проверить по ГОСТам введенных данных, на правильность, адекватность. Если данные перепутаны значение и введены не правильно, не в то окно, то предлагать ввести данные повторно. Если данные введены правильно, перейти к расчетам на блок 3.

3. Вычислить первоначальные данные, существования коррозии. Вычислить количества лет в эксплуатации, между диагностиками либо между вводом в эксплуатацию и первой диагностикой. Расчетное время приравнять к нулю.

4. Проверить существование признаков коррозии в металле. Если коррозии нет, переходить на блок расчетов, вывода, на экран данных и построение графика. В противном случае перейти на 5 блок.

5. Вычислить текущее время, изменение глубины коррозии за промежуток времени  $N_{t(i)}$  ( $S_b = N_{t(i)} v_b$ ;  $S_n = N_{t(i)}$

( $i$ ) \*  $v_{H_i}$ ). Определить среднее напряжение  $\sigma_{cp}$  (МПа) на текущий момент времени, определить скорость наружной коррозии  $v_v$  (мм/год) и внутренней коррозии  $v_n$  (мм/год), определить изменение глубин наружной и внутренней коррозионных дефектов на данном интервале времени, который зависит от величины шага ( $i$ ).

6. Сравнить погрешность модуль разности расчетной и настоящей глубины дефекта. Если разница глубины дефекта меньше погрешности, то перейти на блок 7, для корректировки данных. В противном случае выполнять цикл вычисления блока 5, с изменением по времени на  $i+1$ , пока модуль разности расчетной и настоящей глубины дефекта не станет меньше  $\Delta$  (мм)

7. Корректировка  $H_{V_{об}}$ ,  $H_{V_{он}}$ ,  $v_{об}$ ,  $v_{он}$  и поправка погрешностей.

Если расчетная глубина дефектов получается со знаком минус, то шаг увеличения / уменьшения начальной скорости коррозии уменьшается в два раза. Для увеличения процесса расчета первоначальные шаги увеличения / уменьшения начальной скорости коррозии задаются «более грубыми». В процессе расчета проверяем попадание модуля разности в диапазон расчетной и реальной глубины дефекта в области приближения к результату с заданной погрешностью  $\Delta$  (мм). После попадания в первый диапазон приближения шаг увеличения / уменьшения начальной скорости коррозии уменьшается в два раза. В дальнейших циклах будет проверяться попадание во второй, третий диапазон приближения, пока модуль разности расчетной и настоящей глубины дефекта не станет меньше  $\Delta$  (мм)

В зависимости от знака разности между расчетной и реальной глубиной дефекта, выполняется изменение планируемой начальной скорости коррозии. Если модуль разности между предполагаемой и реальной глубиной внутреннего дефекта больше погрешности, а знак получаемой разности «отрицательный», то  $v_{об}$  уменьшается на  $H_{V_{об}}$ , при этом, прежде чем поменять  $v_{об}$ , проверятся разность  $v_{об} - H_{V_{об}}$ . Если разность меньше нуля, то выполняется исправление  $H_{V_{об}}$ .

8. Вывести на экран, количество выполненных итерации. Спросить «Продолжить расчет с уточнением?» Если да, то перейти на 4 блок. В противном случае рассчитать и вывести на экран результаты, построить график прогнозирования.

Таким образом, можно оценить, спрогнозировать поведение коррозии во время эксплуатации, подобрать параметры, при которых срок эксплуатации теплообменников будет продлен.

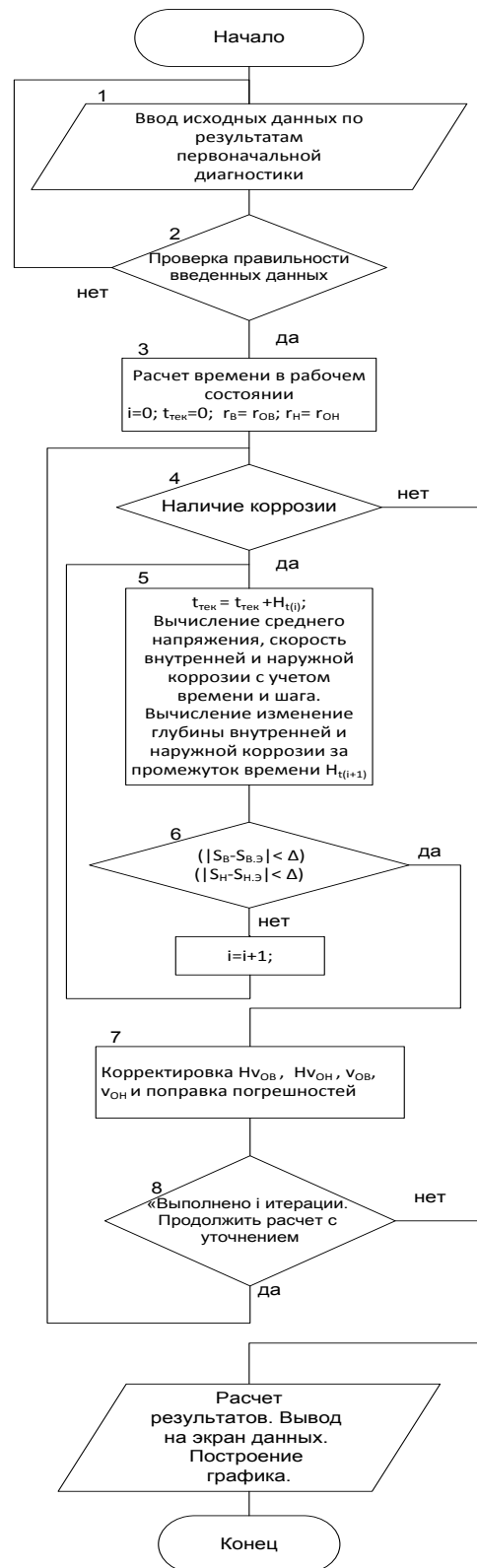


Рис. 1. Алгоритм определение скоростей внутренней и наружной коррозии по результатам технической диагностики

Литература:

1. Давлетов Р.К. Построение модели диагностики теплообменника на основе рентгенографического метода. / Р.К. Давлетов // Компьютерная интеграция производства и ипи-технологии / Пятая всероссийская научно-практическая конференция. / Оренбургский государственный университет. – Оренбург, 2011. – С. 187–190.

2. Старение труб нефтепроводов/ Гумеров А.Г., Зайнуллин Р.С., Ямалеев К.М., Росляков А.В. — М.: Недра, 1995. — 218 с.
3. Научный, технический, социальный вклад газовиков XX века в развитие научно-технического прогресса. Прогнозирование коррозионно-механических разрушений магистральных трубопроводов/ Гареев А.Г., Иванов И.А., Абдуллин И.Г., Забазнов А.И., Матросов В.И., Новоселов В.В. — М.: ИРЦ Газпром, 1997. — 170 с.
4. Прочность газопромысловых труб в условиях коррозионного износа/ Гутман Э.М., Зайнуллин Р.С., Шаталов А.Т. и др. — М.: Недра, 1984. — 76 с. — (Сер.: Надежность и качество).
5. Прогнозирование состояния технических систем/ Абрамов О.В., Розенбаум А.П.: — М.: Наука, 1990. — 126 с.
6. Коррозия и защита окружающей среды. Экспресс-инф. М.: ВНИИОЭНГ, 1984. Вып.4. С. 25–28.

## Повышение энергoeffективности жилого фонда за счёт малозатратных технологий (на примере г. Пензы)

Фадеева Галина Дмитриевна, доцент;

Паршина Ксения Сергеевна, студент;

Родина Евгения Вячеславовна, студент

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

На сегодняшний день проблемы энергосбережения и энергoeffективности являются наиболее актуальными в энергетике, как на государственном, так и на региональном уровне. Экономика в России остаётся одной из самых энергоёмких экономик в мире. Это можно объяснить суровыми климатическими условиями, однако, например, в Канаде, обладающей таким же климатом, энергоёмкость экономики ниже более чем в 2 раза, что ведёт к повышению себестоимости любого вида продукции, производимой в стране.

В концепции государства энергетическая эффективность и энергосбережение определены в качестве одних из главных направлений экономической политики страны, как ее важнейшие стратегические ориентиры. Реализация концепции энергoeffективности и энергосбережения лежат в основе государственной энергетической политики и обеспечиваются механизмами рационального пользования недрами и ростом внутренних рынков.

В настоящее время положение о повышении энергoeffективности было закреплено в ряде положений, а так же в ФЗ № 261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» [1].

Одним из основополагающих факторов обеспечивающих уровень материального благосостояния региона, и страны в целом является обеспеченность энергоресурсами.

### Дорогие энергоресурсы → «дорогая» жизнь.

Высокая себестоимость товаров, высокие тарифы ЖКХ, высокие цены на продукты питания и т.д.

Сейчас много внимания уделяется различным инновационным решениям, материалам и технологиям для повышения энергoeffективности, однако большинство из них являются затратными, требующими значительных «стартовых» вложений и капиталов. В настоящем же проекте делается ставка на *мало затратные* мероприятия, не

требующие больших затрат материально-технических ресурсов.

В настоящее время ситуация с энергoeffективностью в г. Пензе (Пензенской области), к сожалению обстоит сложная, хотя и наблюдаются различного рода положительные тенденции.

### Цели работы:

- повышение комфортности проживания и экономичности энергоснабжения и энергопотребления;
- снижение бюджетных расходов на оплату энергоресурсов;
- снижение выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду;
- повышение конкурентоспособности производимой в городе продукции за счет снижения энергетической составляющей в себестоимости.

**Основные проблемы**, которые мешают вести энергоэффективное коммунальное и народное хозяйство следующие:

1. Не разработан единый, централизован план города по повышению энергoeffективности.
2. Не понимание, вследствие низкой квалификации работников муниципального хозяйства, способов ведения энергосберегающего хозяйства.
3. Низкая культура энергосбережения среди населения.
4. Отсутствие государственного метрологического контроля и надзора в области энергосбережения.

В настоящем работе предлагается макет централизованного плана по повышению энергoeffективности здания, лишь на основе мало затратных мероприятий, без использования дорогостоящих технологий и материалов. Иными словами будет показано, что перераспределение средств, которые каждый год тратятся органами ЖКХ и простыми гражданами, на *следствия* низкой энергoeff-



фективности (такие как чистка с крыш ледяной корки, сосулек, а так же на элементарную оплату горячую воду и отопление), можно и нужно потратить на искоренение **причин** их возникновения.

Рассмотрим на примере типового дома г. Пензы основные проблемы, связанные с энергосбережением. Иными словами рассмотрим, куда девается тепло и соответственно деньги наших граждан, на двух самых показательных примерах.

### 1. Чердак дома

В жилых домах, построенных около 50 лет назад («хрущёвки») в качестве утеплителя использовался обычный шлак, теплопроводность которого за время эксплуатации снижалась в несколько раз. Как результат образование ледяной корки, сосулек и т.д. Регулярно тратятся значительные средства на уборку снега, ледяных корок и сосулек с крыш. К примеру, аренда автовышки стоит от 3 до 6 тыс. руб за смену. за смену, учитывая, что образования сосулек на таких домах процесс перманентный, это трата на десятки тысяч рублей за сезон. При реализации предлагаемых в проекте энергосберегающих решений практически отпадает надобность в проведении работ по скалыванию наледей, повышается энергосбережение за счёт

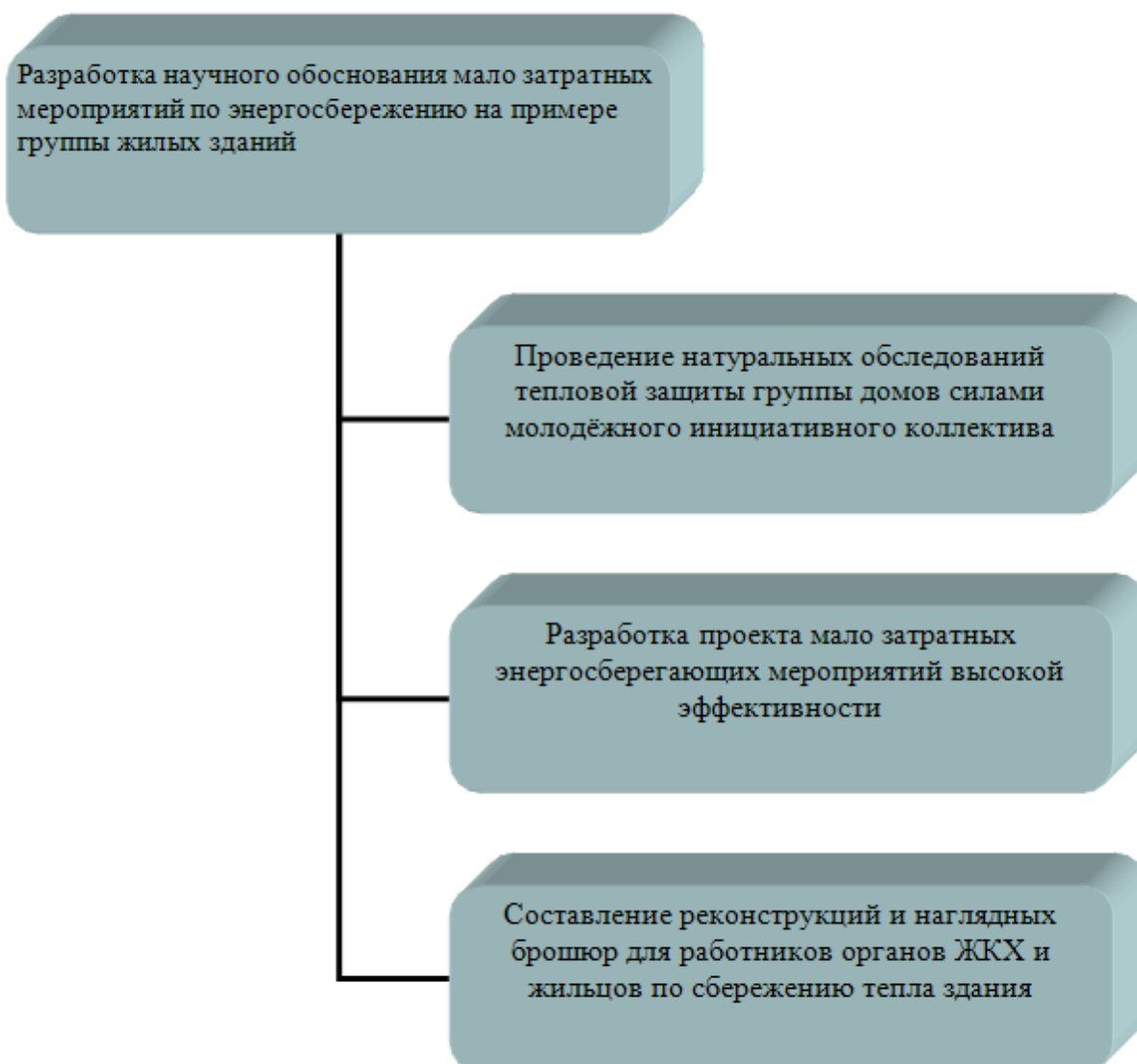
повышения тепловой защиты крыши, обеспечивается долговременное сохранение гидроизоляционных свойств кровли в местах её примыкания к карнизу.

### 2. Оконные проёмы

Через окна уходит порядка 20 % тепла из подъездов здания. А за эти проценты жильцы тратят свои деньги. Нами разработаны научно обоснованные энергосберегающие мероприятия по повышению тепловой защиты окон как традиционной конструкции с деревянными переплётами, так и более дорогостоящих новых окон из стеклопакетов, которые приходят им на смену. При реализации повышается термосопротивление, снижается неконтролируемая воздухопроницаемость этих светопрозрачных ограждений, и в целом уменьшаются тепловые потери через них на 40 % (деревянные конструкции окон) и на 20 % (стеклопакеты).

Хотя комплекс, описанных выше мероприятий предполагается внедрять во всём городе, для показания эффективности предлагается, разработать пилотный вариант для одного из микрорайона г. Пензы, желательно с домами более старой застройки (что бы лучше виделся эффект).

**Ход выполнения проекта представим в виде диаграммы.**



**Положительные эффекты, которые возникают при реализации проекта:**

1. Повышается энерго-эффективность зданий;
2. Повышается срок эксплуатации зданий;
3. Обеспечивается более комфортное проживание граждан в своих домах;
4. Снижаются затраты населения на оплату услуг ЖКХ;
5. Повышается безопасность на при дворовых территориях в зимний и весенний период (за счёт исключения образования сосулек и ледяной корки);
6. Исключаются дополнительные траты на внедрения проекта, т.к. проект подразумевает не привлечение новых средств, а перераспределение тех средств, которые выде-

ляются каждый год;

7. Минимальные сроки реализации проекта, на апробацию в одном районе требуется не более года.

Хотя внедрение данного проекта на практику значительно повысит энергоэффективность жилого фонда (особенно дома с возрастом более 30 лет), но полностью решить проблему, только за счёт мало затратных предприятий не удастся. Полное решение проблемы в области энергоэффективности возможно лишь при широком внедрении новых инновационных энергосберегающих материалов, современных приборов учёта расхода энергии (тепловой, электрической и т.д.) и жёсткого контроля со стороны государства.

**Литература:**

1. Федеральный закон от 23.11.2009 N 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ»

**Методы усовершенствования конструкций**

Фадеева Галина Дмитриевна, доцент;

Паршина Ксения Сергеевна, студент;

Родина Евгения Вячеславовна, студент

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

В настоящее время остро встаёт проблема ресурсосбережения при проектировании различных конструкций (в области строительства, машиностроения, самолётостроения и т.д.). В Пензенском государственном университете архитектуры и строительства всегда уделяли особое внимание решению данной проблемы (см. работы [1], [2], [3]). Настоящая статья посвящена обзору различных методик по усовершенствованию конструкций.

*Уменьшение нагрузок или увеличение размера деталей.* Эти очевидные методы, несомненно, являются самыми простыми и не требуют обсуждения. Лишь следует отметить, что при этом нет результирующего увеличения эффективности в идее специфической усталостной прочности. Вариантами данного метода является периодическая замена ответственных деталей, а также изредка механическая обработка их поверхностей с целью удаления поврежденного материала. Примером последнего метода является рассверливание больших отверстий под болты подгонка новых болтов.

*Переконструирование.* Совершенно очевидно, что улучшения можно добиться путём фундаментальных изменений конструкции, особенно с точки зрения получения эффективной нагрузки и контуров жёсткости во всей конструкции или механизме.

*Материал.* Замена материала, например, алюминиевого сплава сталью с высоким сопротивлением разрыву,

а также использование проката или листового материала вместо литья должны привести к увеличению усталостной прочности на разрыв, но не всегда пропорционально.

*Чистовая обработка поверхности.* Усталостную прочность часто можно повысить путём ликвидации случайных царапин, более тщательной обработкой поверхности, удалением заусенцев и острых кромок, а так же путём снятия фасок у отверстий. Также может быть полезной защита поверхности от коррозионных влияний, особенно поверхности лёгких сплавов.

*Поверхностные сжимающие напряжения.* Разрушения в большинстве случаев начинаются с поверхности, а не изнутри. Так как усталостная прочность увеличивается при наличии среднего сжимающего напряжения, то полезно преднамеренно создать такие напряжения на поверхности материала, а компенсирующие растягивающие напряжения — внутри его. Улучшение зависит от способности материала предотвращать любое нарушение в остаточных напряжениях во время срока службы. Напряжения обычно создаются путём пластической деформации поверхности материала. Это может, осуществляется разнообразными методами, а именно:

а) дробеструйной обработкой, жидкостным хонингованием, обкаткой, полировкой в барабане и т.д.

б) науглероживанием или азотированием. Эти методы создают сжимающие напряжения, благодаря по-

глюшением атомов углерода или азота поверхностными слоями, а не благодаря пластической деформации материала. Кроме того, усталостная прочность материала значительно увеличивается в результате увеличения твёрдости поверхности.

в) термообработкой. Любой процесс, который, в конечном счете, создаёт быстрое охлаждение поверхности, вызывает поверхностные напряжения благодаря последующему сжатию внутренней части материала. Примерами могут служить пламенная и индукционная закалки. Однако критические зоны усложнённой детали могут и не получить этих полезных напряжений;

г) предварительной и периодической перегрузкой.

Применение и снятие предварительной растягивающей перегрузки создаёт остаточные сжимающие напряжения в критических зонах. Эти напряжения являются однонаправленными и приводят к улучшению усталостной прочности только в том случае, если перегрузка и средняя повторная знакопеременная нагрузка прикладывается в одном и том же направлении. В противоположность другим методам данные напряжения создаются лишь в сечениях с градиентом напряжения, как, например, в канавках. Наиболее известным примером применения данного принципа является заневоливание пластинчатых пружин, но существуют и многие другие возможные способы.

Повторное приложение растягивающих перегрузок время от времени является особенно полезным. Это удобно производить во время пробных или контрольных испытаний механизма или конструкции.

*Твёрдость поверхности.* Определённые процессы улучшают качество поверхности материала или путём механического упрочнения, или путём изменения структуры, которое увеличивает прочность.

*Выносливость вследствие коррозии трения (Fretting).* Важной проблемой является резкое уменьшение усталостной прочности вследствие истирания соприкасающихся поверхностей. На практике разрушения возникают гораздо чаще, чем об этом свидетельствуют, стандартные лабораторные испытания, так как на практике условия передачи нагрузки и соприкосновения поверхностей являются менее благоприятными. Различные методы, уменьшающие или ликвидирующие истирание металла, суммируются.

*Предварительное нагружение и применение статически неопределённой конструкции.* Разнообразным эффективным методом повышения усталостной прочности, который требует много изобретательности со стороны конструктора, является метод предварительного нагружения. Этот метод заключается в применении механического устройства для приложения и сохранения нагрузки в критической зоне детали. В действительности создаётся статически неопределимая конструкция с двумя деталями, через которые передаётся нагрузка. Прочность увеличивается или путём уменьшения знакопеременного напряжения, или путём создания среднего сжимающего

напряжения в критическом элементе так, как это изложено выше.

Наиболее известным применением данного принципа является предварительная затяжка болтов, работающих на растяжение, в результате чего значительно повышается усталостная прочность. В этом случае сам болт является критическим податливым элементом, а детали, соединённые вместе, — жёстким элементом. Оказывается, что болты также являются механизмом обеспечения предварительной нагрузки. Другим примером может служить применение шпилек, болтов, втулок или заклёпок, которые имеют тенденцию предварительно нагружать критическую деталь, в которую они вставлены, на растяжение по окружности; это является полезным, если к ним прикладываются поперечные или срезающие усилия. Удачное сочетание предварительно напряжённой стали или бетона приводит к высокой усталостной прочности, так как знакопеременная нагрузка стремится пройти через более жёсткий бетонный элемент, предварительно нагруженный на сжатие.

Другой метод применения принципа предварительного напряжения заключается в создании средних сжимающих напряжений в критических зонах. Это увеличивает срок службы при данном знакопеременном напряжении. Это влияние среднее напряжение существует независимо от относительной жесткости элементов, несмотря на уменьшение знакопеременного напряжения. Возможно, наиболее известным примером является предварительное нагружение на сжатие стволов пулемёта, путём надевания бандажа снаружи на ствол или при применении предварительно растянутой проволоки.

*Модификация конструкции — наружные канавки галтели.* Концентрация напряжения зависит от геометрии детали и является наиболее распространённой причиной разрушения вследствие усталости. Хорошо известно, что в результате увеличения радиуса галтели можно повысить выносливость. Результирующее уменьшение коэффициента концентрации напряжений можно приблизительно вычислить с помощью обычной формулы:

$$K_t = 1 + \gamma \sqrt{\frac{h}{R}}$$

где  $h$  — глубина галтели;

$R$  — радиус галтели;

$\gamma$  — константа, зависящая от типа галтели и нагрузки; её величина равняется 2.

Более эффективным методом снижения напряжения в зоне галтели является использование эллиптической галтели, форму которой можно определить фотоупругим методом, предложенным автором [4]. По сравнению с радиусом галтели эллиптическая галтель создаёт более низкие напряжения и что материал удаляется из зон с низким напряжением. Это приводит к тому, что галтель имеет меньшую кривизну и проходит в зоне наибольшего напряжения. *Эллиптическая галтель характеризуется равномерным напряжением вдоль своих границ.*

Весьма часто галтели можно довольно точно определить с помощью двух радиусов.

Увеличение размера галтели иногда мешает правильному функционированию детали. Например, невозможно увеличить радиус перехода между щекой и шейкой колеччатого вала, так как он оказался бы на площади подшипника. Радиус в точке максимального сечения увеличен, а в поперечном сечении уменьшен незначительно или оставлен без изменения. Внутренняя выточка может иметь или круговую, или эллиптическую форму. Правильную форму легче всего определить с помощью оптического метода. Обычное определение нагрузки и напряжения иногда бывает достаточным для приблизительного определения подходящей формы галтели.

Даже внутренняя выточка иногда нарушает правильное функционирование детали. В этом случае можно предложить уменьшающий напряжение желобок близ критической канавки для того, чтобы отодвинуть линии напряжений. Кроме того, можно рекомендовать разумное размещение облегчающих отверстий для того, чтобы основное напряжение направить в нужном направлении.

*Внутренние канавки (отверстия).* Для практических целей концентрация напряжений у внутренней канавки редко может быть снижена изменением размера или формы. Обычно применяется круговое отверстие, и если принять метод увеличения радиуса в точке максимального напряжения, то можно просто получить круговое отверстие большего радиуса. Также смежные круговые отверстия, расположенные на линии нагружения, уменьшают напряжение приблизительно на 15 %.

Прочность деталей с отверстием можно увеличить с помощью втулок или шпилек путём приложения предварительных или периодических перегрузок, а также путём упрочнения поверхности или азотирования стали. Однако применение некоторых из этих методов необходимы осторожность и контрольные испытания на усталость. Если распределение напряжений в детали меняется, то отверстия следует располагать в местах с наименьшим максимальным напряжением. Например, существенным образом влияет на прочность. Наименьшее максимальное напряжение может быть создано в изотропной точке, где создаются равные основные напряжения.

#### Литература:

1. Нежданов К.К., Гарькин И.Н. Способ проката двутаврового профиля из низколегированной стали// Строительная механика и расчёт сооружений.:-2011№ 4 Москва ЦНИСК им.Курчеченко
2. Нежданов К.К., Кузьмишкин А.А., Гарькин И.Н. Трёхглавый рельсовый блок для подкрановых балок // Региональная архитектура и строительство — Пенза: ПГУАС. — № 1.2012 — с. 66—68.
3. Нежданов К.К., Нежданов А.К., Гарькин И.Н. Экстремальное повышение моментов инерции рельсов при кручении \\ Строительная механика и расчёт сооружений. Москва ЦНИСК им.Курчеченко, № 6—2011
4. Хейвуд Р.Б. (Heywood R.B.) Проектирование с учётом усталости (Designing against fatigue. london. 1962). Перевод с английского докторов техн. наук В.П. Григорьева и В.А. Марьина, кандидатов техн. наук Б.В. Заславского и Э.Д. Скурлатова, инж. И.Н. Землянских. Под редакцией чл. корр. АН СССР И.Ф. Образцова. Издательство «Машиностроение», Москва, 1969. 504 с.

*Распределение нагрузки.* Там, где нагрузка передаётся от одной детали к другой, распределение нагрузки, определяемое «коэффициентом концентрации нагрузки», является важным параметром, определяющим прочность. При болтовом соединении, а также при одиночном болте, работающем на растяжение, в передаче нагрузки имеется тенденция к возрастанию в том сечении, которое должно нести полную нагрузку. Иногда утверждают, что равномерная передача нагрузки является идеальной, но это не так; в критическом сечении, несущем полную нагрузку, должна быть минимальная передача нагрузки. Для осуществления наилучшего распределения нагрузки необходима изобретательность при проектировании. В общих чертах некоторые методы были предложены для болтовых соединений и для болтов, работающих на растяжение.

Исключением из вышеуказанного правила передачи нагрузки получено с зажимным соединением, где фактически вся нагрузка передаётся вдоль линии, соответствующей концу наружных полос. В данном случае высокая прочность получается потому, что коррозия трения и местные концентрации напряжений ослабляются вследствие сильного сжатия и применения желобков, снимающих напряжение.

Исходя из выше сказанного, можно сделать следующие выводы, и предложить рекомендации по распределениям нагрузок и основному проектированию:

- а) наименьшая деталь является самой лёгкой;
- б) простые конструкции нужно проектировать с наименьшим количеством деталей;
- в) вместо того чтобы вводить отдельный элемент для каждой концентрированной нагрузки, элементы надо расположить таким образом, чтобы нести несколько видов нагрузки;
- г) нагрузки могут быть более эффективно восприниматься элементами, работающими на растяжение или сжатие, чем элементами, работающими на изгиб или кручение;
- д) соединения увеличивают вес и должны применяться лишь в случае необходимости;
- е) самый короткий путь является самым лёгким как для элемента, несущего нагрузку, так и для трубы или электрического кабеля



## Железнодорожные шпалы: настоящее и будущее

Фадеева Галина Дмитриевна, доцент;

Паршина Ксения Сергеевна, студент;

Родина Евгения Вячеславовна, студент

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

**Ш**пала (от нидерл. spalk — подпорка) — это опора для рельсов в виде брусьев. В железнодорожном пути обычно укладываются на балластный слой верхнего строения пути и обеспечивают неизменность взаимного расположения рельсовых нитей, воспринимают давление непосредственно от рельсов или от промежуточных креплений и передают его на подшпальное основание (обычно — балластный слой, в метрополитене — бетонное основание). [1]

В настоящее время на ж\д мира применяется несколько типов шпал:

1. Деревянные
2. Железобетонные
3. Стальные
4. Полимерные (пластиковые)

В данной статье мы не рассматриваем деревянные и стальные шпалы, т.к. они не морально устарели, и в настоящее время их укладка под вновь строящиеся пути практически не производится.

С 1946—1948 г. в России широко применяют железобетонные прямолинейные шпалы [3]. С 1955 г. начато промышленное изготовление железобетонных шпал.

*Преимуществам таких шпал:* большой срок службы вследствие высокой механической прочности, неподверженность гниению, что обуславливает возможность повторного использования шпал, а также использования на грузонапряжённых участках пути.

*Недостаток таких шпал:* высокая жёсткость железнодорожного пути, что неблагоприятно сказывается при его эксплуатации [2], [3]. Под концами железобетонных шпал балласт уплотняется, и даже выдавливается из-под этих концов [3]. Особенно часто такое явление наблюдается под стыками рельсов весной при избыточном увлажнении балласта. Это приводит к увеличению изгибающих моментов в шпале [2] и способствует её разрушению.

На современных рельсовых путях расстояние между продольными осями рельсов регулируют перемещением рельсов поперек шпал, что осложняет конструкцию крепления рельсов и стальных подрельсовых подкладок.

С 1990-х годов некоторые страны мира начали внедрять пластиковые шпалы на железные дороги, в том числе и на скоростные (Япония, Китай). Так же активно начинают интересоваться данным видом шпал и другие страны мира, особенно страны с жарким влажным климатом (США, Индия, Тайланд и Филиппины). США является мировым лидером по производству таких шпал, т.к. до сих пор в США большое количество деревянных шпал, и в ходе поисков более экономичных шпал для замены деревянных американские компании всё больше склоняются в пользу полимерных шпал.

В США пластиковые железнодорожные шпалы производятся десятком небольших компаний, владеющих запа-



Рис. 1. Железнодорожный путь с железобетонными шпалами





Рис. 2. Полимерная шпала на испытании

тентованными технологиями. Эти компании на протяжении десятилетия стремились установить стандарты, классифицировать продукты и провести их тестовые испытания. Составные шпалы весят от 200 до 280 фунтов каждая в зависимости от длины и технологии производства. Длина шпал для пассажирских перевозок — от 8.5 до 9 футов, для грузовых — от 7 до 9 футов. Лабораторно измеренные показатели прочности и усилий вставки и извлечения для костылей в составных шпалах в общем ниже, чем в деревянных. Но рабочие характеристики пластиковых шпал приблизительно сходны, а износостойкость выше. Пластиковые шпалы имеют большие преимущества перед железобетонными. Они могут быть проложены с помощью того же оборудования, что и деревянные, и деревянные шпалы могут заменяться составными постепенно [4].

*Преимущества данных шпал:* низкая себестоимость (вследствие использования вторсырья для их изготовления), более высокая износостойкость (чем у деревянных шпал).

*Недостатки данных шпал:* недостаточные производственные мощности по производству данных шпал (даже в США), в России не производятся, и нет планов по их производству в обозримом будущем.

Помимо широко используемых в мире различных

типов шпал, существуют шпалы, изобретенные в ПГУАС, специально для скоростных железнодорожных путей. В конструкции данных шпал использованы материалы для повышения срока службы (чугун, базальт), и заложена возможность автоматической рихтовки рельсового пути. Для повышения безопасности при высоких скоростях движения (до 500 км/ч), данные шпалы приспособлены для использования их совместно с арочными рельсами, которые так же изобретены в ПГУАС, для ознакомления с конструкцией данных шпал и другим перспективным разработкам в области ж/д транспорта авторы советуют обратиться к работам [5], [6], [7], [8].

Основной недостаток шпал разработанных в ПГУАС, медленная окупаемость, вследствие высокой стоимости материалов для производства шпал, из-за чего требуются большие капиталовложения на начальной этапе реализации проектов по строительству ж/д магистралей. Но следует отметить, что данный недостаток испытывает вся ж/д отрасль, и может решаться грамотным концентрацией средств правительством РФ, а так же кооперацией с частными компаниями. При выполнении этих условий данные шпалы довольно быстро начнут приносить прибыль, путём снижением эксплуатационных расходов на содержание рельсового пути.

#### Литература:

1. Большая советская энциклопедия
2. Золотарский А.Ф., Балашов А.А. и др. Железнодорожный путь на железобетонных шпалах. — М.: Транспорт, 1967, 441 с.
3. Фришман М.А. Как работает путь под поездами. «Транспорт» М. 1983, 168 с.

4. Новые химические технологии [http://www.newchemistry.ru/letter.php?n\\_id=697](http://www.newchemistry.ru/letter.php?n_id=697)
5. Нежданов К.К., Нежданов А.К., Чернецов А.С. Шпала для скоростного рельсового пути Патент России № 2 324 783. E01B 3/16, E01B 3/44. Заявка на изобретение № 2006 112729/11 (013849). 2007.09.10. Запат. 20 мая 2008. Бюл. №.14.
6. Нежданов К.К., Гарькин И.Н. Об увеличении надёжности и скорости движения железнодорожных составов [Текст] // Современные проблемы транспортного комплекса России: Межвуз. сб. науч. тр. / Под ред. А.Н. Рахмангулова. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2011 -с. 169–177
7. Нежданов К.К., Кузьмишкин А.А., Гарькин И.Н. Шпала повышенной долговечности для скоростного рельсового пути [Текст] // Отраслевые аспекты технических наук № 3 (Март)-Москва изд.-во ИНГН 2012, с. 4–5
8. Нежданов К.К., Гарькин И.Н., Мягков Д.В. Способ автоматической рихтовки рельсового пути и повышения долговечности шпал [Текст] // Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта: межвуз. сб. науч. трудов.-М.:МИИТ,2011. – 207 с., с. 82–84

## Ветроэнергетическая установка на гибком валу

Фролов Максим Сергеевич, студент;  
 Жумагалиев Азат Муратович, студент;  
 Кондрашин Владимир Владимирович, студент  
 Оренбургский государственный университет

*В данной статье рассмотрена новая и перспективная технология использования энергии ветра, а именно ветроэнергетическая установка на гибком валу, которая позволит увеличить эффективность использования ветрового потока.*

**Ключевые слова:** энергоэффективность, ветроустановка, технологии.

## Wind Power Installation on Flexible to the Shaft

*This article discusses the new and perspective technology of use of wind power, namely wind power installation on flexible to the shaft who will allow to increase efficiency of use of a wind stream.*

**Keywords:** energy efficient, wind installation, technology.

В настоящее время ветроэнергетика набирает всё больший оборот и уже сейчас в ряде стран используется в качестве основного источника электроэнергии (Дания, Германия и т.д.). Это обусловлено рядом преимуществ ветроэнергетики перед традиционными источниками энергии, а именно:

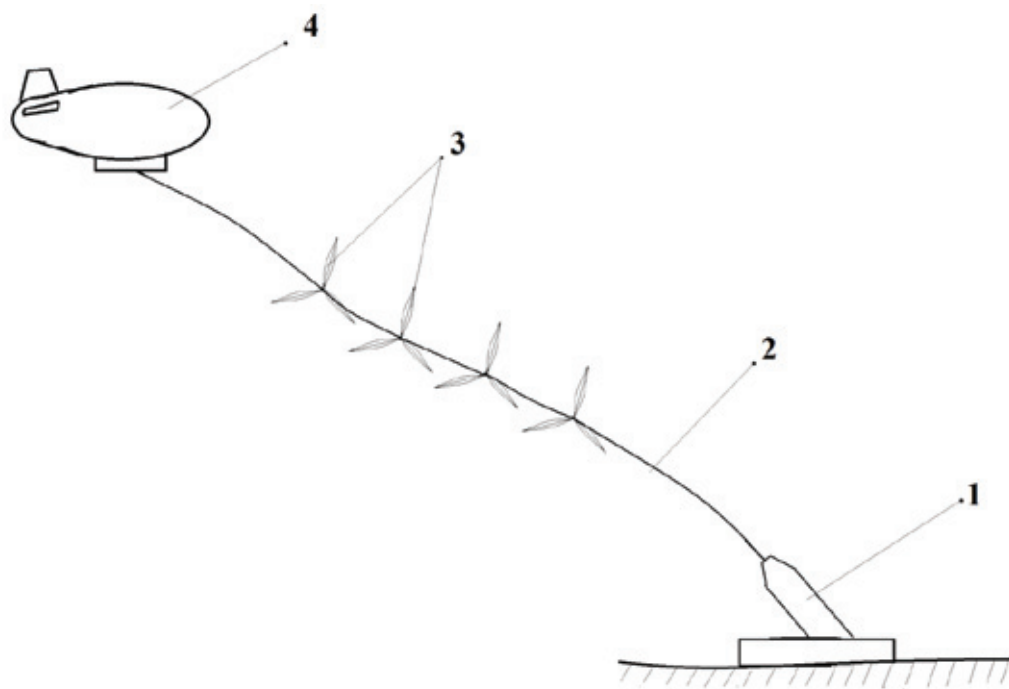
- во-первых, ветер — это «даровый» ресурс и стоимость его равна нулю,
- во-вторых, для получения электроэнергии необходим ветер в результате чего нет необходимости сжигать углеродное топливо, выбросы которых известны своим вредным воздействием на человека и окружающую среду,
- в-третьих, осуществляется обеспечение децентрализованных потребителей и регионов с дальним и сезонным завозом топлива и снижение расходов на дальнепривозное топливо.

В ветряных парках по всему миру в качестве ветрогенераторов, в основном, используются горизонтально-осевые аппараты. (около 90 % от общего числа ветроустановок).

Природные потоки ветра неуправляемы человеком и постоянно меняют своё направление, что делает достаточно трудной задачей более полезного использования этих потоков. Главной проблемой и задачей, стоящей перед инженерами в этой области является повышение коэффициента полезного действия использования потока ветра лопастями ветроустановки и как следствие повышение их энергоэффективности. Наибольшая эффективность горизонтально-осевых ветроустановок достигается максимальным количеством лопастей (теория идеального ветряка), обеспечением постоянной коллинеарности оси ветроколеса и направления потока ветра, а также использованием потоков ветра с большими скоростями.

Для достижения данных критериев необходимы новые, более современные ветроэнергетические установки. В качестве такой ветроустановки можно применить ветроустановку на гибком валу. (рис1) [1]

Данная установка состоит из генератора постоянного тока (1), гибкого вала (3) на котором расположено мно-



**Рис. 1. Ветроэнергетическая установка на гибком валу**

жестько ветроколёс (2) и аэростата (4). Гибкий вал одним концом крепится к генератору, другим к аэростату.

Аэростат наполненный газом, который легче воздуха (гелием) стремится взлететь вверх, поднимая конструкцию гибкого вала с ветроколёсами вместе с собой и, подобно флюгеру, ориентируется в направлении движения потока ветра.

В качестве гибкого вала можно использовать вал из полимерных композитных материалов, например углепластик. Данный материал представляет собой переплетение нитей углеродного волокна, расположенных в матрице из полимерных смол. Плотность данного материала составляет  $1500 \text{ кг/м}^3$  и выше, в зависимости от качества углепластика. Использование его в качестве гибкого вала на ветроустановке обусловлено его рядом преимуществ: углепластик обладает достаточно высокой прочностью, жесткостью, гибкостью, статической и динамической выносливостью, вибропрочностью, высокой химической и радиационной стойкостью, антикоррозионными свойствами и по сравнению со сталью малой массой, что даёт возможность аэростату легко поднять всю конструкцию вверх. Часто бывает что углепластик прочнее стали, но гораздо легче его. Большим недостатком углепластика является дороговизна.

При изменении направления ветра гибкий вал с ветроколёсами вместе с аэростатом выстраивается под

поток ветра. Генератор и гибкий вал также занимает положение в направлении аэростата. Вал испытывает небольшой изгиб под действием ветра, обеспечивая более правильное расположение ветроколёс и выстраивание их под поток ветра. Так же такая конструкция позволяет её использовать на более высоких высотах от земли, где, как известно, ветровой потенция достаточно выше и интенсивнее. Большое количество ветроколёс приближает данный ветроагрегат к ветряку с большим количеством лопастей, что повышает энергоэффективность использования потока ветра.

Минусом ветроустановки на гибком валу является обледенение аэростата в холодное время года. Данная проблема даёт возможность использования ветроустановки в странах с тёплым климатом, либо использовать посезонно.

По известным данным в России потенциал ветровой энергии составляет более 6000 млрд. кВт\*ч/год. Россия является одной из самых богатых стран в этом отношении. Этому способствуют самые длинные на Земле берега рек, озёр, морей, океанов; большие площади безлесных равнин и т.д. Но в настоящее время рост строительства ветропарков очень медленный. Приблизиться к мировым лидерам в плане развития ветроэнергетики помогут новые, более современные ветроустановки, потому что в основе будущего ветроэнергетики является возможность максимального использования потенциала ветра.

Литература:

1. Агара Энергия [Электронный ресурс] URL: <http://www.agara-e.ru/> (дата обращения 09.03.2013).

## Использование нового сорбента СТГ с целью импортзамещения для очистки циклогексана

Хайитов Руслан Рустамжонович, кандидат химических наук;  
Адизов Бобур Замирович, кандидат технических наук;  
Мавлянов Носир Собирович, магистрант  
Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

Были использованы для очистки циклогексана от примесей различные адсорбенты: природные и синтетические (бентониты, силикагели, оксид алюминия, цеолиты и т.д.). Наилучшие результаты были получены при применении активированных углей: СКГ, БАУ и т.д. (все производства Российской Федерации) [1].

С целью импортзамещения для очистки циклогексана был использован отечественный сорбент СТГ.

Сорбент выпускается Узбекско-Английским совместным предприятием «EKONORDRAGMET», которое зарегистрировано в Министерстве Юстиции Республики Узбекистан 15.02.2006 года. Основная задача — это внедрение новой уникальной технологии по локализации и устранению последствий аварийных разливов нефти, продуктов нефтепереработки на поверхности воды, грунта, очистки промышленных стоков и поверхностей от нефтепродуктов, жиров и других вредных соединений, образующихся в процессе производства на промышленных предприятиях с применением неорганического сорбента СТГ [2]. Результаты проводимой работы СП 31 октября 2006 года были заслушаны на заседании научно-технического совета Госкомприроды РУз и принят соответствующий документ — Поручение № 35 от 02.11.2006 г. о применении сорбента на предприятиях Республики.

Сорбент СТГ представляет собой порошкообразный материал с насыпной плотностью 4–12 кг/м<sup>3</sup>, гидрофобный со 100 % плавучестью, с сорбирующей до 55 г нефти и нефтепродуктов на 1 г сорбента и термостойкостью 300°C в воздушной среде и 3000°C в инертной. Имеет низкую теплопроводность, что позволяет его использовать в случае опасности возгорания. Скорость полного насыщения сорбента до нескольких минут. Сорбент, поглотивший загрязняющие вещества не тонет, не загрязняет

прилегающие поверхности. Сорбент СТГ инертен к кислотам и щелочам, нерастворим в конденсате, бензине и прочих органических веществах. Сорбент изготавливается по ТУ 2164–001–26461069–2003 с помощью термообработки окисленного графита. Сорбент обеспечивает локализацию, удержание и поглощение нефтяной пленки.

Характеристика сорбента дана в табл. 1.

Сорбент, поглотивший нефть не тонет, не загрязняет прилегающие поверхности, при полном поглощении нефтепродуктов не тонет в течении 60–80 суток. Столь высокая степень плавучести сорбента связана с его высокой гидрофобностью поверхности и структурой (воздух, содержащийся в порах терморасщепленного графита не может быть вытеснен водой).

Сорбент СТГ выгодно отличается от применяемых в настоящее время сорбентов по своим свойствам, механизму сорбции, структуре и высокой величине адгезии. Аналогом предлагаемого сорбента служит сорбент «Праймсорб» (производство США) на основе вспененного полистирола. Однако он обладает в два раза ниже сорбирующими возможностями, чем сорбент СТГ. Кроме того, «Праймсорб» частично растворяется в бензине и начинает плавиться при 115°C. Время поглощения СТГ от 10 секунд до 2 минут, тогда как «Праймсорб» адсорбирует нефтепродукты за 5 минут, а другие подобного рода сорбенты — от 30 минут до 24 часов. При прочих равных ценах, один кг сорбента СТГ поглощает 55 кг нефтепродуктов, а сорбент «Праймсорб» — 27 кг. Таким образом, сорбент СТГ в два раза экономичнее сорбента «Праймсорб» США.

Новый материал достаточно — экономичен, он конкурентоспособен на внутреннем и на мировом рынке и рекомендован к широкому исследованию [3–5].

Таблица 1. Физико-химическая характеристика сорбента СТГ

№ п/п	Наименование показателя	Норма	Метод испытания
1.	Внешний вид	Сыпучий продукт матового серо-чёрного цвета	Визуально
2.	Зольность, % не более	8,5	По ГОСТ 17818.4–90
3.	рН водной вытяжки, не менее	6	По ГОСТ 17818.6–90
4.	Содержание влаги, %, не более	1	По ГОСТ 17818.1–90
5.	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup> , не более	12	По ГОСТ 16.0.689.031–74
6.	Содержание серы, %, не более	0,3	По ГОСТ 17818.17–90

Следует отметить, что новый сорбент СТРГ был применен в работе Шамансурова С.С. для извлечения смеси нефтяных масел из высококонцентрированного отхода сточных вод предприятий железнодорожного транспорта [6]. При этом максимальная адсорбция достигала 36 %. При десорбции сорбент терял свою активность в каждом цикле адсорбции – десорбции до 9 % и его можно использовать до 5 раз. Также сорбент был использован для очистки нефтезагрязненных сточных вод и грунтов, отобранных с объектов УДП «Шуртаннефтегаз». Установлено, что новый сорбент обладает хорошо развитой поверхностью, которая позволяет адсорбировать нефть и нефтепродукты от 30 до 60 раз больше собственного

веса. После отжима собранной нефти, сорбент может быть использован эффективно как минимум еще 3 раза [7].

В табл. 2 приведены результаты адсорбции различных веществ адсорбентом СТРГ.

В табл. 3 приведена сравнительная оценка сорбента СТРГ и его аналога.

Из таблицы 3 видно, что СТРГ в 4–7 раз экономичней «Праймсорба» ( $575/85 = 6,7$  и  $575/150 = 3,8$ ).

Нами сорбент СТРГ был впервые применен в органической среде и использован для очистки технического циклогексана от сопутствующих примесей. Эксперимент проводился следующим образом: в коническую колбу с

Таблица 2. Адсорбция различных веществ адсорбентом СТРГ

№ п/п	Наименования вещества	Масса поглощенного вещества кг на 1 кг сорбента
1.	Ацетон	30
2.	Ацетонитрил	45
3.	Бензол	35
4.	Бутиловый спирт	30
5.	Гексан	25
6.	Дизельное топливо	40
7.	Дихлорметан	30
8.	Керосин	40
9.	Ксилолы	40
10.	Легкие нефтяные фракции, ШФЛУ	30
11.	Масляные красители	100
12.	Машинное масло	50
13.	Метанол	20
14.	Нефть сырая	55
15.	Нефтяные осадки	50
16.	Пропиленовый спирт	30
17.	Растительное масло	45
18.	Серная кислота (96 %)	100
19.	Скипидар	30
20.	Толуол	40
21.	Четыреххлористый углерод	45
22.	Фосфорная кислота (85 %)	70
23.	Хлороформ	30
24.	Циклогексан	35
25.	Этилбензол	35
26.	Этиленгликоль	35

Таблица 3. Экономическая оценка сорбента СТРГ и его аналога

№ п/п	Наименование сорбента	К-во сорбента на очистку 1 т нефтешлама, кг	Стоимость сорбента на очистку 1 т нефтешлама, долл. США	Возврат поглощенных нефтепродуктов, %	Стоимость возвращенных нефтепродуктов, долл. США	Стоимость очистки 1 т нефтешлама (гр.3-гр.5), долл. США	Эффективность сорбента по отношению к Праймсорбу
1.	Праймсорб США	27	675	90	100	575	1
2.	СТРГ	15–20	185–250	100	100	85–150	6,7–3,8



притертой пробкой заливали технический циклогексан и добавляли СТРГ согласно данным величин адсорбции (табл. 2). Колбу с сорбентом и циклогексаном оставляли на время. При определении степени очистки циклогек-

сана от различных примесей через 12 часов было установлено, что степень очистки от примесей составляет порядка 8,33 %. Таким образом, циклогексан был очищен СТРГ до 98,4 % степени чистоты.

Литература:

1. Соколов В.А., Бестужев М.А., Тихомолова Т.В. Химический состав нефтей и природных газов в связи с их происхождением. — М.: Недра, 1972. — 274 с.
2. Проспект «Характеристика сорбента СТРГ».
3. Заключение Госкомприроды Республики Узбекистан от 03.11.2006 г. — № 02—1526 о широком внедрении сорбента СТРГ и технологии его использования на предприятиях республики, деятельность которых связана с производством, транспортировкой, хранением и потреблением нефти и нефтепродуктов.
4. Поручения Госкомприроды Республики Узбекистан № 35 от 02.11.2006 г. и № 11—228 от 18.02.2008 г. всем областным и Ташкентскому городскому комитету по охране природы с рекомендацией предприятиям, занимающимся производством, хранением, транспортировкой и использованием нефти и нефтепродуктов о внедрении технологий СП «EKONORDRAGMENT» по очистки промышленных стоков от нефтепродуктов с применением сорбента СТРГ.
5. Одобрение технического совета Узбекской государственной инспекции по контролю за использованием нефтепродуктов и газа по вопросу внедрения новой технологии очистки сточных вод предприятий нефтегазовой промышленности от нефти, газоконденсата и нефтепродуктов с применением сорбента СТРГ (письмо № 01/07—563 от 06.08.2007 г.).
6. Шамансуров С.С. Разработка комплексной технологии утилизации нефтесодержащего шлама: Автореф. дис. ... к.т.н. — Ташкент, 2009. — 23 с.
7. Бабаджанова Р.В. (ОАО «УзЛИТИнефтегаз»), Заключение института «УзЛИТИнефтегаз» от 22.11.2007 г. № 28/4094 о физико-химических показателях сорбента СТРГ.

## Анализ углеводородов бензина Аи-80 методом ГЖХ

Хайитов Руслан Рустамжонович, кандидат химических наук;

Обидов Хамид Олимович, преподаватель

Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

Качественный и количественный анализ углеводородов нефтей и нефтяных фракций — это трудная задача для классических аналитических методов, так как такие смеси содержат большое число не только углеводородов, но и их изомеров, которые отличаются часто лишь положением заместителей в бензольном кольце и имеют близкие по величине физико-химические константы (температура кипения, плотность и т.д.) [1,2]. Сочетанием классических и современных физико-химических методов исследования, таких как адсорбционная жидкостная хроматография и газо-жидкостная хроматография, эти проблемы можно решить [3].

В данной работе таким путем будут проанализированы ароматические углеводороды местного бензина АИ-80.

Так как в работе проводились ступенчатые процессы облагораживания бензина путем деароматизации, затем денормализации, то далее излагается общая методика хроматографического выделения этих углеводородов. Как отмечается в [4], к современным и перспективным ав-

томобильным бензинам предъявляются жесткие требования по содержанию ароматических углеводородов — как по их количеству, так и непосредственно по бензолу.

### *Методика хроматографического выделения углеводородов из бензина*

Для этого собирается лабораторная установка, которая представлена на рис. 1. Адсорбенты использовались фр. 0,25—1,0 мм.

В стеклянную хроматографическую колонку с краном засыпается адсорбент, который предварительно дегидратирован и определена его сорбционная емкость по нефтяным сорбатам. В свободную часть колонки сверху заливается расчетное количество бензина (оно рассчитывается согласно групповому содержанию углеводородов в бензине). При закрытом кране вся система выдерживается сутки для установления адсорбционного равновесия. Затем приливается легкий петролейный эфир (к.к. 40°C) и со скоростью 1 капля в 1 секунды элюируются не адсорбированные вещества до показателя преломления чистого петролейного эфира.

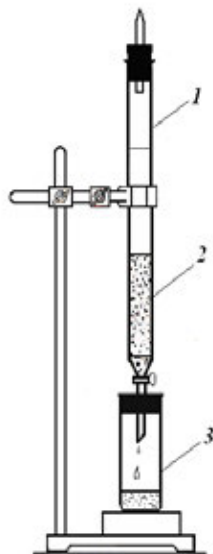


Рис. 1. Лабораторная установка для адсорбционного выделения углеводородов бензина:  
1 – стеклянная колонка, 2 – адсорбент, 3 – приемник

Для десорбции адсорбированных веществ в колонку заливается полярный растворитель из элюотропных рядов (например, ацетон, этиловый спирт, серный эфир или др.) и оставляется на сутки, затем происходит элюирование со скоростью 1 капля в 1 сек. В случае десорбента этанола смесь адсорбированных веществ из бензина можно отмыть в делительной воронке дистиллированной водой, в других случаях – растворители отгоняются. Для бензина и выделенной смеси ароматических углеводородов определяют физико-химические показатели.

Для использования сорбентов с целью улучшения качества бензина определяли их емкость из жидкой фазы в динамических условиях по различным эталонам нефтяных

компонентов: бензолу, нафталину, н-гексану криоскопическим методом (разработка ИОНХ АН РУз) [5].

Величины адсорбционной емкости использованных в работе сорбентов положены в основу проводимых процессов деароматизации и денормализации.

Следует учесть, что вначале необходимо проведение деароматизации, затем денормализации, т.к. цеолит содержит связующий компонент и он может адсорбировать ароматические углеводороды. Обычно связующим компонентом цеолитов являются природные глины. По данным Адыловой Т.Т. связующий компонент может адсорбировать до 3 % ароматических углеводородов [6].

Поэтому для исследования индивидуального состава

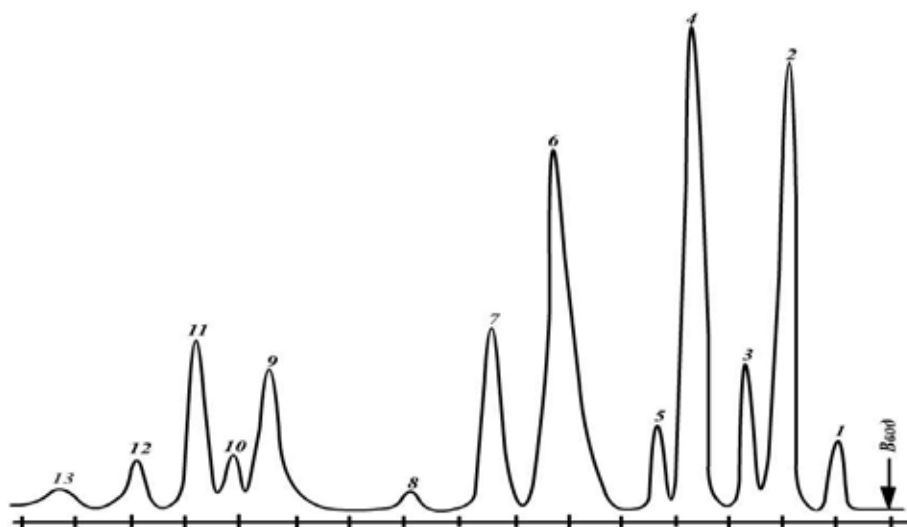


Рис. 2. Хроматограмма разделения на полифазном сорбенте 5 % SE-52 – хроматон N-AW-DMCS смеси ароматических углеводородов исходного бензина: 1 – бензол, 2 – толуол, 3 – этилбензол, 4 – м+п-ксилол, 5 – изопропилбензол, 6 – о-ксилол, 7 – пропилбензол, 8 – м-3-этилбензол, 9–1,3,5 – триметилбензол, 10–1,2,4 – триметилбензол, 11–1,2 – метилпропилбензол, 12–1,2 – диметил-3-этилбензол, 13–1,3 – диметил-2-этилбензол

Таблица 1. Качественный и количественный состав ароматических углеводородов бензина

№	Углеводороды	% масс.
1.	Бензол	5,03
2.	Толуол	16,32
3.	Этилбензол	3,36
4.	м+п-ксилол	21,00
5.	Изопропилбензол	1,89
6.	о-ксилол	20,5
7.	Пропилбензол	8,60
8.	1-метил-3-этилбензол	1,24
9.	1,3,5-триметилбензол	7,69
10.	1,2,4-триметилбензол	2,47
11.	1,2-метилпропилбензол	7,42
12.	1,2-диметил-3-этилбензол	2,36
13.	1,3-диметил-2-этилбензол	2,12

углеводородов бензина АИ-80 вначале провели деароматизацию топлива на силикагеле КСК. Для улучшения сорбционной емкости он был активирован соляной кислотой. Активированный силикагель высушен при температуре 160°C в течении 6 часов.

Выделенные ароматические углеводороды имели следующие физико-химические характеристики: мол. масса (криоскопией в бензоле) 120,  $n_D^{20} - 1,4920$ ,  $d_4^{20} - 0,8640$ .

Качественная и количественная идентификация ароматических углеводородов производилась методом газожидкостной хроматографии. Исследуемая смесь состояла из 13 компонентов (рис. 2).

Качественная расшифровка хроматограммы была сделана введением эталонов и по соответствующим номо-

граммам. Количественный расчет сделан методом внутренней нормализации путем определения площадей пиков (таблица 1) [7].

Согласно литературным данным углеводороды состава  $C_{10}$  содержат кроме указанных в таблице 1-метил-4-пропилбензол, 1-метил-3-изопропилбензол, 1,2-диэтилбензол, 1,3-диэтилбензол, третичный бутилбензол.

Таким образом, для улучшения эксплуатационных и экологических качеств бензина разработана комплексная методика выделения и анализа ароматических углеводородов из бензина с использованием адсорбционной жидкостной и газожидкостной хроматографии. При этом установлен индивидуальный качественный и количественный состав ароматических углеводородов бензина.

Литература:

1. Хайитов Р.Р. Хроматографический анализ ароматических углеводородов бензина // Узб. хим. журн. – Ташкент, 2010. – № 3. – С. 71–73.
2. Нарметова Г.Р. Коллоидно – химические основы создания полифазных сорбентов для газо – жидко – твердофазной хроматографии: Автореф. дис. ... д.х.н. – Ташкент, 1993. – 38 с.
3. Топливная засуха // Газета Аргументы и факты. – Международное издание, 2011. – № 3. – 22 с.
4. Рябова Н.Д. Адсорбенты для светлых нефтепродуктов. – Ташкент: ФАН, 1975. – 144 с.

### Адсорбенты для выделения и анализа ароматических углеводородов

Хайитов Руслан Рустамжонович, кандидат химических наук;  
 Хужакулов Азиз Файзуллаевич, преподаватель;  
 Джумаев Миршод Адизович, магистрант  
 Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

Применение адсорбентов в нефтепереработке и в исследованиях нефти и нефтепродуктов известно уже давно. Классическими являются методы Маркусона:

«Определение группового состава смолистых нефтепродуктов с применением флоридина (позже силикагелей) для выделения смол» [1].

Таблица 1. Техническая характеристика силикагелей, применяемых при хроматографии

№	Марка силикагелей	Насыпной вес с утряской в г/см <sup>3</sup>	Структура					Влагоемкость в масс. % при относительной влажности воздуха				Примечание	
			Поверхность, м <sup>2</sup> /г	Истинный уд. вес	Кажущийся уд. вес	Объем пор, см <sup>3</sup> /г	Средний радиус пор, нм	Пористость, %	20	40	60		100
1	КСК№ 2	0,39	338	2,240	0,611	1,19	7,0	72,7	2,5	4,6	7,8	119	Прокаленная
2	КСК№ 2,5	0,46	376	2,244	0,706	0,971	5,16	67,4	2,2	4,6	8,7	97,9	««
3	КСС№ 3	0,50	522	2,236	0,729	0,925	3,54	67,4	2,9	5,7	13,5	87,1	««
4	КСС№ 4	0,58	650	2,235	0,831	0,760	2,34	62,8	2,4	7,4	20,1	70,4	-
5	КСМ№ 5	0,66	715	2,250	0,980	0,575	1,61	56,4	4,4	15,5	34,9	56,8	Прокаленная
6	КСМ№ 6П	0,87	527	2,255	1,353	0,296	1,12	40	5,7	15,2	21,7	26,9	««
7	КСМ-1 6С	0,87	624	2,179	1,218	0,362	1,16	44,1	11,3	20,5	33,1	34,8	Сухие фр. 2,5–0,5

Наиболее бурное развитие получили адсорбционная хроматография, которая создана и теоретически и экспериментально обоснована русским ученым М.С. Цветом еще в 1903 году [2]. В настоящее время он нашел широкое применение, как точный, тонкий и универсальный метод анализа и разделения сложных смесей на ее составные части. Хроматографический анализ по точности превосходить обычные приемы качественного анализа, позволяя изолировать и идентифицировать малые количества веществ. За короткий срок хроматография стала необходимым методом исследовательской работы почти каждой химической лаборатории. Сейчас хроматографический метод превратился в самостоятельный раздел физико-химического анализа, и приобретает все большее значение, как в лабораторной практике, так и в промышленности. Преимущество этого метода заключается в том, что он применим для выделения и разделения смесей веществ очень близких по своему составу, строению и свойствам.

При изучении адсорбционных явлений обычно различают статику [3], (т.е. равновесное состояние между адсорбентом и молекулами адсорбируемого вещества), кинетику [4], изучающую скорость процессов адсорбции; динамику [5,6], изучающую процессы, связанные со взаимным перемещением адсорбируемого вещества и адсорбента. В этом случае либо адсорбируемое вещество перемещается по слою адсорбента, либо адсорбент перемещается по слою адсорбируемого вещества (в наших исследованиях использован первый вариант).

В последнее время большое развитие и применение в технике и в промышленности для анализа нефтей и нефтепродуктов приобрел адсорбционный анализ. Как уже отмечалось выше, об адсорбентах, адсорбционных процессах и применении их в исследованиях и в различных отраслях промышленности имеется в настоящее время огромная литература.

Несмотря на обилие литературы по адсорбентам вообще, сравнительно мало опубликовано работ об адсорбентах применительно к анализу и разделению нефти и нефтепродуктов. Впервые монография по хроматографии нефтепродуктов опубликована в 1963 г. [7].

Несмотря на давность применения адсорбентов, очень длительное время нефтяники интересовались адсорбентами лишь как отбеливающими средствами для обесцвечивания разнообразных масел.

Наиболее серьезно вопросы очистки нефтепродуктов путем адсорбции были впервые рассмотрены Л.В. Гуревичем [8]. В отличие от теории Фрейндлиха, где решающим моментом в процессе адсорбции является изменение поверхностного натяжения на границе раздела между раствором и адсорбентом Л.В. Гуревич высказывал взгляды о необходимости учитывать силы притяжения адсорбентом не только растворенного вещества (адсорбента), но также и растворителя, о котором можно судить по соответствующим теплотам смачивания. Это уже давало возможность, ориентируясь на теплоты смачивания, предугадывать определенные закономерности в явлениях адсорбции и, в частности, рекомендовать оптимальные растворители для десорбции. Л.В. Гуревич правильно считал, что чем энергичней адсорбируется какое-нибудь вещество, тем больше будет его адсорбция преобладать над адсорбцией других.

В наших исследованиях в качестве адсорбента выбран силикагель, который введен впервые в нефтяную практику Б.А. Тарасовым.

Силикагель — высушенный гель кремневой кислоты пористого строения с сильно развитой внутренней поверхностью. Это особенность обуславливает ценнейшие свойства силикагеля — адсорбента, носителя каталитически активного вещества и катализатора.

С каждым годом он находит все более широкое применение в самых разнообразных отраслях народного хозяйства.

Наряду с водой силикагель хорошо сорбирует пары многих органических веществ. Этим его свойством пользуются для улавливания (рекуперации) паров ценных органических растворителей — бензина, бензола, эфира, ацетона и т.п. из воздуха, бензола из газовых коксовых печей и бензина из природных газов.

Свойство силикагеля поглощать многие вещества из жидкой фазы используют в промышленной очистке различных масел, при обессеривании нефтяных погонов и удалении из нефти высокополимерных смолистых веществ.

#### Литература:

1. Рыбак Б.М. Анализ нефти и нефтепродуктов. М., Гостоптехиздат, 1962. 888 с.
2. Журнал ВХО им. Д.И. Менделеева, посвященный жизни и деятельности М.С. Цвета. 2003, № 5.
3. Чмутов К.В. Хроматография. Из-во. АН СССР, М., 1962. 415 с.
4. Тимофеев Д.Н. Кинетика адсорбции. М., Из-во. АН СССР, 1962. 342 с.
5. Дубинин М.М., Чмутов К.В. Физико-химические основы противогазного дела. Изд-во. ВАХЗ, М., 1957. 453 с.
6. Я. де-Бур Динамический характер адсорбции. М., Из-во ИЛ, 1962. 245 с.
7. Зрелов В.Н., Киякин Г.И. Хроматография в нефтяной и нефтехимической промышленности. М., Гостопхимтехиздат. 1963. 250 с.
8. Гуревич Л.В.. Научные основы переработки нефти. М., Гостопхимтехиздат, 1940. 432 с.

## Методы изготовления деталей из композиционных материалов методом вакуумной пропитки в оснастке

Хоробрых Михаил Александрович, студент, лаборант;

Каширский Дмитрий Александрович, студент, лаборант

Самарский государственный аэрокосмический университет имени С.П. Королева

Межкафедральное студенческое бюро Самарского государственного аэрокосмического университета имени С.П. Королева

### Введение

Композиционные материалы (КМ) благодаря комплексу уникальных свойств широко используются в технике. Известно большое количество методов переработки этих материалов в изделия различных размеров, конфигурации и назначения. Среди всего множества методов в последнее время возросло использование методов изготовления деталей из КМ пропиткой армирующего наполнителя связующим в оснастке. В приведенной ниже статье описано большое количество указанных методов с их кратким описанием. Приведенная статья не исчерпывает всего разнообразия методов изготовления деталей из КМ пропиткой наполнителя в оснастке, но дает общее представление об их возможностях, путях решения тех или иных проблем.

### Анализ методов

RFI (Resin Film Infusion) — метод изготовления деталей, при котором связующее в виде пленки укладывается

С помощью геля кремневой кислоты проводится хроматографическое разделение и анализ смесей, что основано на избирательности адсорбционного действия силикагеля по отношению к веществам различной химической природы. Ниже в таблице 1 дана характеристика силикагелей.

В качестве оптимального адсорбента для адсорбции ароматических углеводородов из ряда силикагелей нами выбран силикагель КСК-2. Как видно из таблицы, характеристика силикагеля такова: средний радиус пор 7 нм (70 ангстрем или 0,7 нм); насыпной удельный вес 2,24 г/см<sup>3</sup>; объем пор 1,19 см<sup>3</sup>/г; и т.д.

ется на оснастку совместно с пакетом сухого наполнителя. После изготовления вакуумного мешка оснастка помещается в автоклав, в котором происходит расплавление пленочного связующего (рис. 1).

Автоклавное давление через вакуумный мешок воздействует на пакет наполнителя и вдавливают его в расплавленное связующее. Толщину пленочного связующего выбирают из условия заданного объемного содержания наполнителя в пластике. Для толстых пакетов пленочное связующее чередуют с заданным количеством слоев наполнителя. Связующее при пропитке может находиться в весьма вязком состоянии, но путь, на который происходит его распространение, на несколько порядков меньше, чем при RTM и VARTM методах и составляет не более 1...2 мм. Таким образом, открывается возможность использования вязких связующих, применяемых для изготовления препрегов для аэрокосмической промышленности.

В источнике [1] описывается применение данного метода для изготовления монолитных подкрепленных и трехслойных панелей с сотовым или иным наполнителем.



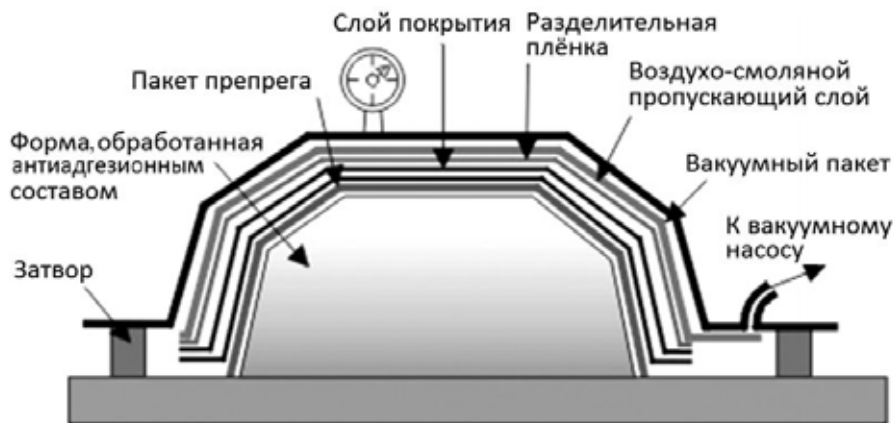


Рис. 1. Схема изготовления детали RFI методом

VARTM, VRTM (Vacuum Assisted RTM). В данном методе для пропитки сухого наполнителя используется только разрежение создаваемое в полости оснастки. Под действием этого перепада между полостью оснастки и источником связующего последнее движется от источника к точке подсоединения вакуумного насоса в полости оснастки, пропитывая наполнитель (рис. 2).

Перепад давления не превышает 0,095 МПа, что снижает требования к жесткости оснастки. В этой связи представляется возможным создание упрощенной оснастки, состоящей из жесткой половины с формообразующей поверхностью и верхней гибкой мембраной, герметично закрепляемой на жесткой части. Стоимость и сложность оснастки по сравнению с методом RTM существенно снижается [2]. Ввиду явных преимуществ экономического характера в настоящее время появилось большое количество разновидностей VARTM метода, часть из которых описывается ниже.

FRTM (Flexible RTM, Draper Laboratory, MIT) — вариант RFI, в котором слои пленочного связующего и сухого наполнителя укладываются между эластичными мембранами, герметизируемыми по контуру. Пакет укладывается на плоскую поверхность, вакуумируется и нагревается. Расплав связующего под действием атмосферного давления пропитывает наполнитель по направлению толщины. Далее пакет укладывается на оснастку, где проводится отверждение изделия. Применение метода FRTM существенно упрощает подготовку связующего, улучшает условия труда (операции только с сухими материалами), обеспечивает однородность пластика по толщине [5].

RIP (Resin Impregnation Process, McDonnell Douglas Corp.). В этом методе на оснастку укладывается последовательно сухой наполнитель, пронизываемый для связующего слой, дренажный слой (bleeder), разделительная пленка, вентиляционный слой (breather), вакуумный мешок. Со стороны подачи связующего разделительная пленка герметизируется к оснастке, а со стороны вакуумирования совмещается с вентиляционным слоем. При пропитке связующее движется по дренажному слою, ог-

раниченное разделительной пленкой, и сквозь пронизываемый слой пропитывает наполнитель. Вентиляционный слой выравнивает давление по поверхности. Оснастка помещается в автоклав для пропитки и отверждения под давлением, при этом пропитка может осуществляться при наличии или без давления в автоклаве. В варианте RFI этого метода используется пленочное связующее, укладываемое под сухой наполнитель на оснастку, причем по торцу наполнителя укладывается ограничительный материал, препятствующий растеканию связующего [6].

VRIP (Vacuum Resin Impregnation Process, McDonnell Douglas Corp.). Метод совмещает в себе вакуумную пропитку и отверждение по схеме RIP [7].

Между методом RFI и классическим методом выкладки препрега можно расположить метод с применением наполнителя с односторонним нанесением связующего. При нагреве связующее расплавляется и под действием атмосферного или избыточного давления автоклава завершает пропитку наполнителя, находящегося под вакуумом. При этом сухой наполнитель эффективно дренажирует наполнитель на всю глубину, позволяя добиться очень низкой пористости пластика для больших толщин, габаритов и отсутствия поверхностного дренажирования изделий. Примерами такого полупропитанного наполнителя являются: система ZPREG (Advanced Composites Group).

SCRIMP (Seemann Composites Resin Infusion Molding Process) комплекс VARTM методов, автором которых является William H. Seeman с коллегами. Особенностью методов SCRIMP (рис. 3) является увеличение скорости пропитки наполнителя с помощью поверхностных пространителей (нетканые и тканые высокопроницаемые материалы) и транспортных каналов, образуемых на оснастке, в наполнителе или на внутренней поверхности силиконовых многоразовых вакуумных мешков.

Существуют методы изготовления подобных многоразовых мешков, имеющих достаточную степень прозрачности для контроля пропитки, высокую теплостойкость, высокие упругие свойства, антиадгезионные свойства [8, 9].

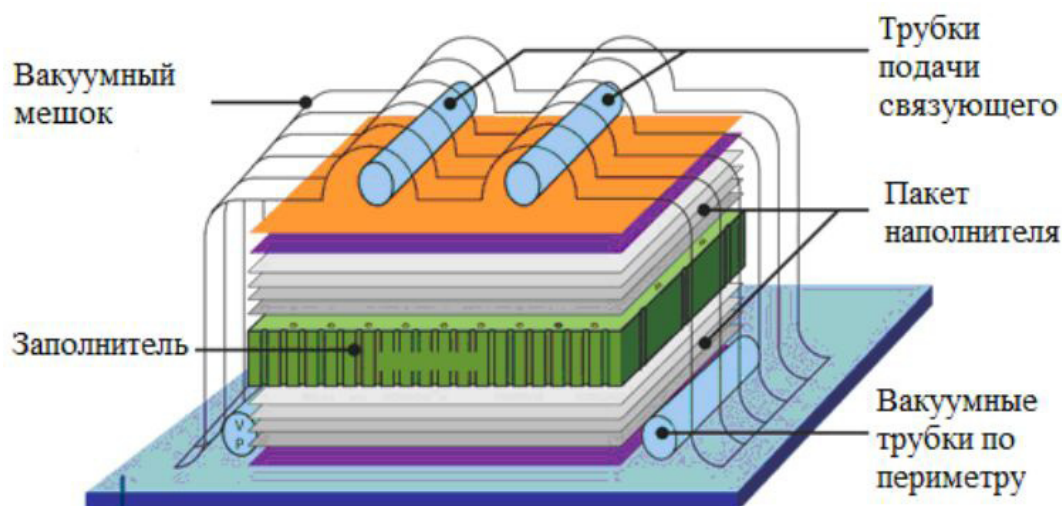


Рис. 2. Схема изготовления детали VARTM методом

CAPRI (Controlled Atmospheric Pressure Resin Infusion, Boeing) метод, разработанный специалистами фирмы Boeing, заключается в контроле перепада давления между источником подачи связующего и полостью в оснастке путем изменения давления в источнике ниже атмосферного. Известно, что при обычном методе VARTM за фронтом связующего под вакуумным мешком образуется полость, имеющая высокое давление, практически соответствующее давлению в источнике подачи связующего, то есть атмосферному давлению. При этом снижается почти до нуля перепад давления на вакуумном мешке и ранее подпрессованный наполнитель расширяется, снижая долю волокна в пропитанном ламинате. Использование вакуума в источнике связующего на уровне 0,05 МПа позволяет уменьшить изменение толщины пропитанного пакета. Еще одной особенностью метода является использование пульсационной подпрессовки сухого наполнителя. Деформирование наполнителя при вакуумной подпрессовке отличается линейной связью «давление — деформация» и наличием сухого трения. Последовательное приложение вакуума к пакету сухого наполнителя и сброс, повторяемые не менее 7 раз, приводят к более высокому прессованию пакета и достижению более высокой доли волокна в готовом пластике [10].

DBVI (Double Bag Vacuum Infusion, Boeing). В данном варианте VARTM метода используется двойной вакуумный мешок на оснастке. Под внутренним мешком располагается сухой наполнитель, а полость между этим мешком и оснасткой представляет собой полость, в которой движется связующее из источника, находящегося под атмосферным давлением, к вакуумному насосу. В полости между внешним и внутренним вакуумными мешками с расположенным дренажным слоем создается разрежение независимо от полости с наполнителем. По заявлению авторов метода, наружный мешок не по-

зволяет переднему фронту связующего раздуть внутренний вакуумный мешок, увеличивая толщину изделия за счет избытка связующего. Авторы метода [11] заявляют о повышении относительной объемной доли наполнителя на 5.10 % по сравнению с классическими VARTM методами.

FASTRAC (FAST Remotely Actuated Resin Channely process, Air Force Research Laboratory). В данной разновидности VARTM процесса используется специальная FASTRAC мембрана с односторонним рельефным рисунком, укладываемая поверх основного вакуумного мешка. Между FASTRAC мембраной и вакуумным мешком создается контролируемый вакуум, который способствует прилеганию вакуумного мешка к рельефу мембраны и образованию мешком каналов. Глубина каналов будет наибольшей в зонах с наибольшим перепадом давления между полостями под вакуумным мешком и между вакуумным мешком и мембраной, то есть в зоне уже пропитанного наполнителя. По заявлениям авторов, данный метод увеличивает скорость распространения связующего на 100.200 %. Преимуществом данного способа управления пропиткой является то, что мембрана находится снаружи вакуумного мешка, не загрязняется, может использоваться многократно. Создавая определенный рисунок рельефа на мембране, можно управлять направлением и скоростью распространения связующего без применения дополнительных расходных элементов [12].

CCBM (Closed Cavity Bag Molding, Arctec Inc.) — метод изготовления многоразового вакуумного мешка. Для снижения технологических расходов в серийном производстве вакуумный мешок изготавливается из жидкого силикона, наносимого на форму шпателем или пульверизатором. Для повышения точности на форме может быть уложена фальшдеталь, моделирующая готовое изделие. Для повышения прочности вакуумный мешок армируется тканью или сеткой [13].

CVI (Control Vacuum Infusion, Polyworx). Применение программного обеспечения, моделирующего процессы пропитки наполнителя, позволяет разработать эффективные технологические схемы изготовления деталей сложной конфигурации и больших габаритов, снизить технический риск и затраты на отработку технологии [14].

RLI (Resin Liquid Infusion) — VARTM метод, в котором на одностороннюю оснастку наносится связующее в жидком виде, затем укладывается сухой наполнитель и проводится изготовление вакуумного мешка с последующим приложением вакуума, обеспечивающего пропитку наполнителя преимущественно сквозь его толщину аналогично RFI методу [15].

UV VARTM (UltraViolet VARTM) — метод, в котором вместо стандартной двухкомпонентной системы связующего (смола + отвердитель) используется связующее с фотоинициаторами. Такое связующее начинает отверждаться только когда подвергается воздействию ультрафиолетового излучения. В качестве связующих эффективно используются полиэфирные, винилэфирные и эпоксидные связующие, отверждаемые при комнатной температуре с облучением лампами УФ излучения в течение 60–90 секунд. Температура стеклования, упругопрочностные показатели не уступают, а иногда и превышают аналогичные показатели для термически отвержденных связующих. Метод UV VARTM позволяет начать отверждение в любое время и прервать его при необходимости, существенно увеличивает продуктивность труда и снижает себестоимость продукции [16].

VARI (VAcuum Resin Infusion, Lotus Cars). В методе используется оснастка из двух частей. На оснастку предварительно наносится гелькоут и сухой наполнитель, далее форма смыкается и подключается к частичному вакууму, под действием которого две половины оснастки подпрессовывают наполнитель. Вакуум перекрывается, открывается отверстие в наиболее низкой части формы для заливки требуемого количества связующего. Далее отверстие заливки связующего закрывается и открывается канал вакуумирования внутренней полости. Под действием атмосферного давления половины оснастки сближаются, распространяя связующее от зоны заливки к периферии оснастки. Для контроля пропитки рекомендуется изготавливать верхнюю половину оснастки полупрозрачной. После завершения пропитки вакуум перекрывается и осуществляется режим отверждения. Отверстие вакуумирования после отверждения подсоединяется к источнику давления и оснастка распрессовывается [17].

VAP (Vacuum Assisted Process, EADS Deutschland) — разновидность VARTM процесса, в котором на сухой наполнитель дополнительно укладываются особая мембрана и газопроводящий слой (breather и bleeder). Мембрана представляет собой материал, непроницаемый при перепаде давления до 0,1 МПа для связующего, но проницаемый для газов. Пропитка и отверждение про-

исходят аналогично методам VARTM с применением аналогичной односторонней оснастки и эластичного вакуумного мешка. Метод улучшает качество готового пластика за счет существенного снижения вероятности образования непропитанных зон наполнителя и уменьшения пористости пластика до 0,2 %, создания благоприятного распределения давления, снижающего разнотолщинность готового изделия. Отпадает необходимость отработки технологии на новом изделии или моделирования процесса, снижаются требования к квалификации персонала [18].

PRESTOVAC (Polyflow Developments Ltd) — разновидность VARTM метода, в котором используется двухсторонняя оснастка, позволяющая получать высокое качество обеих сторон изделия. Особенностью процесса является налив связующего поверх уложенного в оснастку сухого наполнителя до закрытия формы. После установки ответной части оснастки и герметизации по контуру формообразующая полость подключается к вакууму. Разрезание в полости стягивает обе части оснастки, заставляя связующее распространяться к источнику вакуума, пропитывая наполнитель [19].

VEC (Virtual Engineered Composites, VEC Technology) — это усовершенствованный RTM процесс с высоким уровнем автоматизации. В форму, состоящую из двух частей, наносится гелькоут и выкладывается сухой наполнитель. Далее форма закрывается, герметизируется и погружается в емкость, заполненную водой с контролируемой температурой и давлением, где и происходит инжекция связующего в полость оснастки. За счет пренебрежимо малой сжимаемости воды на оснастку передается достаточно высокое давление, равномерно распределяемое по поверхности оснастки, что обеспечивает снижение требований к жесткости оснастки. В свою очередь, малая теплоемкость процесса и использование компьютеризированного контроля температуры воды обеспечивает высокую скорость нагрева детали и точность поддержания температуры. Процессом управляет компьютер, контролирующий большое количество параметров. При высоких требованиях к качеству поверхности и для снижения технологических затрат на изготовление изделия применяется термоформуемая пленка VEC Shield. Данное покрытие представляет собой многослойную экструдированную пленку, обеспечивающую защиту от климатических воздействий, царапин, ударов, имеющую широкую цветовую гамму окраски и хорошие свойства склеивания для внутренней поверхности [21].

RIDFT (Resin Infusion between Double Flexible Tooling, Florida State University) и DRDF (Double RIFT Diaphragm Forming, University of Warwick). В данном методе разделены операции пропитки наполнителя и собственно формования изделия. Сухой наполнитель укладывается между двумя мембранами (силиконовые листы, пленки), пакет герметизируется и в свободном состоянии проводится вакуумная пропитка наполнителя. Далее по завершению процесса пропитанный наполнитель в герметичной мем-

бране укладывается на оснастку и в полости между нижней мембраной и оснасткой герметизируется и подключается к вакууму, что приводит к формообразованию пропитанного наполнителя. Далее следует этап отверждения изделия на оснастке. Данный метод позволяет снизить требования к квалификации рабочего, проводящего процесс пропитки, упрощает отработку технологического процесса изделия, уменьшает затраты на обслуживание оснастки в части, касающейся подготовки ее поверхности (очистка, покрытие разделяющими составами), снижает требования к шероховатости, герметичности и твердости поверхности. Метод ограничен способностью наполнителя утягиваться и деформироваться, обычно применяется для изготовления деталей с малой вытяжкой или одинарной кривизной [23].

VacFlo (Scott Bader) – VARTM процесс, при котором пропитка наполнителя осуществляется на оснастке, состоящей из двух относительно жестких половин, имеющих двойной герметизирующий профиль. Полный вакуум ( $\sim 0,1$  МПа), подводимый между герметизирующими профилями, надежно удерживает половины оснастки. Частичный вакуум ( $\sim 0,05$  МПа), подводимый в центральной точке оснастки, создает перепад давления с источником связующего, пропитывающий сухой наполнитель в зазоре между частями оснастки. Подвод связующего осуществляется по внутреннему контуру внутреннего герметизирующего профиля [24].

LPRIM (Low Pressure Resin Infusion Molding, Le Comte) – разновидность VARTM метода для изготовления тонкостенных оболочек. Для снижения скорости пропитки используются транспортные каналы, образованные на продольных и поперечных рифтах, выполненных из пенопласта. Точки подвода связующего расположены на продольных рифтах [25].

FFC (Flow Flooding Chamber, University of Delaware) – разновидность VARTM метода, в котором над вакуумным мешком с расположенным под ним на оснастке сухим наполнителем герметично устанавливается жесткая полость, целиком перекрывающая вакуумный мешок. При подключении полости к частичному вакууму, снижающему перепад давления на вакуумном мешке, наполнитель увеличивает свою толщину и проницаемость для связующего. После прохождения фронта последнего давление под вакуумным мешком увеличивается, выдувая вакуумный мешок и создавая между наполнителем и мешком канал распространения связующего. После пропитки наполнителя жесткая полость соединяется с атмосферой, создавая повышенное давление на наполнитель со стороны вакуумного мешка. Избыточное давление опрессовывает пропитанный наполнитель и выдавливает избыток связующего. Данный метод позволяет существенно увеличить проницаемость наполнителя без применения транспортных каналов в виде поверхностных сеток или трубок, что снижает технологические расходы материалов и время на подготовку к пропитке [26].

Vacuum Induced Preform Relaxation (VIPR, University of Delaware) – вариант FFC метода, в котором герметичная полость устанавливается над частью вакуумного мешка, обычно в средней части. В начальный момент пропитки скорость фронта связующего высокая и не возникает необходимости ее ускорять в связи с вероятностью непропитки внутри плотных нитей. По мере продвижения фронта связующего его скорость падает, в связи с чем в средней части наполнителя целесообразно использовать FFC полость. После отключения вакуума под полостью атмосферное давление выдавливает связующее в непропитанную область, завершая процесс пропитки [27].

CP VARTM (Constant Pressure Infusion Process, Cytec) – в данном методе связующее находится в герметичном тонкостенном резервуаре (например из пленки), который располагается под вакуумным мешком и соединяется трубкой с наполнителем со стороны подачи. На противоположной стороне подсоединена трубка вакуумирования. Перепад давления между полостью вакуумного мешка и атмосферой сжимает резервуар со связующим и обеспечивает продвижение связующего из резервуара к наполнителю при его пропитке. По мнению авторов метода, такая схема подачи связующего снижает градиенты давления по поверхности наполнителя и повышает стабильность и повторяемость результатов пропитки [28].

KVASI, VASI (Vacuum-Assisted Sandwich Infusion, Kockum) – VARTM процесс изготовления трехслойных панелей с пенопластовым наполнителем. На поверхности наполнителя выполняется сетка канавок, выступающих в роли транспортных каналов, на пересечении которых выполнены отверстия, соединяющие верхние и нижние каналы. Подача связующего проводится к наполнителю на нижней, обращенной к оснастке, стороне трехслойной панели, а вакуумирование осуществляется на верхней стороне. По заявлению фирмы Kockum данным методом изготовлены панели площадью  $65 \text{ м}^2$  при объемном содержании наполнителя в пластике на уровне 60 % и пористости не более 1 % [29].

VIMP (Vacuum Infusion Molding Process) – вариант названия VARTM метода с использованием транспортных каналов поверхностного типа и канавок на легком наполнителе, как и в SCRIMP методах [30].

VIMP (Variable Infusion Molding Process, S&M Composites) – VARTM метод, в котором используется двухсторонняя жесткая или полужесткая оснастка, а связующее подается внутрь пакета сухого наполнителя, содержащего слой с высокой проницаемостью, играющий роль двумерного интегрального транспортного канала, эффективно проводящего связующее. Подведение связующего к внутреннему слою или нескольким слоям осуществляется по нормали к направлению наполнителя через трубки подачи в оснастке и отверстия в слоях наполнителя [31].

HyPerVARTM (High Performance VARTM, V System Composites) – VARTM процесс, в котором для ускорения пропитки сухого наполнителя применяются поверхностные транспортные каналы в виде нетканого ма-



териала или каналов на наполнителе. Для обеспечения надежной пропитки зон с увеличенной толщиной сухого наполнителя применяются дополнительные слои поверхностных транспортных каналов двух типов: первые обладают способностью аккумулировать связующее, необходимое для пропитки наполнителя увеличенной толщины на всю толщину, а вторые слои увеличивают проницаемость указанной зоны, что компенсирует снижение скорости фронта пропитки, возникающего вследствие повышения расхода связующего. Комбинированное применение обычных транспортных каналов с разным количеством аккумулирующих слоев устраняет зоны непропитанного наполнителя для сложных вариантов армирования [32].

HyPerRTM (High Performance RTM, V System Composites) – метод, объединяющий достоинства HyPerVARTM и классического RTM методов. Оснастка содержит транспортные каналы и изготовлена методом HyPerVARTM [33].

VERITy (Vacuum Enhanced Resin Infusion Technology, National Aerospace Laboratories, Bangalore, India) – VARTM метод с использованием однонаправленного углеродного сухого наполнителя и подогрева связующего и оснастки до 45...50°C [34].

MVI (Modified Vacuum Infusion, Airbus) – VARTM процесс с применением поверхностного транспортного канала, в котором трубка вакуумирования располагается в отдельной полости, соединяемой с основной полостью сухого наполнителя посредством жертвенного слоя, непроницаемого для связующего. Метод позволяет снизить расход связующего и технологических материалов (трубки вакуумирования остаются чистыми) [35].

## Выводы

Методы вакуумной пропитки обладают следующими достоинствами по сравнению с методами пропитки под давлением:

- позволяют существенно снизить требования к оснастке и ее стоимости;
- позволяют изготовить конструкции больших габаритов;
- упрощен визуальный контроль пропитки наполнителя.

Недостатки, ограничивающие применение методов вакуумной пропитки в аэрокосмической промышленности:

- недостаточные теплопрочностные свойства существующих низковязких связующих, параметры трещиностойкости и вязкости разрушения;
- неоднородность объемной доли волокна по изделию, пористость;
- высокие требования к герметичности вакуумного мешка.

Основные направления развития указанных методов:

- автоматизация этапов технологического процесса;
- сокращение времени пропитки и отверждения связующего;
- повышение повторяемости и качества пропитки, разработка и внедрение методов контроля качества;
- сокращение расхода вспомогательных технологических материалов;
- создание крупногабаритных, интегральных агрегатов со сложной неоднородной структурой за один технологических цикл.

## Литература:

1. Patent № 4,622,091 (US), Int. Cl.4 B32B 31/20. Resin film infusion process and apparatus/Leslie E. Letterman; The Boeing Comp. – Appl. No.: 676,427; Filed: Nov. 29, 1984; Date of Patent: Nov. 11, 1986.
2. Composite materials handbook. In 5 volumes./US Army Research Laboratory Weapons & Materials Research Directorate. – Ford Belvoir, 2002. Volume 3 of 5: Polymer matrix composites materials usage, design, and analysis. – 693 p.
3. P. Wang & ors. Characterization of Liquid Resin Infusion (LRI) filling by fringe pattern projection and in situ thermocouples /Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Volume 41, Issue 4, January 2010, Pages 36–44.
4. [www.composite.about.com/library/PR/2001/blhexcel3.htm](http://www.composite.about.com/library/PR/2001/blhexcel3.htm).
5. Patent № 5,322,665 (US), Int. Cl5. B29C 67/14. Disposable self contained cartridge or resin transfer molding and resin transfer molding method/Edward Bernardon, Michael F. Foley; The Charles Stark Draper Laboratories, Inc. – Appl. No.: 912,840; Filed: Jul. 13, 1992; Date of Patent: Jun. 21, 1994.
6. Patent № 5,281,388 (US), Int. Cl.3 B29D 3/02. Resin impregnation process for producing a resin-fiber composite/Raymond J. Palmer, William E. Moore; McDonnell Douglas Corp. – Appl. No.: 854,858; Filed: Mar. 20 1992; Date of Patent: Jan. 25, 1994.
7. Patent № 4,942,013 (US), Int. Cl.5 B29C 43/12. Vacuum resin impregnation process/Raymond J. Palmer, Gerard R. Bonnar, William E. Moore; McDonnell Douglas Corp. – Appl. No.: 329,029; Filed: Mar. 27, 1989; Date of Patent: Jul. 17, 1990.
8. Patent № 4,902,215 (US), Int. Cl.4 B29C 43/02. Plastic transfer molding techniques for the production of fiber reinforced plastic structures/William H. Seemann. – Appl. No.: 333,747; Filed: Mar. 30, 1989; Date of Patent: Feb. 20, 1990.



9. Patent № 5,052,906 (US), Int. Cl.5 B29C 43/02. Plastic transfer molding apparatus for the production of fiber reinforced plastic structures/William H. Seemann; Seemann Composite System, Inc. – Appl. No.: 453,824; Filed: Dec. 21, 1989; Date of Patent: Oct. 1, 1991.
10. Patent № 7,334,782 B2 (US), Int. Cl. B29C 45/14. Controlled atmospheric pressure resin infusion process/Jack A. Woods, Andrew E. Modin & ors; The Boeing Comp. – Appl. No.: 10/485,725; Filed: May. 28, 2003; Date of Patent: Feb. 26, 2008.
11. Patent № 7,413,694 B2 (US), Int. Cl. B29C 45/02. Double bag vacuum infusion process/John C. Waldrop, Bruce Harshman & ors; The Boeing Comp. – Appl. No.: 09/731,945; Filed: Dec. 7, 2000; Date of Patent: Aug. 19, 2008.
12. Shawn M. Walsh, Bruse K. Fink. Achieving low cost composite processes through intelligent design and control. U.S. Army Research Laboratory//SM1. – P. 1–12.
13. Patent № 5,665,301 (US), Int. Cl.6 B29C 70/44. Apparatus and method for forming fiber reinforced composite articles/John Sulo Matias Alanko; Arctek Inc. – Appl. No.: 500,590; Filed: Jul. 11, 1995; Date of Patent: Sep. 9, 1997.
14. [www.polyworx.com/pwx/cvi](http://www.polyworx.com/pwx/cvi).
15. Mel H. Schwartz. Innovations in materials manufacturing, fabrication, and environmental safety – CRC Presse, 2010. – 814 p.
16. Presented of Composites'97 Manufacturing & Tooling Conference Advisory Committee Liquid molding Session: Emerging Low Cost Manufacturing Process for UV Cure Resins. Jan. 21, 1997.
17. L. Joubaud, F. Trochu, J. Le Corvec, «Simulation of the Manufacturing of an Ambulance Roof by Vacuum Assisted Resin Infusion (VARI)», Composites 2002 Convention and Trade Show, Composites Fabricators Association, (2002).
18. Patent № 01/68353 A1 (WO), Int. Cl.7 B29C 70/44. Method and device for producing fibre-reinforced components an injection method/J. Filsinger, T. Lorenz & ors. – Filed: 17.03.2000; Date of Patent: 20.09.2001.
19. A.F. Johnson, M.W. R. Brown, P.D. Coates. Reactive processing of polymers – ISmithers Rapra Publishing, 1994. – 136 p.
20. [www.henleycraft.co.uk/VacGRP/Vac %20GRP.htm](http://www.henleycraft.co.uk/VacGRP/Vac%20GRP.htm).
21. Sorencen E. Sorencen's guide to powerboats: how to evaluate design, construction, and performance/International Marine/Ragged Mountain Press, 2007. – 497 p.
22. Patent № 7,597,760 (US), Int. Cl.3 B05B 15/02. Apparatus and method for making preforms in mold/Scott A. Lammers, Johathan W. Schacher, Christian S. Anderson, Steve H. Olson; Brunswick Corp. – Appl.
23. Patent № 2007/0278718 A1 (US), Int. Cl. B29C 41/00. Resin infusion between double flexible tooling system/Okenwa O.I. Okoli, Alvin Paul Lim – Appl. No.: 11/789,805; Filed: Apr. 25, 2007; Pub. Date: Dec. 6, 2007.
24. Scott Bader. Crystic Composites Handbook. – Scott Bader Company Ltd, Second edition, 2005.
25. Patent № 5,096,651 (US), Int. Cl.5. B29C 43/20. Method for manufacturing an object of synthetic resin/Adolf le Comte. – Appl. No.: 527,450; Filed: May 23, 1990; Date of Patent: Mar. 17, 1992.
26. Patent № 2007/040797 A2 (WO), Int. Cl. B29C 70/00. Vacuum assisted resin transfer molding techniques with flow flooding chamber/N. Vernin & ors; University of Delaware – Filing Date: 01.08.2006; Publ. Date: 12.04.2007.
27. Patent № 2010/0072677 A1 (US), Int. Cl. B29C 45/16. Apparatus and method for perform relaxation and flow control in liquid composite molding processes/Justin B. Alms, James L. Glancey, Suresh G. Advani; University of Delaware – Appl. No.: 12/541,004; Filed: Aug. 13, 2009; Date of Patent: Mar. 25, 2010.
28. Patent № 2010/059514 A2 (WO), Int. Cl. B32B 5/22. Constant pressure infusion process for resin transfer molding/M. D. Smith, V. Doyle; Cytec Technology Corp. – Filing Date: 13.11.2009; Publ. Date: 27.05.2010.
29. Sara Black. Fighting ships augment combat readiness with advanced composites//High Performance Composites. – September, 2003. – P.30–33.
30. Hammami, B.R. Gebart. Analysis of the Vacuum Infusion Molding Process., Polymer Composites, Vol. 21, No.1, Pages 28–40 (February 2000).
31. Morgan P. Carbon fibers and their composites / Morgan P. – Boca Raton: Taylor & Francis, 2005. – 1153 p. (Materials engineering; vol.27).
32. Patent № 6,964,562 B2 (US), Int. Cl.7 B29C 70/48. High-performance infusion system for VARTM fabrication/Michael Louderback, Daniel Brennan, Raymond Cabales; V System Composites, Inc. – Appl. No.: 10/420,398; Filed: Apr. 22, 2003; Date of Patent: Nov. 15, 2005.
33. Barry Berenger. Liquid Composite Molding Achieves Aerospace Quality//High Performance Composites. – November, 2003. – P.44–49.
34. Srinava V., Suresh Chand Jangir & ors, «Non-destructive evaluation of co-cured wing for SARAS», Proceeding of the International Conference on Aerospace and Technology, Bangalore, India (2008).
35. Adem Onur Miskbay. Process characterization of composite structures manufactured using resin impregnation techniques: Thesis for the degree of Master of Science in Mechanical Engineering. – Middle East Technical University, 2008. – 123 p.

## Особенности технологических процессов в овцеводстве Туркменистана

Худайбердыев Негматулла, кандидат технических наук, доцент  
Туркменский сельскохозяйственный университет имени С.А. Ниязова (г. Ашхабад)

*С целью создания эффективности экономики, способной обеспечить потребности граждан в продуктах питания, в статье приведены сведения по дальнейшему росту отгонного овцеводства Туркменистана.*

*Рациональное использование пастбищ во всех зонах Туркменистана позволяет получить дешевые продукты животноводства и сохранить долготлетнюю продуктивность пустынных пастбищ, а также предотвратить их опустынивание. По мнению автора, на содержание животных и их продуктивность в пустынной зоне страны наибольшее влияние оказывают корма. В связи с этим рассмотрены способы рационального использования пастбищ, создание страховых запасов кормов с орошаемых земель на зимние дни, что позволит сохранить число животных и рост поголовья овец. Приведены результаты исследований по созданию прочной кормовой базы для овцеводства в целом. Даны обоснованные рекомендации по применению техники на заготовке кормов, подготовке их к скармливанию, а также по эффективному использованию машин в овцеводстве и кормопроизводстве.*

## Features of technological processes in sheep breeding Turkmenistan

Hudayberdiyev Negmatulla (Turkmenistan)

*With the purpose of creation of efficiency of the economy, capable to provide need of citizens for food stuffs, for the report data on the further growth sent on errands sheep breeding of Turkmenistan are resulted.*

*Rational use of pastures in all zones of Turkmenistan allows to receive cheap livestock products and to keep long efficiency of deserted pastures, and also to prevent their desertification. In opinion of the author, on the maintenance of animals and their efficiency in a deserted zone of the country the greatest influence is rendered with forages. In this connection ways of rational use of pastures, creation of insurance stocks of forages from the irrigated grounds for winter days that will allow to keep number of animals and growth of a livestock of sheeps are considered. Results of researches on creation of a strong forage reserve for sheep breeding as a whole are resulted. The proved recommendations on application of technics on preparation of forages, preparation them are given to to feed, and also on an effective utilization of machines in sheep breeding and fodde producing.*

Туркменистан стоит на пороге больших перемен. Их главная цель - создание эффективной экономики, способной обеспечивать потребности граждан, достойно интегрироваться в мировые рынки. В этой связи стало показательным состоявшееся в начале апреля 2013 года расширенное заседание Кабинета Министров, где была озвучена детальная программа экономического развития страны на 2013 год и предстоящую перспективу. При этом в числе приоритетных отраслей Президент страны Гурбангулы Берdimухамедов особо отметил агропромышленный комплекс.

Для развития животноводства есть необходимые условия, в том числе и огромные естественные пастбища, занимающие большую часть территории страны. Продуктивность пастбищ Каракумов высока и при грамотном использовании создает надежную основу для отгонного овцеводства. В этой сфере предстоит решить немало проблем с тем, чтобы обеспечить обводнение пастбищ, грамотно эксплуатировать водоисточники, строить новые колодцы, не допускать перевыпаса, особенно вокруг колодцев и населенных пунктов.

Планируется увеличение поголовья животных в традиционно земледельческих оазисах. Ведь, к примеру, та

же люцерна не только уникальный фитомелиорант, способный поднять плодородие земель, но и ценнейшая кормовая культура. Таким образом, с внедрением научно-обоснованного севооборота кормовая база животноводства возрастет многократно.

Для развития пастбищного животноводства пустыня располагает тремя важными предпосылками: в целом (кроме отдельных лет) достаточно благоприятными для животноводства климатическими условиям, необходимыми водными и кормовыми ресурсами.

Важное отличие пустыни от других природных зон, кроме тундры и гор, состоит в том, что овцы и верблюды с момента рождения постоянно находятся на пастбище. О водоснабжении заботится человек, извлекая ее из водоносных горизонтов земли.

Иначе обстоит дело с двумя другими природными предпосылками пастбищного животноводства — с климатическими и кормовыми условиями. Они еще находятся во власти природных процессов, и вмешательство человека имеет ограниченные формы и масштабы.

Корма оказывают наибольшее влияние на содержание животных и их продуктивность. Полноценное кормление, особенно овец, позволяет получать большое количество

Таблица 1. Потребность в кормах на одну взрослую овцу

Суточная потребность	Весна		Лето	Осень	Зима	Всего на год
	первая половина	вторая половина				
<b>Для производственного поголовья</b>						
В кормовых единицах	1,11	1,35	1,00	0,80	1,00	377
В воздушно-сухой кормовой массе (кг)	2,30	1,90	2,20	2,20	2,60	800
<b>Для племенного поголовья</b>						
В кормовых единицах	1,25	1,55	1,10	0,90	1,15	425
В воздушно-сухой кормовой массе (кг)	2,70	2,10	2,50	2,50	3,00	900

продукции. Для получения шерсти и других продуктов не требуется крупных капитальных затрат, какие неизбежны, например, для добычи и переработки нефти, газа и других природных ресурсов. Овцы и верблюды способствуют рациональному использованию территории, превращая труднодоступные растительности пустынь в продукты. При умелом использовании пастбищ пустынь для выпаса скота, не нарушается экологическое состояние огромной территории пустынь, как это наблюдается при нефтегазоразведки.

По данным, приведенными в табл. № 1, можно рассчитать годовую сезонную потребность в питательных веществах (от состояния овец и направленности фермы) и оценить качество кормления овец на пастбищах разных типов.

Урожайность пастбищных массивов меняется в различные годы в зависимости от погодных условий: в годы с обильными дождями например, урожайность может возрасти до 50 %, в неурожайные – запас кормов снижаться на 20, в очень неурожайные – на 40 %. По сезонам года изменяется не только величина урожая, но также питательная ценность пастбищных кормов. Холодная весна задерживает развитие растений, оставляя скот без корма, сухая – вызывает недород семян у растений. Восстанавливаются они не полностью. Зимы в пустыне мягкие, но 2–3 раза в 10 лет бывают суровыми: с сильными морозами, или с обильным снегопадом и морозом, что делает невозможным выпас скота (1969–1971, 2006–2008 годы тому доказательство).

Бескормица из-за снежного покрова и морозы в сочетании с ветром, могут причинить огромный ущерб даже в самый короткий этот период. В такие дни даже перегон овец из основных районов выпаса не дает положительного эффекта, так как это может привести к еще большему падежу в пути и вызвать хозяйственные трудности в подвозе кормов для подкормки. Поэтому для сохранения животных и роста поголовья овец необходимо создавать страховые запасы кормов и продолжать строительство кошар и укрытий. В этом случае экономические потери хозяйств значительно сокращаются. Уже имеются много положительных примеров. Затраты быстро окупаются за

счет прироста поголовья при соблюдении основных условий.

Одним из главных резервов укрепления кормовой базы пустынного животноводства является разработка и внедрение научно обоснованных методов улучшения пастбищ в соответствии с почвенно-климатическими и пастбищно-кормовыми особенностями аридной зоны Туркменистана. С этой целью мы рекомендуем использовать следующие данные:

- допустимый радиус нормального стравливания пастбищ – 1,0... 1,5 км;
- урожайность пастбищ 1,0... 1,5 ц/га;
- время нахождения овец на участке проведения производственной операции 1...2 сутки;
- оптимальное количество овец, концентрируемых на одном участке, должно быть 5,4... 10 тыс. голов;
- совмещать производственные процессы при их проведении (стрижка и дезобработка, бонитировка и доение овец и др.).

С целью рационального использования пастбищ во всех зонах страны (Туркменистана), предлагаем несколько научно-обоснованных рекомендаций:

1. Рациональное использование пастбищ во всех зонах Туркменистана позволит получать дешевые продукты животноводства и сохранить долготеленную продуктивность пустынных пастбищ, предотвратить их опустынивание. С этой целью необходимо строго соблюдать пастбищеоборот в каждом хозяйстве на основе участково-загонного выпаса животных; поднять роль и ответственность чабанов по правильному использованию пастбищ для выпаса.

2. Механизация заготовки грубых кормов на пастбищах (где это возможно) предусматривает неглубокое рыхление или вспашку поверхности почвы, боронование и посев семян дикорастущих кормовых растений, кустарников и полукустарников с помощью саксаульно – травяной сеялки в осенне-зимний период. Систему машин необходимо подбирать без помех для мероприятий в растениеводстве.

Для заготовки грубых кормов необходимо использовать площади, находящиеся в непосредственной близости

к орошаемой зоне ирригационной системе Каракумской реки, водохранилищ, а также строящегося Туркменского озера с его подводящими коллекторами. В Туркменистане площадь таких угодий составляет более одного миллиона гектар.

3. Устойчивая кормовая база пустынного животноводства может быть создана за счет производства сена, концентратов и других видов кормов на орошаемых землях и других угодий. При ежегодном росте поголовья овец на 1,5–2,0 млн. голов, для производства страховых кормов, получаемых на орошаемых землях, потребуется всего 10–15 % площади от всего посевного клина страны.

В общем виде упрощенная математическая модель обеспечения животноводческой фермы кормами в виде подкормки представляется выражением:

$$Q_k = 365q_k \cdot n_{жс} = \sum \Delta Q_p \cdot F_n = Q_p$$

где:  $Q_k$  – потребное количество кормов на год;  
 $q_k$  – количество кормов на одно животное в сутки;  
 $n_{жс}$  – среднее круглогодовое число животных в отаре;  
 $\Delta Q_p$  – сбор растительной массы, т/га, ц/га;  
 $F_n$  – площадь полей, га;  
 $i_p$  – возможное число оборотов урожая в течение года;  
 $Q_p$  – общее количество кормов, необходимых для подкормки за год, т.

4. Новые условия сельскохозяйственного производства потребовали перестройки организации и технологии механизированных процессов в животноводстве и кормов производстве на новой материально-технической основе. Правильное комплектование технологической линии машинами позволит повысить качество производимых кормов на орошаемых землях и снизить производственные затраты. Необходимо подбирать их так, чтобы можно было объединять несколько операций: скашивание – плющение, образование валков и подбор из прокосов. Основными показателями оптимизации и выбора средств механизации для кормопроизводства должны быть: производительность агрегатов, виды и качество кормов, трудовые затраты на их производство.

Проведенные нами хозяйственные проверки (1989–2004 годы) из имеющихся машин в Туркменистане на заготовке кормов (сена, силоса и кое-где сенажа) лучшие показатели были у самоходных кормоуборочных машин Е-281, Е-301; для скашивания силосной массы – прицепная машина КС-1,8 «Вихрь», а также Е-067.

5. В комплекс мероприятий, связанных с заготовкой кормов, одной из важных проблем является сохранение ценных питательных веществ и каротина в период заготовки и последующего хранения кормов. Например, результаты опытов показывают, что наибольшие затраты

труда и минимальный сбор корма отмечаются при уборке рассыпного сена. Причина – отсутствие совершенных машин для копнения и погрузки сена. Сено в тюках имеет преимущество при перевозке, хранении, но стоимость заготовки прессованного сена очень велика в связи со сложностью конструкции пресс-подборщика.

6. Анализ данных по применению машин на заготовке сенажа можно констатировать высокую надежность самоходных косилок – измельчителей (типа Е-301). По сравнению этих машин с прицепными, у самоходных машин коэффициент надежности технологического процесса на 4,2–4,8 % выше. Это объясняется большей шириной захвата жатки у самоходных машин, а также лучшей маневренностью и более высоким коэффициентом использования рабочего времени смены.

7. При пастбищном содержании животных на 25–30 % снижается себестоимость используемых кормов, повышается качество продукции. Однако, пастбищное содержание овец имеет свои недостатки. Это связано с более низким выходом кормов с 1 га, затаптыванием их в процессе пастыбы, изменением питательной ценности и качества кормов в зависимости от фазы развития растений. Практика многих хозяйств показывает, что в зависимости от конкретных условий производства, эффективность того или иного способа использования орошаемых земель (для заготовки страховых кормов) различна.

8. В процессе подготовки кормов к скармливанию в зимнее время основной и энергоемкой операцией является измельчение. После многочисленных экспериментов, проведенных на кафедре и в хозяйственных условиях мы считаем, что по эффективности и экономичности для измельчения кормов являются молотковые кормодробилки с плоскими молотками. Особенно надо отметить, что на таких измельчителях можно готовить корма любой влажности. Развитие пустынного овцеводства на основе достижений научно-технического прогресса обеспечивает высокую эффективность при условии дифференцированного, обоснованного решения задач по увеличению производства кормов с учетом физиологических особенностей животных, наличия технических средств для уборки и транспортировки кормов. Только комплексный подход, учитывающий технологические, технические и экономические особенности развития научно-технического прогресса, обеспечит дальнейшую интенсификацию сельскохозяйственного производства.

9. В перспективе для механизации технологических процессов в отгонном овцеводстве наиболее эффективными средствами являются передвижные агрегаты. Такой принцип создания и применения агрегатов позволяет быстро решать технические проблемы, повысить производительность труда в 1,7...2 раза.

#### Литература:

1. Векилова Б. Основные направления дальнейшего развития отгонного животноводства Туркменистана (на туркм. языке). – А.: Туркменистан., 2001., 260 с.

2. Исаков К.И. Пастбища: методы их использования. — Алма-Ата.: КазНИИЭО АПК, 1988., 56 с.
3. Питательность и биологическая полноценность пастбищных кормов Северо-Западного Туркменистана (под ред. акад. АНТ Нечаевой Н.Т) — А.: Ылым, 1984., 300 с.
4. Худайбердыев Н.Р., Мирзоянц Ю.А. Справочник механизатора-овцевода (на туркм.языке). — А.: РПО Туркменистан, 1992., 280 с.
5. Худайбердыев Н.Р. Механизация кормопроизводства и хранение кормов на овцеводческих фермах и комплексах Туркменистана. — А.: Ылым, 1991., 150 с.
6. Худайбердыев Н.Р., Расулова Р. Механизация технологических процессов в животноводстве (на туркм. языке). — А.: ТДКР., 2009., 255 с.

## Анализ математических моделей речевого тракта

Черанёв Максим Александрович, студент;

Перов Борис Геннадиевич, студент

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

### Введение

Речевой звук — звук, образуемый произносительным аппаратом человека с целью языкового общения. К произносительному аппарату относятся: глотка, ротовая полость с языком, лёгкие, носовая полость, губы, зубы.

В целом звуки речи подразделяются на шумы и тоны: тоны в речи возникают в результате колебания голосовых складок; шумы образуются в результате непериодических колебаний выходящей из лёгких струи воздуха. Тонами являются обычно гласные; почти же все глухие согласные относятся к шумам. Звонкие согласные образуются путём слияния шумов и тонов. Шумы и тоны исследуются по их высоте, тембру, силе и многим другим характеристикам. [1]

В данной статье рассматриваются существующие математические модели речевых трактов, их преимущества, недостатки и ограничения. Исходя из результатов анализа, будут обоснованы причины для расчета и разработки новой математической модели речевого аппарата человека. Будут подчеркнуты недостатки существующих моделей.

### Существующие модели речевого тракта

На данный момент наиболее популярной является одна модель речевого тракта. Модель базируется на том, что одним из источников образования звуков является голосовой источник, который возникает при колебании голосовых связок. Этот источник участвует в образовании нескольких групп звуков, и по степени участия голосового источника звуки делятся на гласные и согласные. Рассмотрим подробнее данную модель сегмента речевого сигнала, применительно к задачам анализа синтеза речи. Физическая модель образования речи показана на рис. 1.

Входной сигнал  $x(t)$  поступает от голосовых связок (природный генератор колебаний), проходит через  $N$ -е количество параллельно соединенных резонаторов (характеризующих форму речевого тракта), таким образом, на выходе формируется определенный произносимый вокализованный речевой сегмент  $y(t)$ .

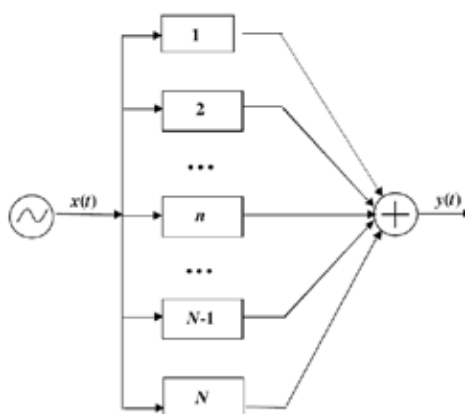


Рис. 1. Модель речевого сигнала для вокализованного сегмента речи



Известно, что гласные звуки представляют собой квазипериодические колебания, вызванные действия голосовых связок [2], таким образом, целесообразно использовать гармонические математические модели, адекватно описывающие данные сегменты речи. [3]

Экспериментальным путем было установлено, что для вокализованного сегмента речи, амплитуды на частотах основного тона и обертонов речевого сигнала существенно влияют на «фонетический смысл» гласных звуков. [3]

В данной модели сигнал источник (голосовых связок) представлен в виде сложного периодического колебания, состоящего из набора гармоник с произвольными амплитудами и начальными фазами которое проходит через речевой тракт, представляющий собой несколько параллельно соединенных резонаторов.

Методом разделения переменных можно получить дифференциальные уравнения второго порядка, характеризующие временную зависимость звукового поля при формировании вокализованного речевого сигнала. [4]

Рассмотрим полученную математическую модель вокализованного сегмента речи  $y(t)$ , являющуюся решением дифференциального уравнения, которое описывает прохождение периодических колебаний от источника в виде голосовых связок (т.е. полигармонического сигнала или нескольких гармоник ряда Фурье) через систему параллельных резонаторов с затуханием:

$$\sum_{n=1}^N \frac{1}{C_n} (y_n'' + 2\alpha_n y_n' + \Omega_n^2 \cdot y_n) = \sum_{l=1}^L b_l \cdot \sin(l \cdot \omega_0 \cdot t + \varphi_l), \quad (1)$$

где  $\Omega_n = 2\pi F_n$ ;  $F_n$  –  $n$ -я формантная частота;  $\omega_0 = 2\pi f_0$ ;  $f_0$  – частота основного тона,  $a_n$  – коэффициент затухания  $n$ -го резонатора;  $b_l$  и  $\varphi_l$  – соответственно амплитудные коэффициенты и начальные фазы; характеризующие сигнал генератора, т.е. сигнал, формируемый голосовыми связками;  $N$  – количество резонаторов;  $L$  – количество гармоник сигнала генератора;  $C_n$  – коэффициенты, характеризующие распределение воздушного потока (от сигнала источника) между резонаторами.

Для уравнения (1), применив принцип суперпозиции, получим следующие дифференциальные уравнения:

$$\frac{1}{C_n} (y_n'' + 2\alpha_n \cdot y_n' + \Omega_n^2 \cdot y_n) = b_l \cdot \sin(l \cdot \omega_0 \cdot t + \varphi_l), \quad n = \overline{1, N}; \quad l = \overline{1, L}. \quad (2)$$

Решение данных дифференциальных уравнений  $y_{n,l}(t)$  дает математическую модель речевого сигнала  $y(t)$  для вокализованных сегментов речи:

$$y_n(t) = \sum_{l=1}^L y_{n,l}(t); \quad y(t) = \sum_{n=1}^N y_n(t). \quad (3)$$

Решение уравнения (1) в общем виде:

$$y(t) = \sum_{n=1}^N \sum_{l=1}^L y_{n,l}(t). \quad (4)$$

Следует отметить, что общие решения неоднородных дифференциальных уравнений (2) представляют в виде суммы общих решений однородных дифференциальных уравнений и частных решений неоднородных дифференциальных уравнений:

$$y_{n,l}(t) \equiv y_{n,l}^{o.h.}(t) = y_{n,l}^{o.o.}(t) + y_{n,l}^{v.h.}(t). \quad (5)$$

Неопределенные коэффициенты можно получить для задачи Коши.

Дифференциальное уравнение при учете частотной модуляции имеет вид:

$$\sum_{n=1}^N \frac{1}{C_n} (y_n'' + 2\alpha_n \cdot y_n' + \Omega_n^2 \cdot y_n) = \sum_{l=1}^L b_l \cdot \sin(l \cdot \omega_0 \cdot t + lm \sin(\Omega_0^M t + \psi_0) + \varphi_l). \quad (6)$$

Для обеспечения условия соблюдения максимума мгновенного значения частоты основного тона, в середине временного интервала (длительность вокализованного сегмента) предполагается  $\psi_0 = \pi/2$ , в результате дифференциальное уравнение приобретает вид:

$$\sum_{n=1}^N \frac{1}{C_n} (y_n'' + 2\alpha_n \cdot y_n' + \Omega_n^2 \cdot y_n) = \sum_{l=1}^L b_l \cdot \sin(l \cdot \omega_0 \cdot t - lm \cos(\Omega_0^M t) + \varphi_l). \quad (7)$$

Для решения дифференциального уравнения (7) с целью получения математической модели  $y(t)$  представим  $l$ -е слагаемое в правой части выражения (7), используя разложение в ряд по функциям Бесселя. [5]

### Анализ данной математической модели речевого тракта

Данная модель в полной мере описывает процесс образований вокализованного сигнала, учитывая наличие резонаторов в речевом аппарате человека. Позволяет построить сигналы, подобные реальным речевым сигналам. Амплитудно-частотный спектр, полученный по результатам моделирования также подобен спектру реального сигнала.

К сожалению, данная математическая модель не учитывает функции многих резонаторов, находящихся ниже голосовых связок, которые имеют большое влияние на амплитуду основного тона и гармоник.

Данная модель, к сожалению, не пригодна и для описания тувинского горлового пения, но на основе этой модели можно разработать модель, которая в полной мере будет способна описать процесс образования вокала при использовании резонаторов, находящихся ниже голосовых связок.

Не учтены весьма важные характеристики вокала и певческие характеристики, что делает данную модель не актуальной при моделировании певческого голоса.

Для описания всех процессов, возникающих при образовании голоса, необходимо учитывать акустические, физиологические, психологические закономерности образования и восприятия певческого голоса, описанные в работах профессора Владимира Петровича Морозова, разработавшего резонансную теорию пения. В отличие от существовавших ранее теорий, касающихся роли голосовых складок и дыхания, данная теория изучает функции резонаторов, как наименее изученную часть голосового аппарата во взаимодействии с работой гортани и дыхания. Данная теория имеет практическое назначение, как с научной точки зрения, так и с точки зрения музыкальной акустики и вокальной педагогики.

Новизна термина «резонансное пение» требует его пояснения. Строго говоря, «нерезонансного» пения, также как и обычной «нерезонансной» речи не бывает, так как во всех случаях резонаторы голосового аппарата участвуют в формировании речевых и певческих звуков. Вместе с тем, роль резонаторов в голосовом аппарате как усилителей голоса и преобразователей тембра может быть различной: от минимальной до весьма значительной, в зависимости, во-первых, от природных особенностей строения резонаторов, а во вторых, от особенностей их использования, точнее — от характера и степени активизации резонансной системы поющим, что достигается особенностями настройки резонаторов, то есть от техники голосообразования, включая и правильную организацию певческого диафрагматического дыхания.

Резонансная теория пения является развитием этих, общепризнанных мировой наукой идей о резонансных механизмах речеобразования, но уже применительно к специфике работы певческого голосового аппарата, служащего для формирования не обычных речевых звуков, но специфической певческой вокальной речи, то есть эмоционально-эстетических особенностей певческого голоса, особого певческого тембра, вибрато и др. Это связано с особенностями работы голосового аппарата певца, прежде всего — резонаторов, но не только ротоглоточного, но и грудного (трахея, бронхи), что и отражается в формантной структуре спектра голоса. [6]

### Выводы

В результате анализа актуальных на данный момент математических моделей голосовых аппаратов сделал вывод, что данные математические модели не в полной мере способны описать образование певческого голоса и некоторых его специфических подвидов, поскольку нынешние модели имеют достаточно много ограничений и не учитывают функции многих резонаторов.

Для более качественного описания процесса голосообразования и образования певческого голоса необходимо учитывать больше критериев, описанных в теории резонансного пения.

Данный анализ проведен с целью дальнейшей разработки математической модели, способной в полной мере описать процесс образования певческого вокала и для разработки математической модели описывающей процесс образования более специфических видов вокала, как тувинское горловое пение, фальцет, и им подобные. Данные виды вокала невозможно описать без учета резонанса дыхательных путей, легких и мышц, которые находятся в области живота и грудной клетки.

### Литература:

1. Речевой звук — Википедия. [http://ru.wikipedia.org/wiki/ %D0 %A0 %D0 %B5 %D1 %87 %D0 %B5 %D0 %B2 %D0 %BE %D0 %B9\\_ %D0 %B7 %D0 %B2 %D1 %83 %D0 %BA](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D1%87%D0%B5%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D0%B7%D0%B2%D1%83%D0%BA)
2. Золотарев В.В., Овечкин Г.В. Помехоустойчивое кодирование. Методы и алгоритмы: справочник / под ред. чл.-кор. РАН Ю.Б. Зубарева. — М.: Горячая линия — Телеком, 2004. — 126 с.
3. Голубинский А.Н, Гущина А.А. Анализ и синтез гласных звуков на основе математической модели в виде импульса колебания с амплитудно-частотной модуляцией со сложным несущим сигналом // наука и современность: сборник материалов Международной научно-практической конференции. — Новосибирск, 2012. — С. 23–28.

4. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: учеб. Для вузов по спец. «Радиотехника». — М: Высш. шк. 1983. — 536.
5. Голубинский А.Н, Гущина А.А. Математическая модель вокализованных сегментов речевого сигнала, основанная на модели речевого тракта
6. Резонансная теория пения — Википедия. [http://ru.wikipedia.org/wiki/ %D0 %A0 %D0 %B5 %D0 %B7 %D0 %BE %D0 %BD %D0 %B0 %D0 %BD %D1 %81 %D0 %BD %D0 %B0 %D1 %8F\\_ %D1 %82 %D0 %B5 %D0 %BE %D1 %80 %D0 %B8 %D1 %8F\\_ %D0 %BF %D0 %B5 %D0 %BD %D0 %B8 %D1 %8F](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D0%B7%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%82%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D0%BF%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F)

## Проблемы организации распределенной обработки алгоритмов функций логики централизации и методы их решения

Шатковский Олег Юрьевич, кандидат технических наук, технический директор;  
Родяков Алексей Юрьевич, руководитель отдела технологического программного обеспечения;  
Гоман Александр Александрович, руководитель отдела СПО и САПР  
ЗАО «Фортатек АТ» (г. Москва)

### Введение

В настоящее время сфера применения многопроцессорных систем (МС) непрерывно расширяется, охватывая все новые области в различных отраслях науки, бизнеса и производства. В данном случае сфера железнодорожного транспорта не является исключением.

На железнодорожном транспорте внедрение многопроцессорных систем во многом обусловлено необходимостью создания единой высоко производительной программно — аппаратной платформы для построения информационно-управляющих систем с возможностью централизации большого количества объектов без ограничений накладываемых географическим распределением этих объектов. Как и во множестве других концептуальных вопросов имеются сторонники и противники создания многопроцессорных систем с распределенной обработкой алгоритмов технологического программного обеспечения, однако как показывает опыт такие системы успешно зарекомендовали себя на железных дорогах всего мира.

В данной статье речь идет о проблемах организации распределенной обработки алгоритмов функций логики централизации и методах их решения.

### Синхронизация состояний объектов

В многопроцессорных системах одной из первоочередных задач является синхронизация состояний объектов логики. Управляющие компьютеры централизации (УКЦ) должны максимально быстро сообщать участникам распределенного вычислительного процесса об изменении состояния объекта логики.

Решение этой проблемы достигается путем немедленной передачи этих состояний при изменении состояния объекта логики.

### Потеря сообщений синхронизации

В процессе работы многопроцессорной системы есть вероятность потери сообщений (обрыв канала, перепутывание разъемов и т.п.).

Решение этой проблемы достигается путем периодической передачи сообщений синхронизации для каждого объекта логики, участвующего в распределенном вычислительном процессе. Если в заданный период времени сообщение синхронизации не приходит на УКЦ, то объект переходит в безопасное состояние.

### Посылка команд оператора

Оператор с автоматизированного рабочего места (АРМ) посылает команды, которые должны быть восприняты одновременно всеми УКЦ.

Решение этой проблемы достигается путем широковещательной посылки команды на все УКЦ. При этом аргумент команды содержит номер объекта управления, для которого эта команда отправлена. В распределенной системе команда воспринимается только тем узлом, в котором работает указанный объект управления. Другие УКЦ принятую команду отвергают.

### Общестанционные объекты логики

Логика централизации имеет общестанционные объекты, которые должны продолжать свою работу даже в случае выхода из строя одного или нескольких УКЦ.

Решение этой проблемы достигается путем создания таких объектов в каждом УКЦ. Синхронизация таких объектов осуществляется не с помощью сообщений синхронизации, а по входным воздействиям (условиям перехода), т.е. эти объекты имеют одинаковый список входных привязок объектов, за которыми они наблюдают. При выполнении какого-либо условия, все общестанционные объекты одновременно меняют свое состояние. Следовательно, входные воздействия для таких объектов не должны зависеть от каналов подсистемы ввода/вывода конкретного УКЦ, а только от состояний логических объектов, которые, передаются на все узлы.

### Посылка ответственных команд оператора

Оператор с АРМа посылает ответственные команды, которые ожидают подтверждения. В период ожидания ни один УКЦ не должен воспринимать никакие команды,

кроме двух: подтверждение и отмена ответственной команды.

Решение этой проблемы достигается путем создания специальных логических объектов («зона управления») на каждом УКЦ, которые следят за выполнением команд оператора. В случае прихода ответственной команды на УКЦ определяется, что команда пришла объекту, который есть на узле, затем запускается на объекте «зона управления» таймер ожидания подтверждения и блокируется прием команд. Другие вычислительные узлы также принимают эту команду, распознают, что она ответственная, и переводят объект «зона управления» в состояние блокировки приема команд с запуском таймера ожидания. После подтверждения или отмены ответственной команды объект «зона управления» соответственно выполняет или отвергает команду на том узле, где ожидалось подтверждение и разблокирует прием команд. На других УКЦ прием команд также разблокируется. Таким образом, разблокировка приема команд может выполняться или по истечении таймера или по приему команды подтверждения или отмены ответственной команды.

**Восстановление номера текущего оператора**

В каждом УКЦ многопроцессорной системы запоминается номер оператора, который работает в данный момент с системой в той зоне управления, за которую он отвечает. При выходе из строя одного или нескольких УКЦ, а затем их восстановлении необходимо также автоматически восстанавливать номер текущего оператора.

Решение этой проблемы достигается путем передачи номера оператора от работающих УКЦ всем узлам, которые в данный момент включились в работу. Новый узел при старте посылает запрос на работающие узлы о номере оператора. Каждый работающий узел присылает ему

ответ. Номер оператора устанавливается по последнему присланному ответу.

**Одновременное выполнение условий логики**

В распределенной системе существует вероятность того, что могут одновременно выполняться несколько логических условий, которые влияют на работу определенного объекта логики. В этом случае объект логики находится в состоянии неопределенности, какому условию следовать.

Решение этой проблемы достигается путем введения приоритетов для логических условий, которые задаются проектировщиком в явном виде. В случае одновременного выполнения нескольких логических условий, выбирается то условие, которое имеет более высокий приоритет.

Для логических условий на множественных входах объекта кроме логических функций И/ИЛИ введена специальная логическая функция ОДИН, которая принимает истинное значение, если выполняется логическое условие только на одном аргументе. Это позволяет отсечь ситуации, при которых несколько логических условий на множественном входе имеют истинное значение, например, одновременное задание двух и более маршрутов на одном участке пути.

**Одновременный запуск нескольких алгоритмов**

Существует вероятность того, что два или несколько объектов (исполнители) могут одновременно начать выполнение своего алгоритма на основании состояния другого объекта (инициатор).

Для исключения одновременного выполнения алгоритмов двух или нескольких объектов вводится понятие «ключа логического объекта» (аналог маркера). Этот ключ посылается только тому объекту-исполнителю, который первым послал запрос (см. рис. 1). Значение ключа равно номеру объекта-исполнителя. Объект-исполнитель, получив ключ, проверяет его значение и состояние

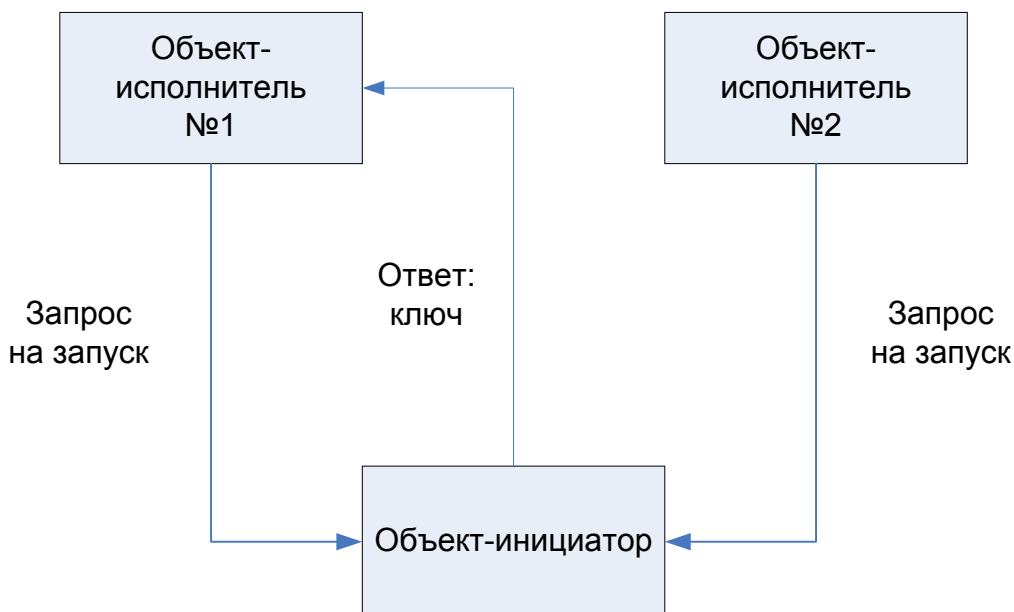


Рис. 1. Схема исключения одновременного запуска двух и более объектов

объекта-инициатора, и затем после успешной проверки запускает свой алгоритм работы. Другой объект-исполнитель не получает ключ и после определенного периода ожидания аннулирует свой запрос.

#### **Заключение**

В заключении следует отметить, что описанные, в данной статье, методы решения проблем организации распределенной обработки алгоритмов функций логики

централизации, с успехом применены при создании микропроцессорной системы электрической централизации МПЦ-МЗ-Ф разработки компании «Фортатек АТ». Безусловно, представленные положения могут быть использованы при создании автоматизированных многопроцессорных систем применяемых не только на железнодорожном транспорте, но и в ряде других областей промышленности.



# ИНФОРМАТИКА

## Probability Generating Functions for Markov Matrix

Аль Егоби Хуссейн Али Абдулла  
University-Thi-Qar \\ Iraq

Hussain Ali Abbdllah

*A general matrix representation is given for the multivariate transition probability generating functions of a Markov Process with a finite number of states. It is indicated how numerous derived probability distributions can be obtained by simple substitutions. Finally an application is made to the Poisson*

*Общее представление матрицы дается для многомерного вероятностность перехода производящих функций марковского процесса с конечным числом состояний. Она обозначена как многочисленные полученных распределений вероятности может быть получено простой замены. Наконец подано заявление к распределению Пуассона.*

### 1 Introduction

Let  $N(t) = (N_1(t), \dots, N_m(t))$  denote a Markov Renewal Process with a finite number  $m$  of states and with a matrix of transition probability distributions  $Q = Q_{ij}$  [2,3]. The  $Q_{ij}(t)$  are non-decreasing left-continuous functions satisfying

$$Q_{ij}(0) = 0 \text{ for } i, j = 1, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^m Q_{ij}(\infty) = \mathbf{1} \text{ for } i = 1, \dots, m \tag{1}$$

The random variable  $N_i(t)$  is equal to the number of visits to state  $i$  during the time interval  $[0, t]$ . The stochastic process  $Z_t$  is referred to as the (semi-Markov process) associated with the Markov renewal process.  $Z_t = i$  when state  $i$  is being visited at time  $t$ . We assume that

$$P\{Z_0 = i\} = P_i^0 \text{ with } \sum_{i=1}^m P_i^0 = \mathbf{1} \tag{2}$$

Let  $K = (k_1, \dots, k_m)$  denote an  $m$ -tuple of non-negative integers and  $T(k)$  as follows:

$$T(k) = \inf \{ t : N_{(1)}(t) = k_1, \dots, N_m(t) = k_m \} \tag{3}$$

i.e.,  $T(k)$  is the random time at which the Markov renewal process enters the state  $k = (k_1, \dots, k_m)$ .

Let  $Z(k) = Z_{T(k)}$  and  $T^+(k)$  denote the time instant at which the (semi-Markov process) leaves the state  $Z(k)$ . We define the following transition probabilities for the Markov renewal process.

$$C_j(k, t) = P \{ T(k) \leq t \text{ and } Z(k) = j \} \tag{4}$$

And

$$C_j(k, t) = P \{ T(k) \leq t < T^+(k) \text{ and } Z_t = j \} \tag{5}$$

The probabilities defined in (4) and (5) satisfy the following relations.

$$\left. \begin{aligned} C_j(e_i, t) &= \delta_{ij} P_j^0 I(t) \\ C_j(k, t) &= \sum_{r=1}^m C_r(k - e_j, t) Q_{rj}(t) \quad \text{for } k \neq e \\ C_r(k - e_j, t) &= 0 \text{ if } k_i = 0 \\ D_j(k, t) &= (1 - H_j(t)) C_j(k, t) \end{aligned} \right\} \tag{6}$$

Where

$$H_j(t) = \sum_{r=1}^m Q_{jr}(t)$$

and  $I(t)$  is the distribution degenerate at zero The  $m$ -tuple  $e_i$  has all components but the  $i$ th equal to zero and the  $i$ th equal to one. We introduce the following notations for the Laplace transforms.

$$\left. \begin{aligned} C_j^*(k, s) &= \int_0^\infty e^{-st} dc_j(k, t), & D_j^*(k, s) &= \int_0^\infty e^{-st} dD_j(k, t) \\ Q_{ij}^*(s) &= \int_0^\infty e^{-st} dQ_{ij}(t), & H_j^*(s) &= \int_0^\infty e^{-st} dH_j(t) \end{aligned} \right\} \tag{7}$$

The formulae (6) become

$$\left. \begin{aligned} C_j^*(e_i, s) &= \delta_{ij} P_j^0 \\ C_j^*(k, s) &= \sum_{r=1}^m C_r^*(k - e_j, s) Q_{rj}(s) \text{ for } k \neq e_r \\ D_j^*(k, s) &= (1 - H_j^*(s)) C_j^*(k, s) \end{aligned} \right\} \tag{8}$$

We now introduce the multivariate probability generating functions.

$$G_j^*(z, s) = G_j^*(z_1, \dots, z_m, s) = \sum_{k_1=0}^\infty \dots \sum_{k_m=0}^\infty C_j^*(k, s) z_1^{k_1} \dots z_m^{k_m} \tag{9}$$

And

$$K_j^*(z, s) = K_j^*(z_1, \dots, z_m, s) = \sum_{k_1=0}^\infty \dots \sum_{k_m=0}^\infty D_j^*(k, s) z_1^{k_1} \dots z_m^{k_m}$$

And the column vectors

$$G^* = (G_1^*(z, s), \dots, G_m^*(z, s)), \quad K^* = (K_1^*(z, s), \dots, K_m^*(z, s))$$

The column-vectors  $G^*$  and  $K^*$  now have the following matrix representation

$$\begin{aligned} K^*(z, s) &= (I - \Delta(H^*))G^*(z, s) \\ K^*(z, s) &= (I - \Delta(H^*)) (K - \Delta(z)Q^*)^{-1} \Delta(z)p^0 \end{aligned} \tag{10}$$

In which  $\Delta(H^*) = \text{diag}(H_1^*(s), \dots, H_m^*(s))$

$\Delta(z) = \text{diag}(z_1, \dots, z_m)$  and  $|z_i| > 1 \ i=1, \dots, m$

$Q^* = \{Q_{ij}^*\}$  and  $p^0$  is the column vector  $(p_1^0, \dots, p_m^0)$

The first equality is equivalent to the third in (8). Moreover it follows from the other equalities in (8) that

$$G_j^*(z, s) = p_j^0 z_j + z_j \sum_{r=1}^m Q_{rj}^*(s) G_r^*(z, s)$$

which implies the second equality in (10) if the inverse of  $I - \Delta(z)Q^*$  exists. This is easily seen to be so in view of

$$\|z_j Q_{rj}^*(s)\| \leq Q_{rj}(\infty) \tag{11}$$

The numbers  $Q_{jr}(\infty)$  form, an  $m \times m$  stochastic matrix which therefore has spectral radius equal to one.

### 2 Discrete time finite Markov chains:

If  $C_j(k)$  denotes the probability that in  $k_1 + \dots + k_{m-1}$  transitions a discrete Markov chain reaches state  $j$  and has visited state  $r$  exactly  $k_r$  times ( $r=1, \dots, m$ ) then

$$C_j^*(k, s) = C_j(k) e^{-s(k_1 + \dots + k_{m-1})}, \quad Q^* = e^{-s} p, \quad G_j^*(z, s) = e^s G_j(z e^{-s})$$

generating function of the  $C_j(k)$ . After setting  $z_i e^{-s} = \xi_i$  we obtain

$$G(\xi) = (I - \Delta(z)p)^{-1} \Delta(z)p^0 \tag{12}$$

### 3 Generating Functions

Generating functions for many related probabilities can be derived from  $K(z, s)$  by an appropriate choice of the variables  $z_i$

If we set some of the  $z_i$  equal to a same variable  $u$  we find the transition probabilities of the semi-Markov process which specify only the number of visits to certain but not all states. If we set certain variables  $\hat{z}$  in formula (10) equal to zero, we find generating functions for taboo-probabilities, i.e. transition probabilities of events in which one specifies that certain states should not be visited. Finally if we perform the substitutes

$$z_r = \rho e^{\alpha_r i r} \quad 0 < \rho < 1 \tag{13}$$

for all or some of the variables  $z$  in which  $\alpha_i$  is equal to zero, plus or minus one we obtain generating functions for events defined with respect to algebraic sums of the random variables  $N_i(t)$ .

#### 4 An application Poisson

We consider a single server Poisson queue with input rate  $\lambda$  and service rate  $\mu$ . We wish to evaluate the probabilities  $\pi_{ij}^n(t)$  that in the time-interval  $[0, t]$  there have been  $n$  transitions in the queue, the queue length at time  $t$  is  $j$  and neither of the queue lengths zero and  $b$  have been attained, given that the initial queue length was  $i$ .  $0 < i, j < b$ .

Let us consider the  $b + 1$  state semi-Markov process in which.

$$\begin{cases} 1 - e^{-\lambda t} & i=0, j=0 \\ (\lambda/\lambda+\mu)(1 - e^{-(\lambda+\mu)t}) & j=i+1, i=1, \dots, b-1 \\ Q_{ij}(t) = (\mu/\lambda+\mu)(1 - e^{-(\lambda+\mu)t}) & j=i-1, i=1, \dots, b-1 \\ I(t) & i=b, j=b-1 \\ 0 & \text{e.w} \end{cases} \quad (14)$$

If we substitute  $Q$  into formula (10) and set  $p^\circ = e_i$  and  $z_0 = z_b = 0, z_1 \dots z_{b-1} = u$  we obtain

$$K_j^*(0, u, \dots, u, 0, s) = u \sum_{n=0}^{\infty} u^n \int_0^{\infty} e^{-st} d\pi_{ij} n_t \quad (15)$$

For  $j=1, \dots, b-1$  set

$$u \sum_{n=0}^{\infty} u^n \int_0^{\infty} e^{-st} d\pi_{ij} n_t \sum_{n=0}^{\infty} u^n \int_0^{\infty} e^{-st} d\pi_{ij} n_t = p_{ij}^*(u, s)$$

then

$$p_{ij}^*(u, s) = (1|u)k^*(\delta, u, \dots, u, 0, s) = (1 - H_j^*(s))(I - \Delta Q^*)^{-1}_{ij}$$

where  $\text{diag}(0, u, \dots, u, 0)$ , After inversion of the jacobi-matrix  $I - \Delta Q^*$  we find

$$\left. \begin{aligned} p_{ij}^*(u, s) &= [(s|s+\lambda+\mu)(\lambda|u|s+\lambda+\mu)^{j-i}] [(\xi_1^i - \xi_2^i)(\xi_1^{b-j} - \xi_2^{b-j}) / (\xi_1 - \xi_2)(\xi_1^b - \xi_2^b)] \text{ for } j \geq i \\ p_{ij}^*(u, s) &= [(s|s+\lambda+\mu)(\mu|u|s+\lambda+\mu)^{j-i}] [(\xi_1^j - \xi_2^j)(\xi_1^{b-i} - \xi_2^{b-i}) / (\xi_1 - \xi_2)(\xi_1^b - \xi_2^b)] \text{ for } j < i \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

where

$$\xi_{1,2} = (1/2)\{1 \pm [1 - (4\lambda\mu u^2) / (s+\lambda+\mu)]^{1/2}\}$$

if we set  $[(2\sqrt{\lambda\mu}) / (s+\lambda+\mu)] = 1|\cos \alpha$ , we find for  $j \geq i$

$$p_{ij}^*(u, s) = s \lambda^{(i-i+1)/2} \mu^{(i-j+1)/2} u^{-1} (\sin i\alpha \sin(b-j)\alpha) / (\sin \alpha \sin b\alpha)$$

$u^{-1} (\sin i\alpha \sin(b-j)\alpha) / (\sin \alpha \sin b\alpha)$  is a rational function of  $u$  with  $b-1$  distinct poles at

$$u_\rho = \cos \rho\pi / b \quad \rho = 1, \dots, b-1$$

Partial fraction expansion yields:

$$(1|s)p_{ij}^*(u, s) = (\lambda|\mu)^{j-i/2} \sum_{\rho=1}^{b-1} [(2|b) \sin i\rho\pi | b \sin(b-j)\rho\pi | b] / [s + \mu + \lambda - 2\mu\sqrt{\lambda\mu} \cos \rho\pi | b] \quad (17)$$

$$\pi_{ij}^n(t) = 2^n \lambda^{(n+i+j)/2} \mu^{(n+i-j)/2} (1|n!) t^n e^{-(\lambda+\mu)t} \sum_{\rho=1}^{b-1} [(2|b) \sin i\rho\pi | b \sin(b-j)\rho\pi | b (\cos \rho\pi | b)^n] \quad (18)$$

References:

1. Kazuoki Azuma, Weighted sums of certain dependent random variables. Tohoku Mathematical Journal, 1967.
2. Wassily Hoeffding. Probability inequalities for sums bounded random variables. Journal of the American Statistical Association, 1963
3. Andrei N, Kolmogorov. Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeitsrechnung. Springer, Berlin 1933. English Translation: Foundation of the theory of Probability, Chelsea, New York, 1950.
4. Glenn Shafer and Vladimir Vovk. Probability and Finance, Wiley, New York, 2001
5. McClenahan, C.L. «Ratemaking.» In Foundations of Casualty Actuarial Science, Fourth Edition. Arlington, VA: Casualty Actuarial Society, 2000

## Реализация маршрутизатора на основе протокола RIP

Бекчанова Ирода Абдуллаевна, магистрант  
Ташкентский университет информационных технологий (Узбекистан)

Развитие и широкое внедрение компьютерных сетей в промышленности, управлении, связи, образовании, банковской сфере и т.д. является в настоящее время приоритетным направлением научно-технического прогресса. Практика показывает, что в настоящее время простое оснащение рабочих мест компьютерами не дает такого эффекта, как внедрение компьютеров на рабочих местах, соединенных в компьютерную сеть. При этом эффект достигается за счет увеличения масштабов обработки информации.

Современный специалист в области компьютерных технологий должен знать основы построения и функционирования вычислительных машин, функциональные особенности вычислительных машин различных классов, классификацию и архитектуру компьютерных сетей, техническое, информационное и программное обеспечение сетей, структуру и характеристику систем телекоммуникаций, перспективы развития вычислительных средств.

Для соединения нескольких компьютерных сетей используются специальные элементы — мосты, шлюзы и маршрутизаторы. Под мостом понимают аппаратно-программный блок, который обеспечивает соединение нескольких однородных локальных сетей, имеющих различные протоколы.

При использовании мостов следует помнить, что мосты не могут передавать данные по нескольким маршрутам и не выполняют фильтрацию пакетов. Маршрутизатор осуществляет взаимодействие между отдельными частями большой вычислительной сети. Функция маршрутизатора заключается в определении оптимального пути движения пакетов с данными и направлении их по выбранным путям. В этом отношении маршрутизаторы являются более эффективными, чем мосты, к тому же маршрутизаторы могут осуществлять фильтрацию некорректных данных. Однако работают они медленнее мостов. В качестве маршрутизатора может выступать специальное устройство или компьютер. Каждый маршрутизатор имеет специальную таблицу, называемую таблицей маршрутизации, в которой для каждого адресата указывается оптимальный маршрут.

Для обеспечения эффективной и оптимальной маршрутизации в больших вычислительных сетях применяются специальные управляющие протоколы. Например, протоколы RIP (Routing Internet Protocol) и OSPF (Open Shortest Path First) позволяют маршрутизаторам обмениваться информацией друг с другом, протокол ICMP (Internet Control Message Protocol) позволяет уведомлять о новом маршруте, протокол SNMP (Simple Network Management Protocol) позволяет удаленно управлять маршрутизаторами [1,3].

В зависимости от сложности сети может использоваться статическая или динамическая маршрутизация. Статическая маршрутизация применяется тогда, когда пути следования пакетов можно задать заранее. В этом случае администратор сети вручную создает таблицу маршрутизации, в которой жестко указываются маршруты следования пакетов. Динамическая маршрутизация применяется в том случае, если направления движения пакетов информации может быть произвольным. Например, данные из сети 1 могут быть переданы в сеть 3 по первому или второму пути.

Цель маршрутизации — доставка пакетов по назначению с максимизацией эффективности. Чаще всего эффективность выражена взвешенной суммой времен доставки сообщений при ограничении снизу на вероятность доставки. Маршрутизация сводится к определению направлений движения пакетов в маршрутизаторах. Выбор одного из возможных в маршрутизаторе направлений зависит от текущей топологии сети (она может меняться хотя бы из-за временного выхода некоторых узлов из строя), длин очередей в узлах коммутации, интенсивности входных потоков и т.п.

Целью настоящей статьи является исследование процессов маршрутизации. Рассмотрены алгоритмы поиска кратчайшего пути, произведён расчёт пути с минимальным количеством переходов. Также рассмотрены характеристики протокола RIP и построены маршрутные таблицы.

Компьютерные сети, как правило, представляются в виде графов, при этом коммутаторы и маршрутизаторы сетей являются узлами графа, а линии связи представляют собой р-алгоритм Беллмана-Форда), ребра графа. Ряд понятий из теории графов оказывается полезными при разработке сетей и алгоритмов маршрутизации. Для объединенной сети, такой как Интернет или Интранет, представление ее в виде ориентированного графа также является приемлемым [1,2]. В этом случае каждой вершине соответствует маршрутизатор. Если два маршрутизатора напрямую соединены к одной и той же локальной или глобальной сети, тогда это двусторонне соединение соответствует паре параллельных ребер, соединяющих соответствующие вершины. Если к сети напрямую присоединены более двух маршрутизаторов, тогда эта сеть представляется в виде множества пар параллельных ребер, каждая из которых соединяет два маршрутизатора. В объединенной сети для передачи IP-дейтаграммы от маршрутизатора-источника к маршрутизатору-приемнику по разным линиям через разные сети и маршрутизаторы пакетов требуется принять решение о выборе маршрута.

Сеть с коммутацией пакетов в котором каждая вершина соответствует узлу коммутации пакетов, а линии связи между узлами соответствует пара параллельных ребер, по каждому из которых данные передаются в одном направлении [3]. В такой сети для передачи пакета от узла-источника узлу-получателя по разным линиям через несколько коммутаторов пакетов требуется принять решение о выборе маршрута. Эта задача эквивалентна поиску пути в графе.

Практически во всех сетях с коммутацией пакетов и во всех объединенных сетях решение о выборе маршрута принимается на основе одной из разновидностей критерия минимальной стоимости [4,5]. Если выбирается маршрут с минимальным количеством ретрансляционных участков (хопов), тогда каждому ребру, соответствующему ретрансляционному участку, назначается единичный вес. Эта задача соответствует поиску кратчайшего пути в обычном (не взвешенном) графе. Но чаще всего каждому ретрансляционному участку в соответствие ставится определенная величина, называемая стоимостью (*cost*) передачи. Эта величина может быть обратно пропорциональной пропускной способности линии, прямо пропорциональной текущей нагрузке на эту линию или представлять собой некую комбинацию подобных параметров. При расчете стоимости могут учитываться также такие критерии, как финансовая стоимость использования ретрансляционного участка. В любом случае, стоимости использования ретрансляционных участков являются входными данными для алгоритма поиска пути с минимальной стоимостью, который может быть сформулирован следующим образом.

Пусть имеется сеть, состоящая из узлов, соединенных двунаправленными линиями связи, и каждой линии поставлена в соответствие стоимость пересылки данных в каждом направлении. Стоимость пути между двумя узлами определяете как сумма стоимостей всех линий, входящих в данный путь. Задача состоит в том, чтобы найти путь с наименьшей стоимостью для каждой пары узлов.

Разрабатываемое приложение предназначено для работы в подсетях глобальной сети Интернет и представляет собой программное обеспечение маршрутизатора.

Описание алгоритма работы сервиса RIP.

Маршрутизатор RIP может находиться в двух режимах:

- пассивный режим;
- активный режим.

Пассивный RIP-узел (по сути являющийся маршрутизатором) не отправляет сам объявления RIP, а только лишь обрабатывает полученные объявления RIP. Обработанные объявления RIP используются для построения таблицы маршрутизации для узла. На пассивных RIP-узлах не обязательно задавать основной шлюз.

В активном режиме RIP — маршрутизатор периодически обменивается маршрутной информацией с соседними маршрутизаторами. Обмен сообщениями между маршрутизаторами происходит по порту 520. Программа находится в состоянии прослушивания всех сообщений по порту 520.

Опишем алгоритм работы RIP-маршрутизатора:

Для каждой записи в таблице маршрутов существует время жизни, контролируемое таймером. Если для любой конкретной сети, внесенной в таблицу маршрутов, в течение 180 с не получен вектор расстояний, подтверждающий или устанавливающий новое расстояние до данной сети, то сеть будет отмечена как недостижимая (расстояние равно бесконечности). Через определенное время модуль RIP производит «сборку мусора» — удаляет из таблицы маршрутов все сети, расстояние до которых бесконечно.

При получении сообщения типа «ответ» для каждого содержащегося в нем элемента вектора расстояний модуль RIP выполняет следующие действия:

- проверяет корректность адреса сети и маски, указанных в сообщении;
- проверяет, не превышает ли метрика (расстояние до сети) бесконечности;
- некорректный элемент игнорируется;
- если метрика меньше бесконечности, она увеличивается на 1;
- производится поиск сети, указанной в рассматриваемом элементе вектора расстояний, в таблице маршрутов;
- если запись о такой сети в таблице маршрутов отсутствует и метрика в полученном элементе вектора меньше бесконечности, сеть вносится в таблицу маршрутов с указанной метрикой; в поле «Следующий маршрутизатор» заносится адрес маршрутизатора, приславшего сообщение; запускается таймер для этой записи в таблице;
- если искомая запись присутствует в таблице с метрикой больше, чем объявленная в полученном векторе, в таблицу вносятся новые метрика и, соответственно, адрес следующего маршрутизатора; таймер для этой записи перезапускается;
- если искомая запись присутствует в таблице и отправителем полученного вектора был маршрутизатор, указанный в поле «Следующий маршрутизатор» этой записи, то таймер для этой записи перезапускается; более того, если при этом метрика в таблице отличается от метрики в полученном векторе расстояний, в таблицу вносится значение метрики из полученного вектора;
- во всех прочих случаях рассматриваемый элемент вектора расстояний игнорируется.

Сообщения типа «ответ» рассылаются модулем RIP каждые 30 с по широковещательному или мультикастному (только RIP-2) адресу; рассылка «ответа» может происходить также вне графика, если маршрутная таблица была изменена (*triggered response*). Стандарт требует, чтобы *triggered response* рассылался не немедленно после изменения таблицы маршрутов, а через случайный интервал длительностью от 1 до 5 с. Эта мера позволяет несколько снизить нагрузку на сеть.

Разработанная программа предназначена для маршрутизаторов. Основываясь на общепризнанном и одним из самых распространенных протоколов динамической мар-



шрутизации RIP для IP, программа позволяет проводить объединение сетей. Объединенная сеть с маршрутизацией по протоколу RIP для IP использует протокол RIP для IP для динамического обмена информацией о маршрутизации между маршрутизаторами. Если при развертывании среды с протоколом RIP для IP были выполнены все необходимые для этого шаги, то по мере добавления и удаления сетей в объединенной сети для них будут автоматически добавляться и удаляться соответствующие маршруты. Необходимо обеспечить правильную настройку

каждого маршрутизатора, чтобы все RIP-маршрутизаторы объединенной сети могли принимать и отправлять объявления RIP.

Альтернативой данной программе являются утилиты WinNT. По степени новизны решаемая задача относится к группе В (разработка проекта с использованием типовых проектных решений при условии их изменения, разработка проектов, имеющих аналогичные решения).

В разработке применен язык программирования сверхвысокого уровня C++ под Windows.

#### Литература:

1. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. — СПб.: Питер, 2000. — 672 с.
2. Каракулова Е.Г., Котельникова А.В., Силаева М.А. Структурные схемы маршрутизаторов с ATM. // Материалы международной научно-практической конференции «Информатика и проблемы телекоммуникаций». — Новосибирск, 2001. — 15 с.
3. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Новые технологии и оборудование IP-сетей. — СПб.: БХВ-Санкт-Петербург, 2000.
4. <http://www.citforum.ru/nets/ito>
5. <http://www.metrolog.ru/asp>

## Обзор веб-сервисов для визуализации научных типов данных

Власов Станислав Александрович, студент;  
Маркина Софья Элеолитовна, кандидат технических наук, доцент  
Уральский федеральный университет (г. Екатеринбург)

### Актуальность

В настоящее время все чаще приходится сталкиваться с проблемой визуализации данных. Зачастую, человек, имея данные в некотором формате, не знает каким образом извлечь из них нужную информацию. Поиск по Интернет поможет решить эту проблему частично, предложив скачать то или иное программное обеспечение, которое обработает данные и представит в понятной форме. Скачивать и устанавливать никто не любит, и это другая проблема, которая в настоящее время решается созданием разнообразных веб-сервисов, в том числе и на облачной инфраструктуре.

Следующая проблема заключается в возможности делиться данными. Фактически, человек может передать свои данные другому человеку, пошлав их по почте или другим способом. Такой способ имеет ряд недостатков. Во-первых, это само ожидание передачи данных. Во-вторых, о чем говорилось выше: человеку, получившему данные придется скачивать ПО. В-третьих, если необходимо поделиться не с одним человеком, а с группой людей, то придется отправлять каждому, а это лишнее время.

Так же существует проблема размещения данных, точнее их визуализации, на сайтах (например, размещение визуализации данных, полученных в результате ис-

следования на сайте института), использования в презентациях и т.д.

### Обзор сервисов

Прежде, чем перейти к рассмотрению аналогов, необходимо сделать несколько оговорок. Для начала необходимо определить основные области деятельности, данные из которых нам интересны и которые мы будем называть научными. Во-первых, медицина, так как, как показывает практика, применение новых технологий в этой области существенно повышает уровень оказания медицинских услуг. Наиболее популярные форматы данных в этой области: DICOM, NRRD, NIFTI-1. Во-вторых, инженерно-конструкторская деятельность, так как периодически возникает необходимость делиться своими наработками, например, с другими участниками проекта. Наиболее популярные форматы в этой области: STL, OBJ. В-третьих, математика, так как существуют необходимость представлять публике результаты своей работы. Популярный формат данных — VTK.

В качестве аналогов не будут рассматриваться десктопные приложения (приложения, которые требуют установки на ПК) по причине большого их распространения и сильной схожести друг на друга. Итак, ниже представлен обзор аналогов.

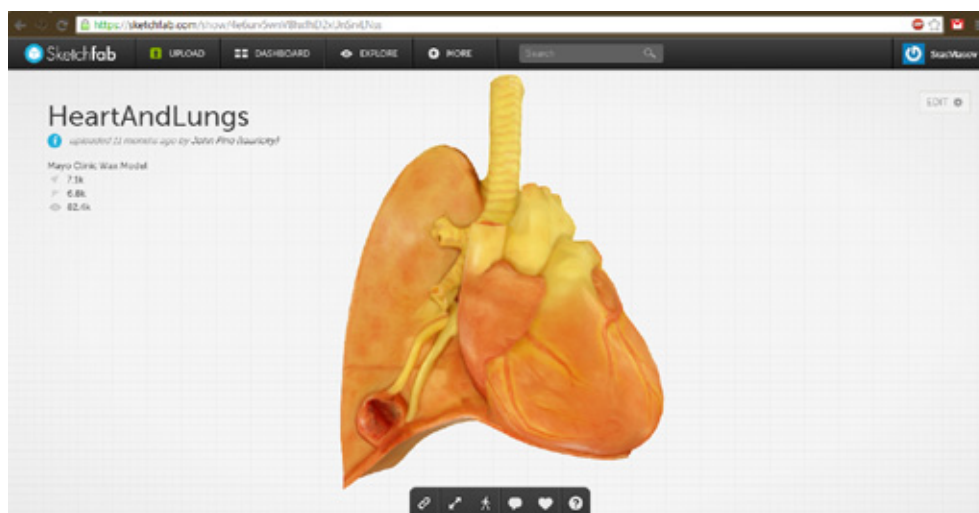


Рис. 1. Sketchfab

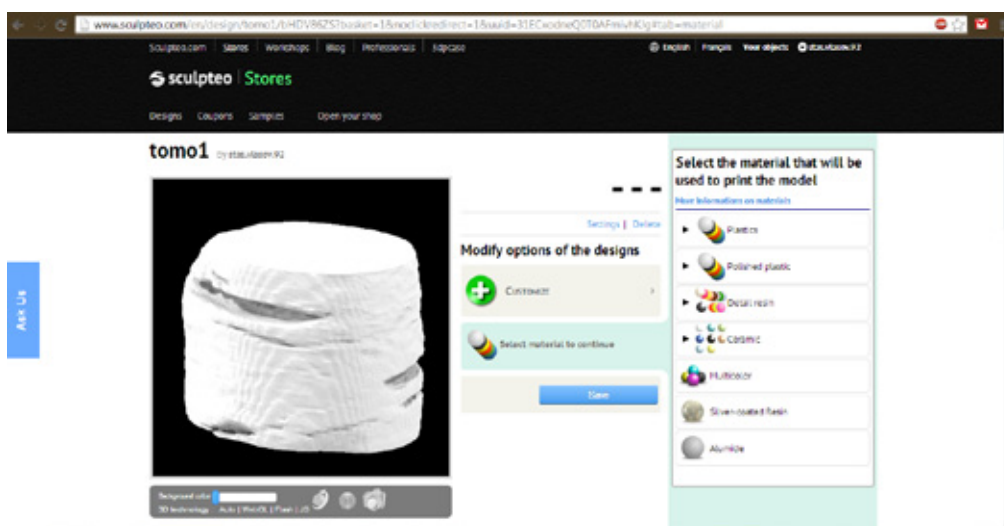


Рис. 2. Sculpteo

Sketchfab [1] – сервис, который позволяет любому желающему опубликовать свои 3D-модели с возможностью смены точки обзора. Кроме этого сервис позволяет встраивать модели на сторонние сайты. На данный момент сервис предоставляется бесплатно и поддерживает множество форматов: Blend, 3DS Max, SketchUp и т.д. Существует платная подписка, с помощью которой можно получить дополнительное место для моделей и приватный обмен моделями (возможность показывать модели только определенной группе пользователей). Внешний вид сервиса представлен на рис. 1.

Sculpteo [2] – сервис печати пользовательских моделей на 3D-принтере. Имеет инструмент просмотра моделей, предназначенный для обзора моделей перед отправкой их на печать. Так же, существует возможность генерации ссылки на модель, встраивание моделей в веб-страницу и имеются кнопки социальных сетей. Внешний вид сервиса представлен на рис. 2.

p3d.in [3] – бесплатный сервис для публикации 3D-моделей и обмена ими. Сервис предназначен для пользования дизайнерами, аниматорами и т.д. Одно из достоинств сервиса – это простота отображения трёхмерных данных в браузере, так как не нужны никакие плагины. Что же касается загрузки моделей, то на данный момент поддерживаются только данные в формате OBJ. Для того чтобы поделиться моделью, ее можно вставить в любую веб-страницу. Внешний вид сервиса представлен на рис. 3.

Autodesk Freewheel [4] – бесплатный веб-сервис для обмена 2D- и 3D-проектами. Сервис позволяет интерактивно просматривать, печатать и совместно использовать 2D- и 3D-проекты, созданные в приложениях Autodesk, при этом не нужно загружать и устанавливать дополнительное программное обеспечение. Сервис генерирует уникальные зашифрованные URL-адреса для находящихся в Интернете файлов проектов, которые можно

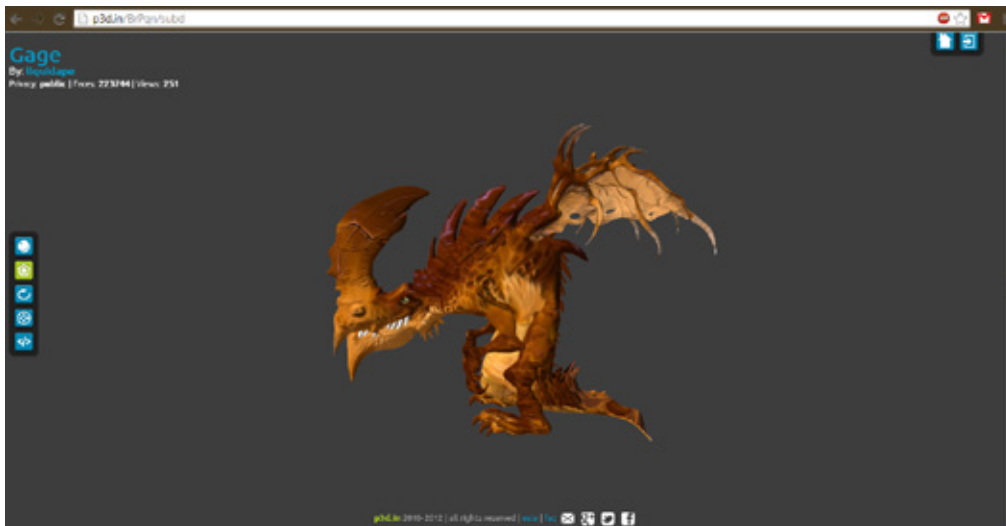


Рис. 3. p3d.in



Рис. 4. Autodesk Freewheel

разослать другим пользователям, например по почте. Внешний вид сервиса представлен на рис. 4.

GrabCad [5] — сервис для удобной публикации 3D-проектов. Сервис предназначен как для инженеров-механиков, которые создают и демонстрируют свои 3D-модели, так и для энтузиастов, которые практикуются в проектировании и набирают портфолио. Пользователи сервиса могут публиковать свои собственные САПР-файлы и загружать файлы других пользователей. Так же пользователи могут изменять настройки приватности своих файлов, тем самым предоставляя свои данные только определенному кругу пользователей. Внешний вид сервиса представлен на рис. 5.

Sunglass [6] — сервис для конструкторской работы и 3D-моделирования в онлайн-режиме. Главная функция заключается в организации коллективного доступа к 3D-объектам. Участники проектов могут управлять 3D-объ-

ектами — вращать, переворачивать и масштабировать. Сервис поддерживает более 40 разных форматов файлов, позволяет обмениваться файлами и комментировать их. Сервис имеет голосовой и текстовый чат, а так же возможность использования графических пометок. Внешний вид сервиса представлен на рис. 6.

Arivis WebView [7] — сервисный модуль системы Arivis для визуализации двух- и трехмерных изображений больших объемов. Для работы с модулем необходим веб-браузер, при этом не требуется установка программного обеспечения. Сервис позволяет группам пользователей иметь доступ к одному и тому же изображению одновременно. Владелец определяет возможности управления и изменения изображений для других пользователей. Внешний вид модуля представлен на рис. 7.

SliceDrop [8] — веб-сервис, созданный для интерактивного просмотра научных данных и медицинских снимков с

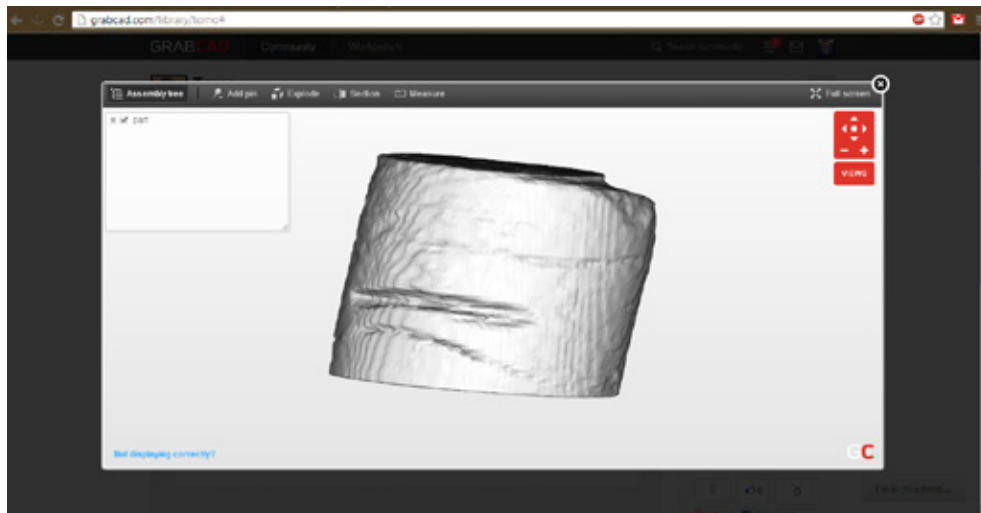


Рис. 5. GrabCad

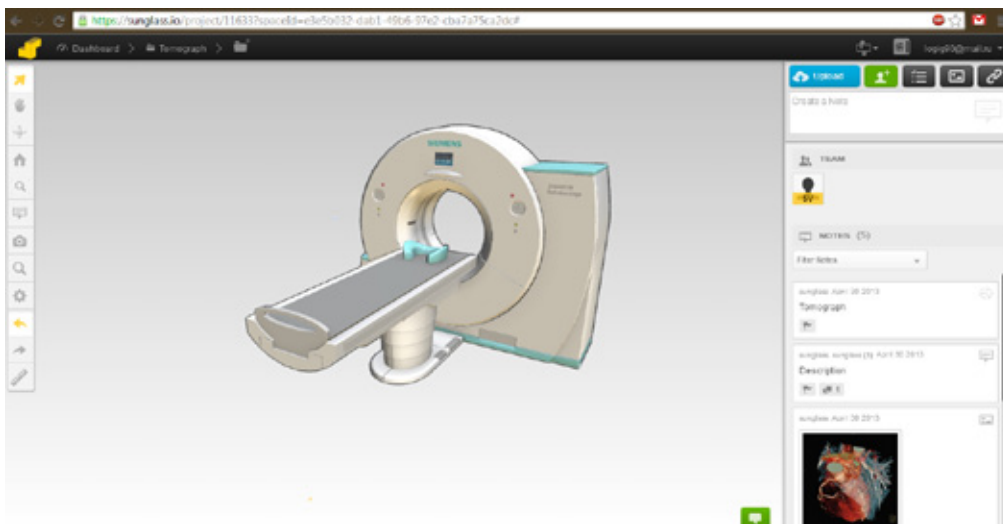


Рис. 6. Sunglass

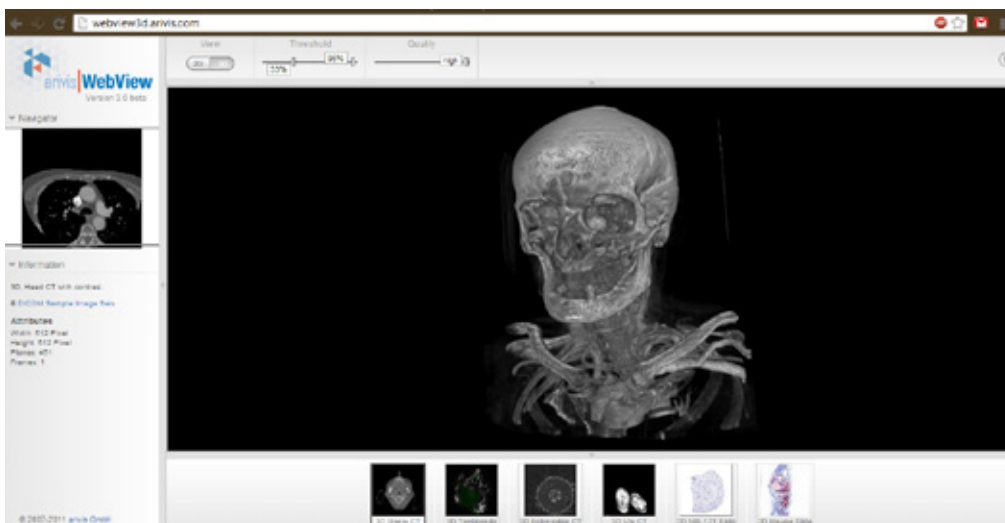


Рис. 7. Aravis WebView

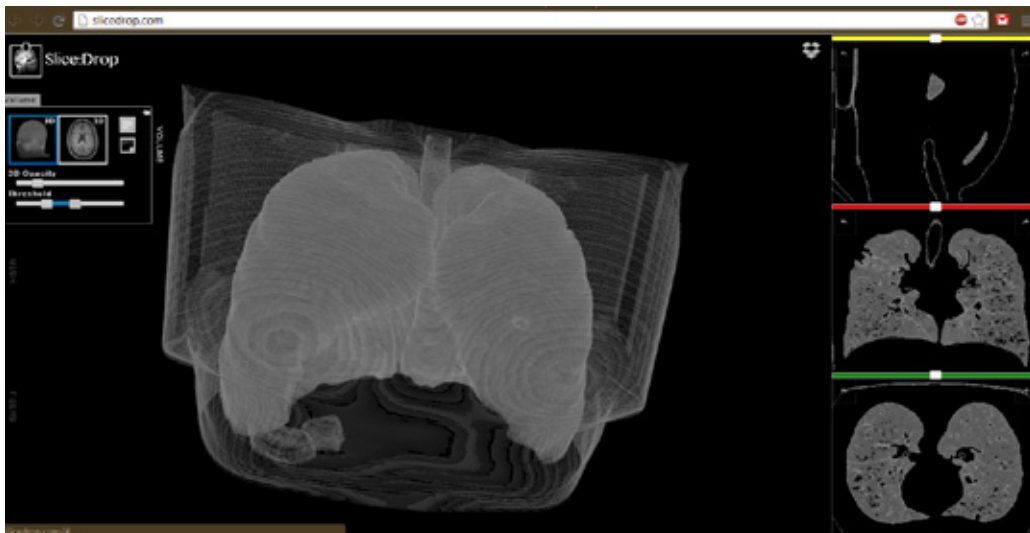


Рис. 8. SliceDrop

возможность объемной визуализации. Внешний вид сервиса представлен на рис. 8.

### Выбор критериев оценивания

Выше были определены три области деятельности, которые представляют для нас наибольший интерес. Также, мы выделили основные форматы данных — DICOM, NRRD, NIFTI-1, OBJ, STL, VTK, поэтому первый критерий оценивания — это *универсальность (У)*, которая будет определяться как процент поддерживаемых форматов аналогом от количества интересующих нас форматов.

Важной для пользователя функцией является возможность хранения данных удаленно. То есть аналог должен позволять пользователю загружать свои данные с последующим их хранением — отсюда критерий — *хранение данных (ХД)*, оценивается по схеме: 1 — возможно, 0 — невозможно.

Один из способов делиться данными — это размещать их на сайтах, блогах, использовать в презентациях. Поэтому важно чтобы аналог позволял пользователю встраивать свои визуализации на сайты и т.д. Итак, следующий критерий — *встраивание (В)*, оценка: 1 — есть возможность, 0 — нет.

Другой способ делиться данными — это предоставлять доступ к ним другим пользователям. Один из способов предоставления доступа — генерация ссылки, которая введет к необходимым данным, и ее распространение между необходимыми пользователями. Поэтому следующий критерий оценки аналога — это возможность *генерировать ссылку (ГС)*. Оценка: 1 — есть возможность, 0 — возможность отсутствует.

После того как пользователь поделился своими данными с другими пользователями, для него важно получение обратной связи (критики, пожеланий и т.п.). Один из способов организации обратной связи — это возмож-

ность комментирования данных, поэтому важно чтобы аналог обладал такой возможностью. Отсюда критерий — возможность *комментирования (К)*. Оценка: 1 — есть возможность, 0 — нет.

Следующая важная функция — это возможность визуализировать данные без необходимости их загрузки на сервер. Такая возможность может понадобиться, если пользователь использует конфиденциальные данные или ему необходимо получить быструю визуализацию без ожидания загрузки данных. Итак, следующий критерий — *ускоренный рендеринг (УР)*, оценка: 1 — есть, 0 — нет.

Следующий критерий — *самостоятельность (С)*, для пользователя важно чтобы аналог был самостоятельным, а не частью какой — либо ИС. Оценка: 1 — самостоятельный, 0 — модуль.

Последний критерий — *платность (П)*, бесплатные аналоги более привлекательны для пользователей. Оценка: 1 — бесплатный, 0 — платный.

Попарное сравнение коэффициентов и вычисленные весовые коэффициенты представлены в таблице 1.

### Оценка сервисов

Результаты оценивания приведены в таблице 2 и таблице 3.

### Заключение

В обзоре рассмотрены веб-сервисы для визуализации научных типов данных, а так же проанализированы их достоинства и недостатки. Обзор показал, что оптимальным сервисом является SliceDrop, но он имеет несколько недостатков, которые сказываются на удобстве его использования. Поэтому в данный момент ведется разработка нового веб-сервиса визуализации научных типов данных, который имеет преимущества SliceDrop и в котором восполнена нехватка удобства использования.



Таблица 1. Расстановка весовых коэффициентов

Матрица R	У	С	П	ХД	УР	В	ГС	К	$\Sigma_{эл}$	$\alpha$ (вес)
У	1	2	3	5	5	6	6	7	37	0,25
С	0,5	1	2	4	4	5	5	6	28,5	0,19
П	0,33	0,5	1	3	3	4	4	5	21,33	0,15
ХД	0,2	0,25	0,33	1	1	2	2	3	10,03	0,06
УР	0,2	0,25	0,33	1	1	2	2	3	10,03	0,06
В	0,17	0,25	0,25	0,5	0,5	1	1	2	5,87	0,04
ГС	0,17	0,25	0,25	0,5	0,5	1	1	2	5,87	0,04
К	0,14	0,17	0,2	0,33	0,33	0,5	0,5	1	3,34	0,02
									150,47	

Таблица 2. Оценивание аналогов без учета весовых коэффициентов

Аналоги	Критерии оценивания								
	У	С	П	ХД	УР	В	ГС	К	
Scetchfab	0,35	1	0	1	0	1	1	1	1
Sculpteo	0,35	1	0	1	0	1	1	1	1
p3d.in	0,17	1	1	1	0	1	1	0	0
Autodesk Freewheel	0,35	1	1	0	0	0	1	0	0
GrabCad	0,35	1	0	1	0	0	0	1	1
Sunglass	0,35	1	1	1	0	0	0	1	1
Arivis WebView	0,17	0	0	1	0	0	0	0	0
SliceDrop	1	1	1	0	1	0	0	0	0

Таблица 3. Оценивание аналогов с учетом весовых коэффициентов

Аналоги	Критерии оценивания									$\Sigma$
	У	С	П	ХД	УР	В	ГС	К		
	0,25	0,19	0,15	0,06	0,06	0,04	0,04	0,02		
Scetchfab	0,0875	0,19	0	0,06	0	0,04	0,04	0,02		0,4375
Sculpteo	0,0875	0,19	0	0,06	0	0,04	0,04	0,02		0,4375
p3d.in	0,0425	0,19	0,15	0,06	0	0,04	0,04	0		0,5225
Autodesk Freewheel	0,0875	0,19	0,15	0	0	0	0,04	0		0,4675
GrabCad	0,0875	0,19	0,15	0	0,06	0	0	0,02		0,5075
Sunglass	0,0875	0	0,15	0,06	0,06	0	0	0,02		0,3775
Arivis WebView	0,0425	0	0	0,06	0	0	0	0		0,1025
SliceDrop	0,25	0,19	0,15	0	0,06	0	0	0		0,65

Литература:

1. Официальный сайт Sketchfab. Режим доступа: sketchfab.com
2. Официальный сайт Sculpteo. Режим доступа: sculpteo.com
3. Официальный сайт p3d.in. Режим доступа: p3d.in
4. Официальный сайт Autodesk Freewheel. Режим доступа: freewheel.autodesk.com
5. Официальный сайт GrabCad. Режим доступа: grabcad.com
6. Официальный сайт Sunglass. Режим доступа: sunglass.io
7. Официальный сайт Arivis Webview. Режим доступа: webview3d.arivis.com
8. Официальный сайт SliceDrop. Режим доступа: slicedrop.com

## Автоматизированная система контроля и анализа механических испытаний лаборатории изготовления и испытания образцов на ОАО «Волжский трубный завод»

Кудрин Антон Александрович, студент;

Силаев Алексей Александрович, кандидат технических наук, доцент

Волжский политехнический институт (филиал) Волгоградского государственного технического университета

Лаборатория изготовления и испытания образцов является основным контролёром механических свойств трубы на всех этапах её производства. Лаборатория проводит испытания на соответствие требуемым нормам. Результаты испытаний вносятся лаборантами в базу данных для дальнейшей обработки. Увеличение объёмов производства требует сокращения до минимума времени на ввод данных по каждой трубе.

Существующая система ввода данных не обеспечивает полного функционала для обеспечения быстрого ввода данных. Ввод протокола занимает значительное время, даже несмотря на использование горячих клавиш. После внедрения автоматизированной системой потрубной прослеживаемости на базе ТПЦ-3 ОАО «Волжский трубный завод» встал вопрос о необходимости обмена данными с лабораторией, но обмен с существующей системой затруднён из-за различий в архитектуре и реализации

Для более тесной интеграции с автоматизированной системой потрубной прослеживаемости, а также сведения к минимуму задержек ввода данных, была разработана автоматизированная система контроля и анализа механических испытаний.

Разработанная система предназначена для:

- 1) автоматической проверки вводимых данных с целью повышения точности ввода и исключения ошибок ввода данных;
- 2) расширение количества вариантов заполнения протоколов механических испытаний с целью соответствия требованиям заказчиков;
- 3) упрощения ввода данных, внедрения горячих клавиш с целью ускорения ввода данных.

Для разработки системы, в качестве архитектуры, была выбрана архитектура «клиент-сервер», как наиболее подходящая для задач, поставленных в данном проекте.

В качестве СУБД был выбран Microsoft SQL Server 2005 — для хранения конфигурации и данных системы, так как эта СУБД используется в автоматизированной системе потрубной прослеживаемости для хранения общей информации, такой как сведения о производственных заказах, справочные данные, карты контроля качества. В качестве библиотеки для разработки была выбрана .Net Framework 3.5, поскольку она использовалась при разработке автоматизированной системы потрубной прослеживаемости, и обеспечивает полную поддержку разработки интерфейсов на базе WinForms. В качестве языка

программирования выбран язык C#, как наиболее адаптированный для разработки приложений .Net Framework.

Система содержит семь модулей, в которых реализован весь функционал разрабатываемой системы.

Модуль авторизации. Основная задача модуля авторизации заключается в предоставлении функционала выбора пользователя, ограничения входа в систему без введения пароля и в предоставлении доступа к функционалу системы в соответствии с выбранной учётной записью пользователя.

Модуль просмотра карты контроля качества. Задача модуля просмотра карты контроля качества — предоставление пользователю возможности просмотра данных по карте контроля качества, таких как: список испытаний, максимальные и минимальные значения по испытаниям.

Модуль просмотра результатов химических испытаний металла. Основное назначение модуля заключается в предоставлении возможности поиска результатов химических испытаний металла по дате, либо плавке, а также просмотра и запроса информации по результатам химических испытаний металла.

Модуль взаимодействия с пользователем. Основная задача модуля взаимодействия с пользователем — обеспечение возможности ввода данных по механическим испытаниям и испытаниям прокаливаемости, модуль также обеспечивает: своевременное оповещение пользователя о необходимости корректировки протокола в случае ошибочного, либо неполного ввода данных, вывод на экран нотификационных и межсерверных сообщений для информирования пользователя, управление взаимодействием пользователя с модулями просмотра химических испытаний, модулем просмотра карты контроля качества.

Модуль контроля результатов испытаний. Основная задача модуля контроля результатов испытаний — контролировать результаты механических испытаний и испытаний прокаливаемости, автоматически устанавливая заключение по испытаниям в зависимости от значений, сравнивая их с максимальными и минимальными значениями, полученными из карты контроля качества. В случае её привязки к протоколу испытаний, предупреждая пользователя о необходимости ввода обязательных полей в результатах испытания, блокируя ввод некорректных символов.

Модуль администрирования. Основной задачей модуля является предоставление функционала администратора,

в который входит создание, редактирование и удаление учётных записей пользователя, а также установление прав доступа для пользователя.

Модуль печати. Модуль предоставляет пользователю возможность печати протоколов механических испытаний, испытаний прокаливаемости, а также возможность печати карты контроля качества.

Для хранения информации в системе реализована база данных содержащая следующие таблицы:

- протоколы испытаний — содержит информацию о протоколах испытаний;
- формулы в протоколах прокаливаемости — содержит формулы для вычисления коэффициента углерода испытаний прокаливаемости;
- НТД — содержит справочник НТД;
- единицы измерения — содержит справочник единиц измерения применяемых для измерения результатов механических испытаний;
- образцы — содержит информацию по образцам, на которых проводились испытания;
- значения по испытаниям — содержит информацию по результатам испытаний;
- значения по испытаниям в квадрантах — содержит информацию по результатам испытаний твёрдости по квадрантам;
- испытания по образцам — содержит информацию по испытаниям каждого образца;
- марки стали — содержит справочник марок стали;
- группы прочности содержит справочник групп прочности;
- испытания — содержит справочник испытаний, существующих в системе;

- группы пользователей — содержит список групп пользователей системы;
- должности — содержит список должностей пользователей системы;
- пользователи — содержит список пользователей системы и пароли в зашифрованном виде;
- права пользователей — содержит список прав для каждого пользователя;
- значения элементов — содержит значения элементов по плавке;
- протоколы химических испытаний — содержит информацию по протоколу химических испытаний по плавке.

Для получения данных по карте контроля качества используется таблица KKK\_Data базы данных автоматизированной системы потрубной прослеживаемости.

Для обеспечения функциональности системы были разработаны алгоритмы: копирования протокола испытаний, получения данных по плавке, алгоритм подсчёта разброса твёрдости, алгоритм добавления испытаний по карте контроля качества, алгоритм подтверждения протокола.

Таким образом, реализация и внедрение системы обеспечит:

- 1) повышение качества вводимых данных за счёт автоматической проверки результатов механических испытаний на соответствие карте контроля качества;
- 2) уменьшение времени ввода данных в базу данных за счёт автоматизации повторяющихся действий и автозаполнения полей ввода на основании привязанной карты контроля качества;
- 3) соответствие протоколов испытаний стандартам, устанавливаемых заказчиками за счёт более гибкой настройки печатной формы протокола.

#### Литература:

1. Матвеев В.В., Нечаев К.А., Зыков Д.Д. Подход к разработке архитектуры информационной системы управления производственными процессами. Научно-практический журнал «Приволжский научный вестник» № 10 (14) октябрь 2012.
2. Станек Уильям Р. MS SQL Server 2005. Справочник администратора. — М.: Издательство «Русская Редакция», 2006. — 544 с.: ил.

## Подсистема анализа и визуализации в составе автоматизированной системы контроля технологических параметров производства резиновых смесей на ОАО «Волтайр-Пром»

Кульпин Михаил Александрович, студент;

Силаев Алексей Александрович, кандидат технических наук, доцент  
Волжский политехнический институт (филиал) Волгоградского государственного технологического университета

*В статье рассматриваются вопросы снижения уровня брака в шинной промышленности, за счет внедрения подсистемы анализа и визуализации в состав автоматизированной системы контроля технологических параметров производства резиновых смесей. Показана архитектура подсистемы. Рассмотрена возможность применения методов статистического анализа для контроля управляемости и определения потенциальной пригодности ТП. Представлены основные результаты, полученные в ходе проведенной работы, и перспективы использования полученных показателей.*

**Ключевые слова:** автоматизация контроля технологических параметров, статистический анализ с помощью карт Шухарта.

### Введение

В связи с переходом большинства предприятий на международные стандарты контроля производства и качества продукции особую значимость приобретает вопрос контроля ТП на всех этапах изготовления продукции. В шинной промышленности одним из ключевых факторов, определяющим уровень качества продукции, является соответствие установленным стандартам технологических параметров как ингредиентов, так и резиновых смесей.

В последнее время уровень качества продукции крупных производителей ингредиентов для резиновых смесей растет, однако все еще остается переменным в достаточно широких границах. В связи с этим предприятия-потребители должны проводить контроль технологических параметров быстро и надежно, чтобы обеспечить устойчивую работу производства и оперативно выявлять потенциальную возможность производства брака. Также актуальными являются вопросы долгосрочного анализа, выявления статистических показателей, таких как потенциальная пригодность ТП для предотвращения возникновения брака в будущем, выявления неблагонадежных поставщиков и принятия иных управленческих решений.

Возможно несколько подходов к автоматизации рассматриваемых процессов:

- 1) использование встроенного ПО автоматических и автоматизированных измерительных приборов;
- 2) использование специализированных программно-информационных систем, таких как Enterprise или Pathfinder Plus;
- 3) разработка собственной автоматизированной программно-информационной системы.

Использование встроенного в приборы программного обеспечения нецелесообразно, так как при таком подходе отсутствует централизованная база данных, что не по-

зволит проводить анализ резиновых смесей одновременно по нескольким параметрам, если они измеряются различными приборами. Также, идущее в комплекте с приборами, программное обеспечение, как правило, обладает недостаточной функциональностью, не имеет возможности для масштабирования, является закрытым, не дает возможности многопользовательского доступа, что существенно снижает его аналитические возможности. К плюсам данного подхода можно отнести отсутствие дополнительных финансовых и трудовых затрат. [1]

Специализированные программно-информационные системы лишены большинства недостатков встроенного программного обеспечения: они имеют централизованную базу данных, широкие аналитические возможности, позволяют разрабатывать собственные отчеты и поддерживать многопользовательский доступ. Но данные системы обладают значительной стоимостью и рядом ограничений, связанных с условиями лицензирования. [2]

Разработка собственной автоматизированной системы позволяет создать программный продукт, адаптированный под конкретное производство. Разработанная система будет соответствовать всем требованиям производства, иметь возможности для масштабирования и изменения. К недостаткам данного подхода можно отнести повышенную трудоемкость разработки и внедрения. [3]

### Анализ текущего состояния предметной области и постановка задачи

В настоящее время контроль параметров резиновых смесей на ОАО «Волтайр-Пром» осуществляется при помощи автоматизированных измерительных приборов. Для занесения нормативов, сбора информации и просмотра результатов испытаний используется программное обеспечение Daisy 8.5. Данное программное обеспечение имеет ряд недостатков:

1) ограниченное количество лицензий на программное обеспечение Daisy 8.5;

2) отсутствие необходимых отчетных форм и невозможность создания новых отчетов, ввиду закрытости программного обеспечения;

3) использование устаревшего формата.dbf для хранения базы данных, что приводит к сильному падению производительности в сетевом режиме и при активном использовании базы несколькими пользователями.

Из-за недостаточной функциональности и производительности существующего решения, возникает задача копирование имеющейся базы данных на SQL сервер, для увеличения быстродействия в многопользовательском режиме, и применения к результатам испытаний методов статистического анализа, для оценки качественных характеристик процесса производства резиновых смесей. При этом предполагается продолжать использовать уже существующую систему, на основе Daisy 8.5, для сбора информации, что позволит сократить финансовые и трудовые затраты. Сокращение затрат достигается за счет того, что процесс сбора информации от измерительных приборов уже организован, остается лишь преобразовывать информацию к требуемому виду и переносить на SQL сервер. При отказе от использования Daisy 8.5 и внедрении новой SCADA-системы возникают дополнительные расходы, связанные с закупкой программного обеспечения и проведением перечня работ по его развертыванию.

Таким образом, было принято решения о необходимости доработки существующей системы, за счет разработки подсистемы анализа и визуализации.

### Требования к разрабатываемой подсистеме

Разрабатываемая подсистема должна производить периодический запрос информации о проведенных испытаниях, из базы данных Daisy 8.5, обеспечивать ее преобразование к необходимому виду и передавать на SQL сервер. При просмотре результатов испытаний должно производиться автоматическое сравнение полученных результатов с эталонными значениями.

Выходной документацией, разрабатываемой подсистемы, должны являться результаты статистического анализа технологических параметров резиновых смесей, в частности, должны выводиться карты Шухарта, для каждого измеряемого параметра, делаться вывод об управляемости и потенциальной пригодности процесса. Программное обеспечение должно предоставлять возможность формирования отчетов, с возможностью их сохранения в электронном виде в формате.pdf.

Разрабатываемое программное обеспечение клиента должно работать под управлением операционной Windows XP. Приложение, обеспечивающее передачу информации из базы данных Daisy 8.5, должно работать под управлением операционной системы Windows Server 2003 и использовать MS SQL 2005. Для доступа к данным

должна использоваться локальная сеть с пропускной способностью не менее 100 Мб/с и стек протоколов TCP/IP.

### Математический аппарат подсистемы

В основе работы разрабатываемой подсистемы лежат статистические методы оценки качественных характеристик процесса. Основным методом для оценки управляемости и потенциальной пригодности процесса приготовления резиновой смеси являются контрольные карты Шухарта.

Цель контрольных карт, согласно ГОСТ Р 50779.42–99 – обнаружить неестественные изменения в данных из повторяющихся процессов и дать критерии для обнаружения отсутствия статистической управляемости. Процесс находится в статистически управляемом состоянии, если изменчивость вызвана только случайными причинами. При определении этого приемлемого уровня изменчивости любое отклонение от него считают результатом действия особых причин, которые следует выявить, исключить или ослабить.

Для построения контрольных карт технологического процесса изготовления резиновой смеси необходимо производить испытания через примерно равные временные интервалы. Результаты испытаний определенного технологического параметра резиновой смеси разделяются на подгруппы по временному принципу, например в одну подгруппу входят все испытания за один день. Вычисляется среднее значение каждой подгруппы  $X_{сред}$ , размах каждой подгруппы  $R_j$  и среднее значение размаха  $R_{сред}$ :

$$X_{сред} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

$$R_i = \max(X_{1 \rightarrow k}) - \min(X_{1 \rightarrow k})$$

$$R_{сред} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{k}$$

где  $k$  – число подгрупп;  $n$  – число замеров в подгруппе. Верхняя граница размаха (ВГР) и нижняя граница размаха (НГР) рассчитываются по следующим формулам:

$$ВГР = D_4 * R_{сред}$$

$$НГР = D_3 * R_{сред}$$

где  $D_4, D_3$  – коэффициенты, выбираемые в зависимости от максимального  $n$  среди всех подгрупп.

В случае если в нормативной базе не заданы значения верхней технологической границы (ВТГ), нижней технологической границы (НТГ) и эталонного значения ( $X_0$ ) они рассчитываются по соответствующим формулам:

$$X_0 = \frac{\sum_{i=1}^k X_{сред}}{k}$$

$$ВТГ = X_0 + A_2 * R_{сред}$$

$$НТГ = X_0 - A_2 * R_{сред}$$



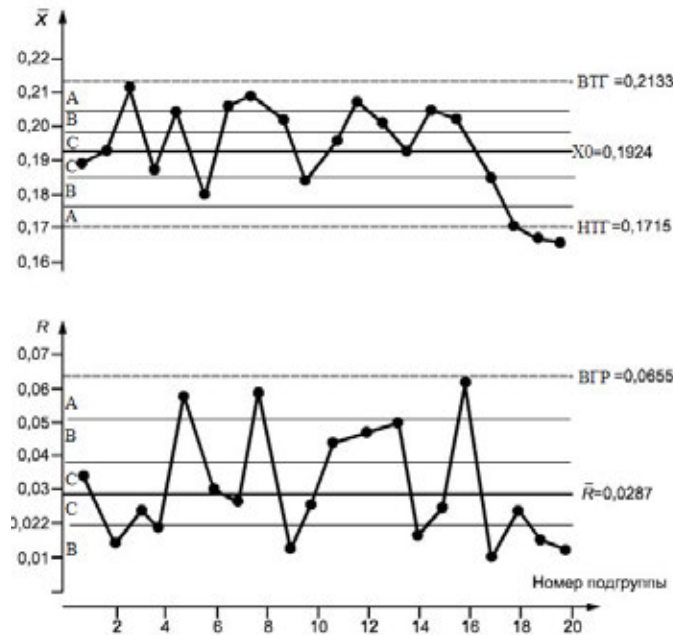


Рис. 1. Образец карт Шухарта

где  $A_2$  – коэффициент, выбираемый в зависимости от максимального  $n$  среди всех подгрупп.

По полученным данным строятся карты Шухарта (рис. 1). Параметр НГР может отсутствовать, если максимальное  $n$  среди всех подгрупп меньше 7, что, и отображено в рассматриваемом примере.

Для интерпретации карт Шухарта производится проверка на соответствие 8 основным критериям, согласно ГОСТ Р 50779.41–96, указывающих на появление особых причин, которые должны быть проанализированы и скорректированы:

- 1) одна точка вне зоны А;
- 2) девять точек подряд в зоне С или по одну сторону от центральной линии;
- 3) шесть возрастающих или убывающих точек подряд;
- 4) четырнадцать попеременно возрастающих и убывающих точек;
- 5) две из трех последовательных точек в зоне А или вне ее;
- 6) четыре из пяти последовательных точек находятся с одной стороны от центральной линии в зоне В или дальше;
- 7) пятнадцать последовательных точек в зоне С выше и ниже центральной линии;
- 8) восемь последовательных точек по обеим сторонам центральной линии и ни одной в зоне С.

Среднее квадратическое отклонение рассчитывается по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (X_i - \bar{X})^2}{m - 1}}$$

где  $m$  – общее число замеров;

$\bar{X}$  – среднее значение измеряемого параметра, во всех подгруппах.

Расчет потенциальной пригодности процесса проходит по следующей формуле:

$$Cp = \frac{VTГ - НТГ}{6 \cdot \sigma}$$

Значение  $Cp$ , для потенциально пригодного процесса, должно быть не менее 1.

### Реализация подсистемы

Разработанная подсистема имеет трехуровневую архитектуру.

Первым уровнем является уровень сбора и передачи информации. Он обеспечивает сбор информации о проведенных испытаниях из базы данных Daisy 8.5 и передает ее на сервер СУБД.

Вторым уровнем является уровень управления данными. Он обеспечивает долгосрочное хранение информации и доступ к данным для пользователей подсистемы.

Третьим уровнем является приложение клиента, предназначенное для визуализации результатов измерений, проведения статистического анализа, печати и сохранения отчетных форм.

Связь между уровнями организуется при помощи локальной сети стандарта Fast Ethernet.

Для реализации уровня сбора и передачи информации было разработано приложение, позволяющее проводить автоматический сбор информации из базы данных Daisy 8.5, приводить ее к виду, доступному для загрузки в СУБД и передавать в базу данных. В основе его работы лежат следующие компоненты доступа к базам данных:

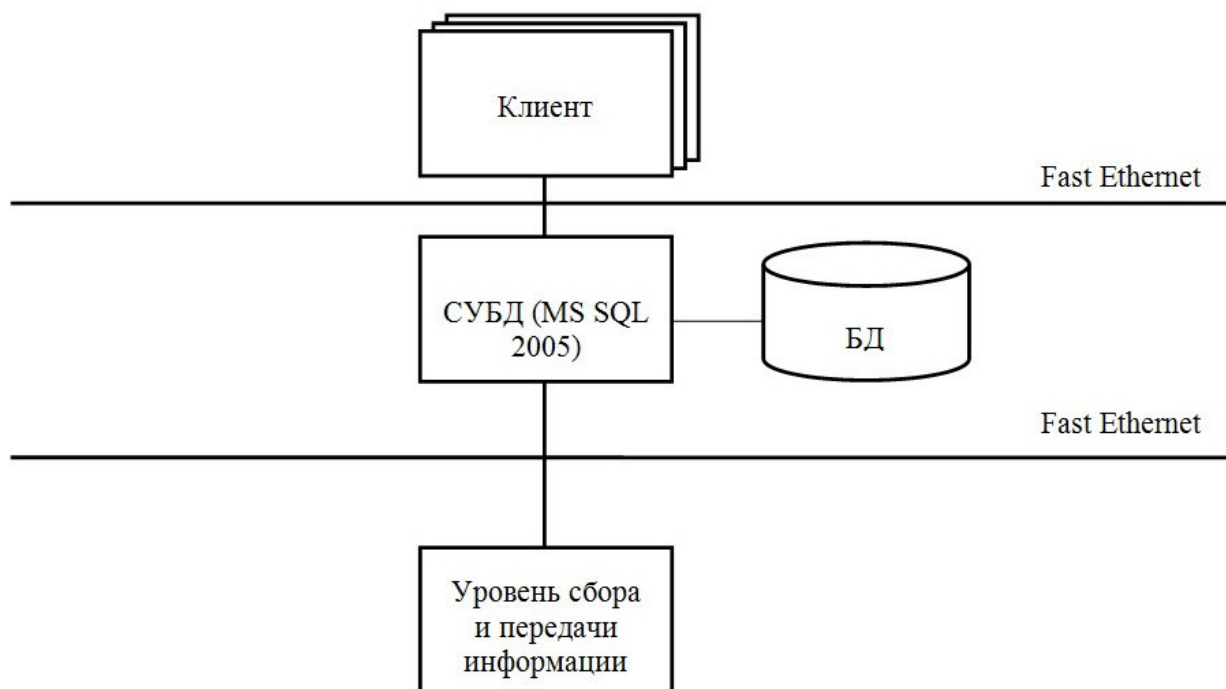


Рис. 2. Схема архитектуры подсистемы

1) Borland Database Engine — для доступа к базе данных Daisy 8.5, представленной в виде таблиц.dbf;

2) ActiveX Data Objects — для доступа к СУБД.

Для реализации уровня управления данными используется система управления реляционными базами данных Microsoft SQL Server 2005.

Для реализации уровня клиента, используется приложение, позволяющее производить анализ собранных данных и визуализацию его результатов. Приложение производит статистическую выборку по результатам испытаний заданной резиновой смеси, за определенный период времени. После этого происходит построение карт Шухарта, по каждому технологическому параметру. Программное обеспечение в автоматическом режиме проводит проверку полученных результатов на соответствие 8 основным критериям. Если происходит совпадение хотя бы по одному из них, программа выводит предупреждения о возможности проявления особых (неслучайных) причин и выделяет выявленные проблемные точки маркерами.

Приложение клиента разработано с помощью среды программирования Delphi 7.

Также, для оперативного анализа параметров резиновой смеси, используется вывод результатов проведенных испытаний образцов резиновой смеси, за определенный промежуток времени, в виде таблицы, показывающей соответствует ли образец смеси, испытанный в конкретный временной промежуток, нормативным значениям и выводящий величину отклонения.

Схема архитектуры подсистемы приведена на рисунке 2.

#### Пример использования статистических методов для анализа параметров

В качестве примера использования статистических методов рассмотрим построение карт Шухарта для параметра «Удельный вес» некоторой резиновой смеси. Эталонным значением для нее является 1.062 г/см<sup>3</sup>, верхней техноло-

Таблица 1. Пример отчета «Статистический анализ смеси»

№ подгруппы	Дата	Удельный вес					Хсред	Размах R
		X1	X2	X3	X4	X5		
1	10.02.2013	1.070	1.074	1.079	1.050	1.055	1,065	0,029
2	11.02.2013	1.087	1.079	1.089	1.090	1.083	1,086	0,014
3	12.02.2013	1.067	1.068	1.054	1.047	1.054	1,058	0,021
4	13.02.2013	1.075	1.072	1.065	1.067	1.070	1,070	0,01
5	14.02.2013	1.071	1.065	1.073	1.072	1.072	1,071	0,008

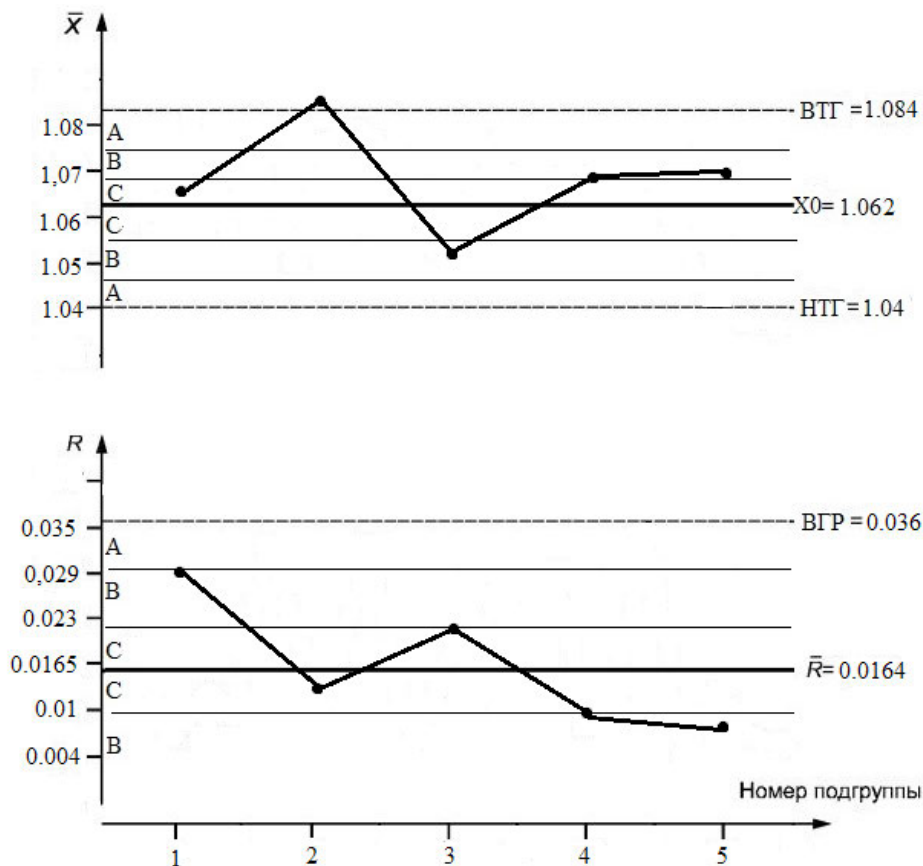


Рис. 3. Результаты построения карт Шухарта

гической границей 1.084 г/см<sup>3</sup>, нижней технологической границей 1.040 г/см<sup>3</sup>. Результаты измерений, средние значения и размах подгрупп приведены в таблице 1.

Результаты построения карт Шухарта по данным параметрам приведены на рисунке 3.

По данным графикам отчетливо видно, что 11 февраля 2013 года среднее значение параметра «Удельный вес» превысил верхнюю технологическую границу и процесс возможно статистически неуправляем, что может привести к производству брака. Для предотвращения этого необходимо выявить причину возникновения превышения значения параметра. Причиной могут быть некачественное сырье, нарушение процесса производства, ошибка оператора производственной линии и т.д. После определения причины необходимо провести мероприятия по предотвращению повторного возникновения данной ситуации.

Полученное в результате расчета значение потенциальной пригодности процесса равно 0.524 свидетельствует о том, что процесс потенциально непригоден. Это значит, что есть необходимость проверить, а возможно и переработать технологическую карту процесса.

### Результаты и перспективы использования

Внедрение подсистемы анализа и визуализации в составе автоматизированной системы контроля технологических параметров позволяет оценивать соответствие технологических параметров производства резиновых смесей нормативам, оценивать динамику изменения величин параметров, делать выводы о потенциальной пригодности и статистической управляемости процесса производства смеси. Всё это приводит к снижению производства брака, за счет оперативного слежения за процессом изготовления резиновых смесей и предупреждения появления брака на основе полученных статистических данных.

Визуализация и предварительная анализ данных о технологических параметрах производства позволяют снизить нагрузку на сотрудников отдела контроля сырья и материалов, за счет автоматического анализа технологических параметров.

Разработанная подсистема предназначена для использования в лаборатории, обеспечивающей контроль процесса производства шин, на ОАО «Волтайр-Пром».

### Литература:

1. <http://www.viscometer.ru/?cnt=catalog&item=32> — обзор программного обеспечения для приборов химического анализа.

2. <http://v8.1c.ru/overview/> – Обзор системы «1СПредприятие 8.0»
3. Ицкович Э.Л. Методы рациональной автоматизации производства., 2008 г., 240 стр.
4. Окрепилов В.В. Управление качеством. СПб.: Наука, 2000. – 911 с.

## Проектирование распределённой системы инфокоммуникационных услуг детских реабилитационных учреждений

Лучникова Екатерина Владимировна, магистрант;  
Чекал Елена Георгиевна, кандидат технических наук, доцент  
Ульяновский государственный университет

Проектирование распределённой системы инфокоммуникационных услуг детских реабилитационных учреждений Ульяновской области (далее РС ИУ) актуально как с технической точки зрения (автоматизация процесса накопления и обмена информацией), так и с точки зрения социальной (создание дополнительных условий для повышения качества жизни ребёнка-инвалида) [1].

На основе проведённого моделирования [2] были определены функции системы, основные процессы в системе и требования, предъявляемые к системе. Разработанное с учётом полноты охвата функций, равномерности структуризации, учёта гипотезы Миллера, фрактальности, и охватывающее основные виды деятельности реабилитационного центра – дерево целей-функций РС ИУ представляет

собой достаточно полную и непротиворечивую иерархию целей, что позволяет повысить качество проектируемой системы и её подсистем. Структурно РС ИУ состоит из 9 подсистем, взаимодействие которых отражено на рис. 1:

1. Подсистема «Кабинет сотрудника».
2. Подсистема «Электронная реабилитационная карта».
3. Подсистема «Личный кабинет семьи».
4. Подсистема «Электронная очередь».
5. Подсистема создания документов и отчётов.
6. Информационно-справочная подсистема.
7. Поисково-аналитическая подсистема.
8. Подсистема «Мероприятие».
9. Подсистема защиты информации.

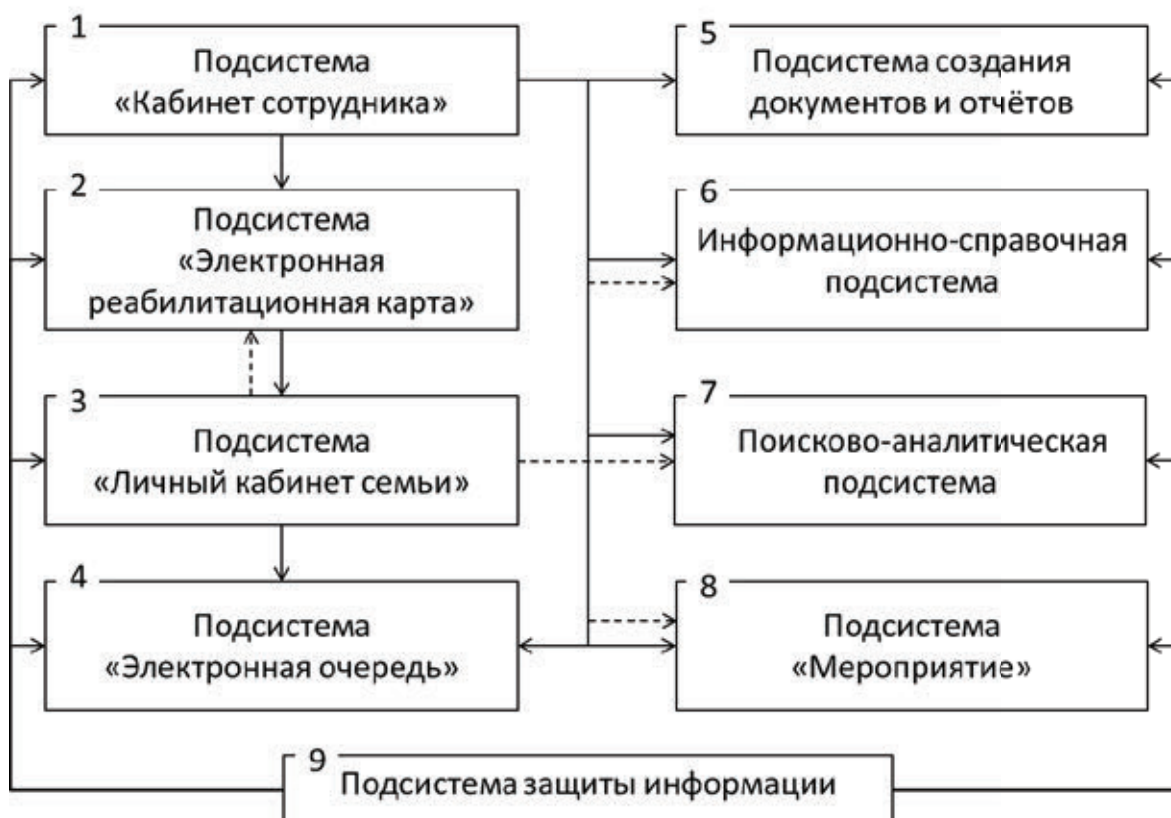


Рис. 1. Взаимодействие подсистем РС ИУ

Подсистема «Электронная реабилитационная карта» (реализуется 11 таблицами базы данных), обеспечивает ввод и обработку более 100 параметров. Предназначена для работы в РС ИУ с основным документом реабилитационного центра — реабилитационной картой ребёнка-инвалида, содержит информацию о соц. паспорте ребёнка, о членах его семьи, о месте проживания, о назначенных услугах и программах, о результатах реабилитационных мероприятий.

Подсистема «Личный кабинет семьи» предоставляет выборки из базы данных о процессе реабилитации данной семьи. Поддерживается интерактивное взаимодействие с другими подсистемами РС ИУ: подтверждение участия в реабилитационных мероприятиях, запрос на изменение времени и другие. Авторизация пользователей основывается на уникальных идентификаторе и пароле пользователя.

Подсистема «Электронная очередь» предназначена для записи не зарегистрированных в РС ИУ пользователей на первичный учёт в реабилитационный центр, а также зарегистрированных пользователей на повторную плановую реабилитацию. Проектируется возможность контроля и учёта по средствам подсистемы «Кабинет сотрудника».

Подсистема создания документов и отчётов проектируется для формирования отчётов (промежуточных, квартальных и годовых, итоговых по программам реабилитации, отдельно по специалистам и другие) РС ИУ согласно утверждённым в соответствующем учреждении формам отчётности.

Информационно-справочная подсистема проектируется для ввода и отображения справочной информации во всех подсистемах РС ИУ. В том числе на основе подробного описания услуг (которое автоматически выводится в форматированном виде в поле назначений в соответствующем разделе), инструкций семье (о том, как правильно подготовиться к некоторым процедурам, как продолжить занятия в домашних условиях) формируются методические пособия.

Поисково-аналитическая подсистема проектируется для создания автоматизированного поиска информации в РС ИУ, представления результатов поиска в удобной для пользователя форме. Позволит обрабатывать, накопленной в РС ИУ информацию, с помощью инструментов для оценки эффективности оказания услуг частично-автоматизировано аналитически обрабатывать информацию.

Подсистема «Мероприятие» проектируется для описания новых единовременных не стандартизированных услуг реабилитационных центров, которые могут назначаться в процессе реабилитации одновременно многим семьям с инвалидностью, а также иметь открытую регистрацию участия в них.

Подсистема защиты информации обеспечивает резервное копирование данных, логирование, восстановление после сбоев, шифрование, учёт действий в РС ИУ.

В ходе данного исследования рассматривался вопрос защищённого доступа семей к информации, содержащейся в РС ИУ, с сохранением функциональной возможности РС ИУ в части интерактивности взаимодействия. Для исследования нагрузок на РС ИУ следует учитывать процесс обращения к системе сотрудников специализированных учреждений, семей-клиентов, других пользователей сети Интернет. Такие процессы имеют сложную структуру и носят случайный характер, поэтому для необходимых расчётов проектирования сетей доступа целесообразно применение имитационного моделирования.

Для исследования частного вопроса была построена имитационная модель «Клиентское оборудование локальной сети доступа к РС ИУ на базе реабилитационного центра», которая учитывала следующие параметры:

- интенсивность входящего потока (количество семей, желающих воспользоваться услугами РС ИУ в час, количество заявок, которые могут прийти в один момент времени);
- количество необходимых ресурсов РЦ (количество рабочих станций с выходом в локальную сеть, количество одновременно подключаемого оборудования к сети Wi-Fi, количество сотрудников информационно-справочной службы РС ИУ);
- вместимость очереди к каждому виду ресурсов соответственно;
- время обслуживания семьи, время ожидания в очереди;

По результатам имитационного моделирования разработаны рекомендации (с учётом нагрузки на сеть) по созданию локальных сетей доступа к РС ИУ.

Прогнозируемая оценка показателей эффективности РС ИУ рассматривалась по 3 критериям: *время, количество и качество*.

Отсутствие системности и возможности планировать семье получения услуг, снижает эффективность реабилитационных мероприятий. Поэтому факт, получения более полной информации о реабилитации (кроме заключительной выписки, клиент получает промежуточные результаты и отчёты, сформированные РС ИУ) можно отнести к показателю эффективности по критерию «качество».

РС ИУ позволит сократить время первичного приёма клиента на реабилитацию с 2х часов до 30 минут за счёт введения электронных реабилитационных карт и возможности клиентом оставлять заявку на оформление ЭРК на портале. Позволит сократить время разработки индивидуальной программы реабилитации с 2х недель до 3 дней за счёт формирования РС ИУ расписания назначения услуг по датам, сократить время получения информации: заключения, промежуточные результаты, информации о регламенте оказания услуг (расписание назначений, расписание обедов, расписание «детского транспортного маршрута»).

По количественному критерию можно выделить такие, как доступность новых форм получения информации, уве-



личение объёма информационной составляющей услуги реабилитации.

Ценность системы состоит в том что, она позволит рационально распределять финансовые средства, выделяемые на комплексную индивидуальную реабилитацию, обеспечивать преемственность и непрерывность

реабилитационного процесса в системе учреждений разных ведомств, сократить трудоёмкость по определению эффективности реабилитационных мероприятий по единым параметрам всеми участниками реабилитационного процесса (в соответствии с ФЗ № 181 от 11 июля 2011 г.).

Литература:

1. Лучникова Е.В., Чекал Е.Г., «Интеграция единого реестра инфокоммуникационных услуг для детей инвалидов в общую сеть ведомств РФ», сборник материалов 8-й международной научно-практической конференции «Глобальная научная интеграция», Тамбов, издательство ТМБпринт, 2012. – 80 с.
2. Лучникова Е.В., Чекал Е.Г., «Моделирование централизованной системы единого реестра инфокоммуникационных услуг» Ученые записки Ульяновского государственного университета. Сер. Математика и информационные технологии. Вып. 1 (4) /под ред. проф. Смагина А.А. – Ульяновск: УлГУ, 2012. – 286 с.

## Тенденции внедрения информационных систем в дистанционное обучение

Маховиков Сергей Анатольевич, студент;

Домнина Елена Геннадьевна, старший преподаватель

Юргинский технологический институт Томского политехнического университета

Последнее десятилетие характеризуется бурным ростом дистанционных образовательных услуг. В условиях информатизации образования использование дистанционной формы обучения является неотъемлемым элементом современной педагогической системы. И это не с проста, ведь выгоды сетевого обучения ясны как для образовательного учреждения, так и для студентов. Это – аудиторная и платформенная независимости. Сетевое обучающее программное обеспечение, один раз установленное и обслуживаемое в одном месте, может использоваться в любое время и по всему миру тысячами учащихся, имеющих компьютер, подключенный к Интернету. За последние годы в сети стали доступны тысячи программ сетевого обучения и других образовательных приложений.

Качество профессиональной деятельности напрямую зависит как от информационно-методического обеспечения педагогического процесса, так и от его профессиональной подготовки [1]. Наличие аппаратно-программных и, информационных средств и систем является лишь необходимым условием реализации образовательного процесса.

Характеристиками деятельности в системе дистанционного обучения являются особенности дистанционной формы обучения, принципы и условия ее реализации.

Главная задача информационных ресурсов в рамках системы дистанционного обучения состоит в приеме информационных потоков от клиентских ПЭВМ (пользователей), их обработка и генерация ответных информационных потоков.

На информационном ресурсе такой системы размеща-

ются [2]:

- серверная операционная система;
- программное обеспечение системы дистанционного обучения;
- базы данных с тестовыми заданиями, списком пользователей и их правами доступа;
- протоколы взаимодействия клиентских ПЭВМ с информационным ресурсом (время начала и окончания сеанса, его содержание);
- библиотека методических материалов.

На сегодняшний день имеют широкое применение автоматизированные обучающие системы (АОС) [3].

АОС – это функционально связанным набор подсистем учебно-методического, информационного, математического и инженерно-технического обеспечения на базе средств вычислительной техники, предназначенный для оптимизации процесса обучения в различных формах.

С точки зрения процесса обучения, АОС состоит из двух основных частей (рис. 1):

- подсистемы собственно обучения, предназначенной для предоставления методических материалов в соответствии с выбранной системой сценарием обучения;
- подсистемы проверки знаний, предназначенной для тестирования знаний, полученных обучаемыми на этапе обучения.

Модули, представленные на рис 1. являются основными и присутствуют в любой АОС. Однако в зависимости от специфики задачи АОС может включать и другие модули.

Рассмотрим функции основных модулей, составляющих подсистемы АОС.



Рис. 1. Составные части автоматизированной обучающей системы

*Интерфейс пользователя* присутствует в обеих подсистемах и в некоторых случаях может выполняться в виде единого модуля. Задачей данного модуля является выдача и сбор информации от пользователей, передача полученных данных в другие модули.

Каждая подсистема включает базу сценариев, определяющую следующие параметры сеанса обучения или тестирования:

- продолжительность;
- этапы, из которых будет состоять сеанс, и их последовательность;
- условия окончания.

В базе *методических* материалов подсистемы обучения хранятся методические пособия, игровые обучающие программы, электронные презентации по дисциплинам, для обучения которым предназначена данная АОС.

В случае большого количества методических материалов в базе необходимо их упорядочить. Для решения этой задачи используется *система поиска в базе методических материалов*.

Основу подсистемы проверки знаний составляет база *вопросов*, заполняемая преподавателем. В процессе тестирования вопросы выдаются обучаемому в порядке, определяемом сценарием проверки знаний.

Благодаря развитию новых возможностей для информационной деятельности в педагогической среде и появлению новых видов коммуникаций появляются позитивные тенденции для развития систем дистанционного

обучения на базе информационных сетевых взаимодействий, это:

- простота и комфортность осуществления информационного взаимодействия на расстоянии;
- возможность быстрого получения ответа, реакции участников образовательного процесса;
- возможность найти интересующие курсы;
- возможность игнорирования имеющихся психологических барьеров;
- возможности документирования текстовых сообщений как источников информации так и продуктов учебной деятельности;
- заинтересованность специалистов сферы образования в разработке методологии замещения реальной педагогической коммуникации и формы обучения на дистанционную форму, реализуемую в информационных компьютерных сетях.

### Заключение

Повышение ценности образования в обществе и развитие вычислительной техники информационных технологий определили широкое распространение автоматизированных обучающих систем. Они позволяют соединить преимущества индивидуального обучения с достоинствами представления информации с помощью компьютерных систем, таких как: наглядность, использование графических возможностей мультимедиа, динамичность и т.п.

Литература:

1. Касьянов В.Н., Касьянова Е.В. Дистанционное обучение: методы и средства адаптивной гипермедиа II Программные средства и математические основы информатики. — Новосибирск: ИСИ СО РАН, 2004. — С. 80—141.
2. Пруцков А.В. Информационно-справочный ресурс по словообразованию естественных языков // Информационные ресурсы России. — 2004. — № 6. С. 22—24.
3. Агапов С.В. Средства дистанционного обучения. Методика, технология, инструментарий, — СПб.:БХВ — Петербург, 2003—336 с.

## **Модификация подсистемы контроля знаний LMS Moodle для оценки результатов тестирования с учетом динамики процесса формирования пользователем ответов на тестовые задания**

Рыбанов Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент;

Виноградов Павел Михайлович, студент

Волжский политехнический институт (филиал) Волгоградского государственного технического университета

В настоящее время в системах дистанционного образования во время тестирования знаний при оценке степени соответствия ответа на тестовое задание эталонному ответу во внимание принимается конечный ответ пользователя и не учитывается динамика процесса его формирования. В свою очередь, по динамике процесса формирования пользователем конечного ответа можно судить о выборе правильного ответа наугад, сомнениях в правильности своего знания или использовании подсказок и др. [1—4].

Целью работы является повышение эффективности процесса обработки результатов тестирования знаний пользователей систем дистанционного обучения

Программная реализация подсистемы контроля знаний для оценки результатов тестирования с учетом динамики процесса формирования пользователем ответов на тестовые задания [5] выполнена на базе системы дистанционного обучения Moodle [7].

Система дистанционного обучения Moodle используется во многих вузах, но, несмотря на свою популярность, она имеет следующий недостаток: реализованный в системе Moodle метод оценивания тестовых заданий не учитывает всех действий пользователя при формировании итогового ответа [6]. В системе Moodle итоговая оценка пользователя включает только сравнение конечного ответа с эталонным. В качестве метрики, характеризующей динамику процесса формирования ответа, можно использовать критерий общей эффективности процесса формирования конечного ответа пользователем [8].

Основными функциями разрабатываемой подсистемы для LMS Moodle являются: запись траектории процесса формирования пользователем конечного ответа на тестовое задание, учёт динамики процесса формирования пользователем ответа при расчёте оценки за выполненное

тестовое задание. Разрабатываемая подсистема так же предназначена для генерации отчётов следующего вида: отчёт о результатах прохождения тестирования группой пользователей, отчёт по сеансу тестирования отдельно выбранным пользователем, отчёт по динамике выполнения пользователем тестового задания, а также статистика изменения ответов.

Чтобы обеспечить возможность записи траектории формирования пользователем конечного ответа, база данных системы Moodle была расширена таблицами в соответствии со схемой, представленной на рис. 1.

Разрабатываемая подсистема тестирования состоит из следующих модулей:

- модуль ведения тестирования;
- модуль визуализации тестовых заданий;
- модуль формирования траектории;
- модуль построения графиков;
- модуль анализа траектории и расчёта оценки;
- модуль генерации отчета.

*Модуль ведения тестирования* предназначен для обеспечения процесса тестирования пользователя в порядке следования тестовых заданий. Модуль ведения тестирования обеспечивает выполнение следующих функций:

- поиск активной или создание новой сессии;
- определение активного тестового задания;
- вызов модуля расчёта оценки для завершённого тестового задания в случае его наличия;
- определение следующего тестового задания в случае отсутствия активного;
- вывод страницы тестирования, визуализация тестового задания.

*Модуль формирования траектории* предназначен для записи траектории процесса формирования поль-

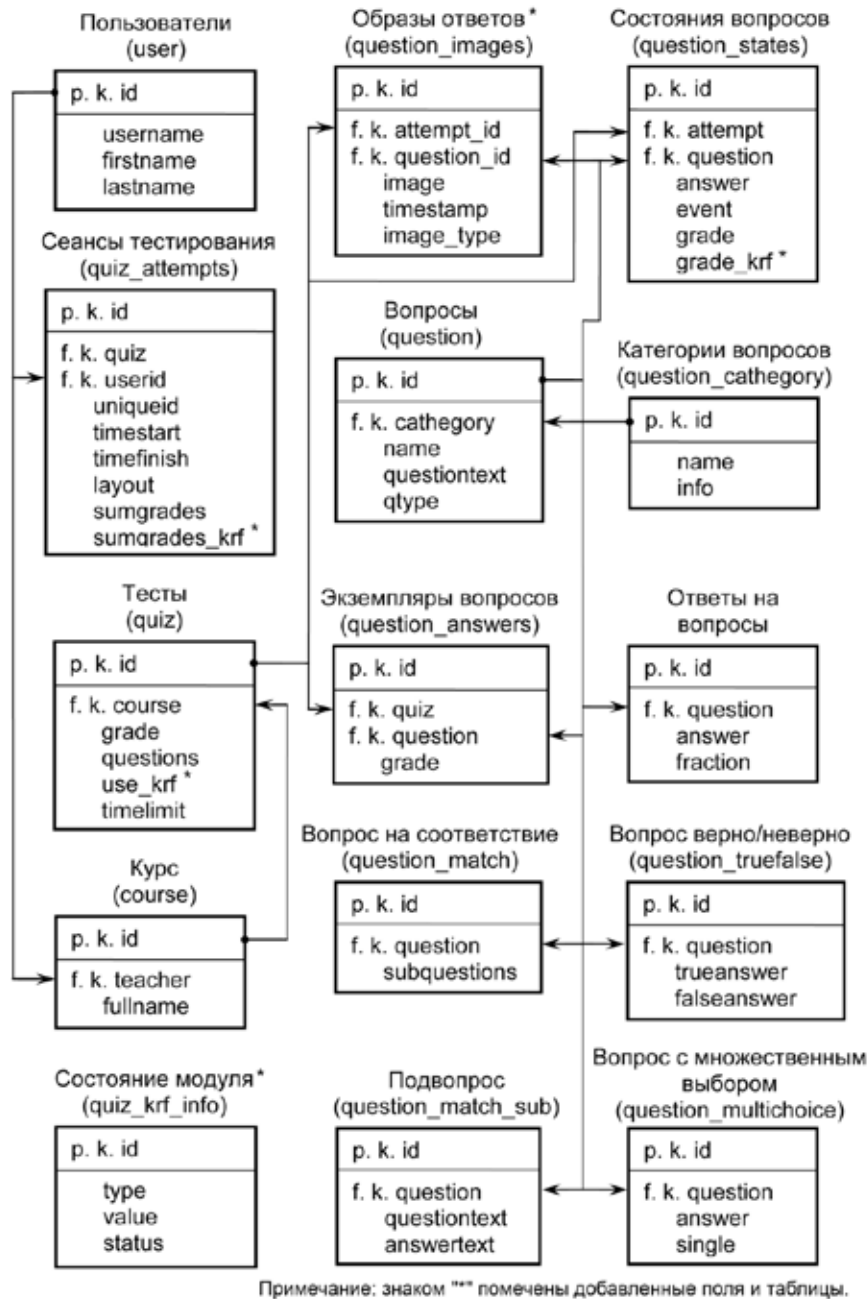


Рис. 1. Расширение схемы базы данных системы Moodle

зователем конечного ответа на тестовые задания в базу данных. Модуль обеспечивает выполнение следующих функций:

- подготовка образа ответа: разбор данных, поступивших с формы тестового задания при ее изменении и формирование образа;
- запись образа ответа в базу данных с соответствующей временной меткой.

*Модуль визуализации тестовых заданий* предназначен для визуализации тестовых заданий, формирования html-кода формы тестового задания, позволяющей регистрировать траекторию процесса формирования ответа пользователем на тестовое задание. Модуль обеспечивает выполнение следующих функций:

- выбор параметров тестового задания;
- определение выбранных ответов;
- генерация формы тестового задания в соответствии с типом тестового задания.

*Модуль анализа траектории и расчёта оценки* предназначен для анализа траектории процесса формирования пользователем ответа, расчёта динамики процесса формирования пользователем ответа и расчёт оценки за тестовое задание. Модуль обеспечивает выполнение следующих функций:

- выборка образов ответов из базы данных;
- выборка параметров тестового задания из базы данных: тип задания, варианты ответов, веса ответов;
- расчёт динамических параметров (веса вы-

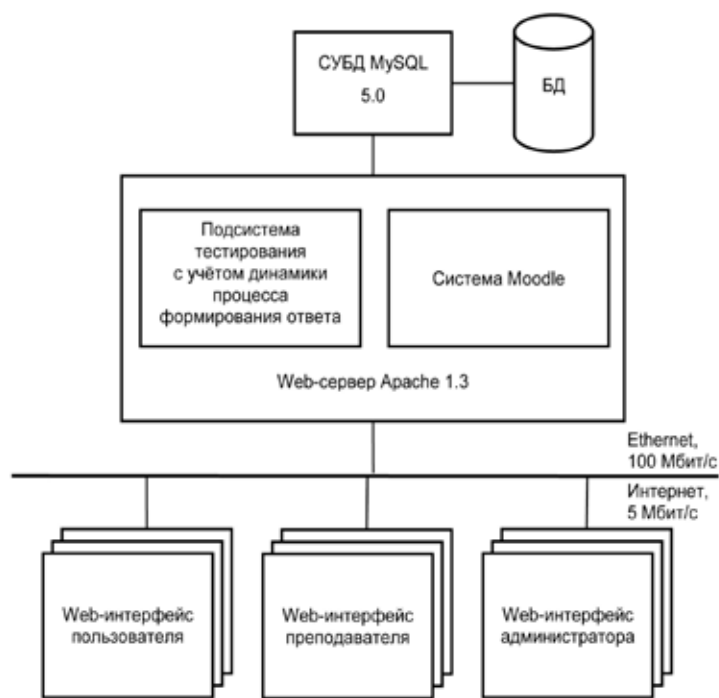


Рис. 2. Схема архитектуры системы Moodle

бренных правильных и неправильных вариантов ответов, количество изменения ответа) с учетом типа тестового задания;

- расчёт критериев потери времени и эффективности;
- расчёт итоговой оценки за тестовое задание;
- масштабирование оценки в соответствии с максимальным баллом за тестовое задание.

*Модуль построения графиков предназначен* для генерации графиков различных типов по массиву исходных данных. Модуль обеспечивает выполнение следующих функций: масштабирование значений; построение логарифмических графиков; построение ступенчатых графиков.

*Модуль генерации отчетов предназначен* для генерации отчетов по результатам прохождения тестирования как группой пользователей, так и подробного отчета о процессе прохождения теста отдельным выбранным пользователем. Модуль обеспечивает выполнение следующих функций:

- генерация отчёта по тесту, включающего в себя все сеансы тестирования пользователей по данному тесту,

оценки за тест с учётом и без учёта динамики процесса формирования ответа;

- вывод статистики изменения ответов, включающей в себя статистику частоты изменения ответов по каждому типу тестового задания;
- генерация отчёта по определённому сеансу тестирования;
- генерация отчёта по динамике выполнения тестового задания пользователем, содержащего графики динамики процесса формирования ответа на каждый из вопросов теста.

Разрабатываемая подсистема вместе с системой LMS Moodle, представляет собой трёхуровневую архитектуру клиент-сервер, представленную следующими уровнями: клиент, сервер приложений, система управления базами данных.

Разработанная подсистема контроля знаний для системы Moodle может быть использована в образовательном процессе для повышения качества оценивания знаний обучающихся.

#### Литература:

1. Рыбанов А.А. Количественные оценки эффективности процесса формирования ответов на тестовые задания при дистанционном тестировании знаний // *Качество. Инновации. Образование*. 2006. № 5. С. 44–52.
2. Рыбанов А.А. Моделирование динамики процесса оценивания ответов для тестовых заданий на установление соответствия при дистанционном тестировании знаний // *Качество. Инновации. Образование*. 2008. № 1. С. 2–9.
3. Рыбанов А.А. Моделирование динамики процесса формирования ответов на тестовые задания закрытой формы при дистанционном тестировании знаний // *Открытое образование*. 2006. № 6. С. 43–50.
4. Рыбанов А.А. Моделирование процесса формирования ответов на задания с выбором нескольких правильных ответов // *Педагогические измерения*. 2012. № 3. С. 49–59.



5. Рыбанов А.А., Виноградов П.М. Программный модуль моделирования динамики процесса формирования ответов на тестовые задания при проведении on-line тестирования [программа]: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012616254. — Зарегистрирована в Реестре программ для ЭВМ 09.07.12.
6. Рыбанов А.А., Виноградов П.М. Расширение системы Moodle возможностью учёта процесса формирования пользователем ответа на текстовое задание при оценке результата его учебной деятельности // Сб. тез. науч.-практ. конф. мол. учёных по направл.: Химия — наука будущего. Инновации в энергосбережении и энергоэффективности. Информ. технологии — локомотив инновац. развития: в рамках молодёж. конгресса «Интеграция инноваций: регион. аспекты», 19–21 апр. 2012 г. / ВПИ (филиал) ВолгГТУ [и др.]. — Волгоград, 2012. — С. 72–74
7. Moore J., Churchward M. Moodle 1.9 Extension Development. Packt Publishing, 2010.
8. Rybanov A.A. Set of criteria for efficiency of the process forming the answers to multiple-choice test items // Turkish Online Journal of Distance Education. — 2013. — Vol. 14, No. 1. — С. 75–84.

## Применение информационных технологий для реализации методики анализа эколого-экономической эффективности природоохранной деятельности

Сарапулова Татьяна Викторовна, аспирант;

Тайлакова Анна Александровна, аспирант;

Трофимов Иван Евгеньевич, магистрант

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

*Обоснована целесообразность использования современных информационных технологий для реализации методики оценки экологических проблем. Определены требования к разрабатываемому программному продукту, описаны современные веб-технологии для реализации программного продукта.*

**Ключевые слова:** региональные экологические проблемы, система регионального экологического мониторинга, веб-технологии.

В условиях теоретической неясности научное прогнозирование политики в сфере взаимодействия общества и окружающей среды (экологической политики) существенно усложняется и задача исследователей скорее сводится к тому, чтобы по возможности точно и адекватно оценивать текущую (реальную) практику в сфере природоохранной деятельности и природопользования. Решение данной проблемы может быть связано с построением системы экологического мониторинга, наличие которой позволит, с одной стороны дать обобщающие характеристики и проанализировать тенденции (в том числе и долгосрочные) в данной сфере деятельности, а с другой стороны, отработать методику её исследования.

Современное общество осознает необратимый и катастрофический характер экологической ситуации и пытается реализовать определенные мероприятия для предотвращения негативных последствий потребительского отношения к природе. При этом, чаще всего, решение экологических противоречий остается либо на уровне деклараций, либо разрешается в «режиме ручного управления» волей крупных руководителей или политических лидеров. В связи с тем, что такого рода действия явно недостаточны для решения глобальных противоречий, требуются многоуровневые, системные исследования, основанные на общемировых разра-

ботках и ориентированные на особенности конкретного региона.

Кузбасс является динамично развивающимся регионом, но традиционно на его территории существовала сложная экологическая ситуация. В последние годы региональные власти много внимания уделяют экологической безопасности, но все же, меры по решению экологических противоречий требуют более глубокой систематической концептуальной проработки. Очевидно, что решение экосоциальных проблем может быть реализовано интегрированием различных областей исследований: естественно-научной, технологической, математической, социально-политической и др.

Экологическая оценка территории проводится с целью идентификации и ранжирования основных экологических проблем, характерных для исследуемой территории. Важным представляется выбор критериев (основных признаков), используемых для оценки экологических проблем. Оценка остроты экологической ситуации осуществляется по определенным показателям, последовательным путем, исходя из схемы взаимодействия общества и природы. Коллективом авторов (Митченков И.Г., Баумгартэн М.И., Михайлов В.Г.) предложена методика анализа эколого-экономической эффективности природоохранной деятельности [1].

Предложенная методика является условием и началом разработки комплексной системы регионального экологического мониторинга (КСЭМ). Реализация КСЭМ позволит определить основные принципы инновационной экологической политики и механизмы ее реализации в Кемеровской области.

Сложность расчетов, большой объем справочной информации указывают на целесообразность применения средств автоматизации. В свою очередь отсутствие доступных специализированных программ вызывает необходимость разработки собственного приложения, учитывающего специфику поставленной задачи.

В процессе разработки программного продукта необходимо решить следующие задачи:

1) Разработать интерфейс программы, позволяющий осуществлять диалог с пользователем и удобный ввод исходных данных.

2) Реализовать оценку эколого-экономических взаимодействий на основе разработанной модели, которая включает:

- оценку зависимости выбросов в атмосферу от экономических факторов;
- оценку зависимости отходов производства и потребления от экономических факторов;
- оценку зависимости объема сброса сточных вод, имеющих загрязняющие вещества, от экономических факторов;
- оценку зависимости здоровья населения региона от экологических факторов.

3) Организовать вывод результатов вычислений на экран в виде таблиц.

4) Организовать экспорт результатов расчетов в среду MS Excel.

5) Визуализировать результаты вычислений в виде графиков.

6) Организовать хранение результатов вычислений в базе данных.

В качестве технологии разработки программного комплекса предлагается выбрать веб-технологии.

Важное значение в динамичном развитии информационных технологий имеют веб-приложения. Сегодня приложения этого вида стали такими же сложными программными продуктами, как и обычные десктоп-приложения [2].

Веб-приложения — это программы, предназначенные для автоматизированного выполнения каких-либо задач на веб-серверах и использующие в качестве программы клиента интернет — браузеры. Данные хранятся на сервере, а обмен информации между сервером и клиентом происходит по сети.

Преимущества веб-приложений:

1. Веб-приложения не требуют установки на компьютер заказчика объемного программного обеспечения. Для полноценной работы нужен только браузер и доступ в интернет.

2. Веб-разработки не требуют специальной настройки

и администрирования, их администраторами являются разработчики.

3. Для работы веб-приложений требуется минимальная аппаратная платформа.

4. Обновление веб-приложений происходит автоматически.

5. Веб-приложения обеспечивают высокую мобильность при условии доступа в интернет [3].

Существуют инструменты для создания таких приложений, шаблоны проектирования, освоенные технологии.

Представление передаваемой по сети информации в виде контента осуществляется средствами языка гипертекстовой разметки HTML и технологии каскадных таблиц стилей CSS. Новый стандарт HTML5 и анимация CSS3 позволяют делать приложение динамическим, реагирующим на действия пользователя. HTML5, появившийся не так давно, представляет веб-разработчикам отличные инструменты для интересного отображения как текстовой, так и графической информации. Однако, он еще не настолько распространен и поддерживается даже самыми современными браузерами не полностью. Для создания интерактивных веб-страниц часто применяют язык программирования JavaScript, который дает возможность значительно снизить нагрузку на веб-сервер за счёт того, что основные сценарии для работы со страницей будут выполняться на стороне пользователя. Такие скрипты применяют для создания динамических страниц, для написания программ, например, легкой браузерной игры или калькулятора. Большинство сервисов и сайтов применяют JavaScript для определения браузера, операционной системы и так далее, для того, чтобы более корректно отобразить страницу на конкретном устройстве. Особенно это актуально для обозревателя Internet Explorer, который иначе интерпретирует стандарты HTML и CSS [4].

Существует большое количество подключаемых библиотек JavaScript. Популярная библиотека jQuery фокусируется на взаимодействии JavaScript, HTML и CSS. Она позволяет обращаться к любому элементу DOM (объектной модели документа) и манипулировать им; работать с событиями; легко осуществлять различные визуальные эффекты; работать с AJAX (технология, позволяющая общаться с сервером без перезагрузки страницы); имеет огромное количество JavaScript плагинов, предназначенных для создания элементов пользовательских интерфейсов [5].

Для разработки сценариев, выполняемых на стороне сервера можно использовать широко используемый язык сценариев общего назначения с открытым исходным кодом PHP. PHP позволяет создавать качественные веб-приложения за очень короткие сроки, получая продукты, легко модифицируемые и поддерживаемые в будущем [6].

Решением проблемы хранения данных являются реляционные системы управления базами данных. MySQL — компактный многопоточный сервер баз данных. MySQL характеризуется большой скоростью, устойчивостью и

легкостью в использовании. MySQL поддерживает язык запросов SQL в стандарте ANSI 92, и кроме этого имеет множество расширений к этому стандарту, которых нет ни в одной другой СУБД.

Использование реляционной базы данных для хранения объектно-ориентированных данных приводит к семантическому провалу, заставляя программистов писать программное обеспечение, которое должно обрабатывать данные в объектно-ориентированном виде и уметь сохранить эти данные в реляционной форме. Для решения этой задачи применяют технологию ORM. ORM — технология программирования, которая связывает базы данных с концепциями объектно-ориентированных языков программирования, создавая «виртуальную объектную базу данных» [7].

Для формирования отчетов MS Excel можно воспользоваться библиотекой PHPExcel. Она содержит огромный функционал для работы с форматами xls,xlsx, позволяет считывать данные из файла Excel, создавать и записывать

файлы в формате xls, xlsx, pdf, менять форматирование, задавать формулы, а также работать с изображениями [8].

Таим образом, для организации хранения данных рекомендуется использовать СУБД MySQL. Для реализации серверной части приложения (модели и контроллеры) язык программирования PHP и библиотеку PHPExcel. Для реализации интерфейса (вид) технологии HTML, CSS, JavaScript, библиотеки jQuery, Envision.

Данный программный продукт позволит автоматизировать расчеты, предусмотренные разработанной моделью [1] по анализу эколого-экономической эффективности природоохранной деятельности, легко и быстро обрабатывать большие массивы данных, хранить результаты расчетов и предоставлять отчеты в удобном для пользователя виде.

Использование веб-технологий обеспечит мобильность приложения, а также возможность удаленной работы с данными одновременно нескольким пользователям.

#### Литература:

1. Митченков И.Г. Использование веб-технологий для реализации методики оценивания экологических проблем / И.Г. Митченков, М.И. Баумгартэн, В.Г. Михайлов, А.А. Тайлакова, Т.В. Сарапулова // Вестник Кузбасского гос. тех. унив., 2013. № 4.
2. Материалы сайта «Web-Dev. Заметки web-мастера» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://lamp-dev.ru/web-dev/desktop-vs-web-applications/>, свободный.
3. Материалы сайта «QSCO. Информационные системы для вашего бизнеса» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.q-sco.ru/oblasti-ekspertitzi/napravlenija/web-prilozhenija.html>, свободный.
4. Материалы сайта «MyBlaze.ru. Портал о высоких технологиях и Интернете» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://myblaze.ru/porassuzhdaem-zachem-nuzhen-javascript-plyusyi-i-minusyi/>, свободный.
5. Материалы сайта «Site-do.ru» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.site-do.ru/js/jquery1.php>, свободный.
6. Материалы сайта «Php.su. Все о PHP» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.php.su/php/?php>, свободный.
7. Материалы сайта «Mysql.ru» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.mysql.ru/docs/tkachenko/>, свободный.
8. Материалы сайта «ZView.ru — журнал для профессионалов веб-разработки: программистов, дизайнеров, специалистов по юзабилити» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.zview.ru/news/102>, свободный.

## Обобщенный анализ методов проектирования и разработки автоматизированного составления расписания образовательных учреждений

Свиридова Ольга Викторовна, кандидат технических наук, доцент;

Михайлов Андрей Владимирович, студент

Волжский политехнический институт (филиал) Волгоградского государственного технического университета

*В современном мире все чаще возникает проблема разработки программных средств автоматизированного расписания. Для решения этой задачи были проанализированы существующие методы составления расписания с возможностью полной автоматизации большого объема исходной информации и большого числа трудноформализуемых требований, с целью выявления наиболее эффективных алгоритмов, удовлетворяющих следующим критериям: многофункциональности, универсальности, возможности оптимизации в процессе разработки, простоты реализации математической модели.*

**Ключевые слова:** трудноформализуемые требования, многофункциональность, универсальность, оптимизация, автоматизированные системы, классические методы, теория графов, целочисленное линейное программирование, метаэвристические, генетические, метод отжига, метод муравьиных колоний, мульти-агентные системы, метод решения по прецедентам, метод полного перебора, метод ветвей и границ, масштабируемость, детерминированный.

В результате исследования были определены основные методы, встречающиеся на практике при решении задач по составлению автоматизированных систем составления расписания в образовательных учреждениях, на практике часто применяются: классические методы (теория графов, целочисленное линейное программирование); метаэвристические (генетические алгоритмы, метод отжига, метод муравьиных колоний); мульти-агентные системы; метод решения по прецедентам. Кроме того, применяются методы полного перебора, градиентные методы, методы ветвей и границ. Разнообразие методов и подходов при решении задач говорит, о том, что нет универсального способа составления автоматизированных систем, поэтому был проведен анализ методов для определения наиболее оптимального подхода, выявлены достоинства и недостатки методов, а так же их универсальность и ограничения, которым они удовлетворяют.

### Классические методы

Специфической характеристикой классических методов является полная наибольшая степень официализации (математическая точность) как положение задачи составления расписания занятий, так и алгоритмов ее реализации (обращаются «жесткие» алгоритмы). Данные методы разрешают:

- а) Исследовать методы повторения решения задачи составления учебных занятий;
- б) Понять воздействие на время и четкость решения задачи составления расписаний учебных занятий интересующих нас факторов.

Рассмотрим классические методы решения.

Метод раскраски графа основан на применении математического автомата теории графов, заключается в проблеме составления расписания следующим образом: каждая вершина показывает рассчитанный учебным планом урок, накладки возникают в том случае, если между какими-то двумя вершинами появляется разногласие, к примеру, два урока проводятся в одном классе, то они соединяются ребрами. Это равносильно запрету одновременного проведения этих уроков, тогда проблему составления расписаний можно выразить как проблему уменьшения числа цветов, нужных для раскраски графа, где каждый цвет отвечает единственному периоду расписания. Приближенные методы решения этой задачи встречаются как подзадачи в гибридных методах для решения задачи о составлении расписания.

Использование указанного способа при реализации действительных проблем составления расписания для

образовательных систем многочисленного обучения непродуктивно, но комбинация рассматриваемого подхода с другими методами может оказаться практичной.

Вторым методом является метод целочисленного линейного программирования, применяется в решении задачи составления расписания, при помощи решения симплекс-метода для нахождения целевой функции.

### Метаэвристические методы решения

В положении эвристических методов принята эксплуатация разнообразных видов эвристик, или эвристических алгоритмов, при подготовки которых обращаются «слепые» предположения, не подтвержденные соответствующим математическим аргументом. Формирование некоторых правил (эвристик) допускает некоторое ускорение поиска «наилучшего» расписания, но применение таких алгоритмов в преимуществе случаев дает гарантию всего лишь извлечения приблизительного решения задачи (приближение локального экстремума). В данном случае появляется задача оценки приближенности найденного локального экстремума к глобальному экстремуму.

В ряде работ эта задача реализуется с помощью сравнения расписаний, полученных эвристическими методами и расписаний, полученных методами перебора, для применения к проблеме небольшой размерности. В связи с указанным недостатком, эвристические алгоритмы остаются надежным инструментом поиска «лучшего» в определенном смысле решения в тех случаях, когда нахождение оптимального наилучшего решения практически затруднительно или невозможно.

Рассмотрим метаэвристические методы решения:

Генетические алгоритмы — интенсивно развивающиеся методы решения больших задач целочисленного программирования. Существенные отличия и превосходство генетических алгоритмов в сравнении с классическими методами выражается в следующем:

- генетический алгоритм работает с командами, в которых представлен список параметров, зависящих напрямую от аргументов целевой функции;
- в процессе поиска используется некоторое количество точек поискового инструмента (процесс распараллеливается), а не переключается от точки к точке, как это выполняется в традиционных методах, то есть генетический алгоритм оперирует со своей совокупностью допустимых решений;
- генетический алгоритм в процессе работы не использует вспомогательной информации, что делает существенной скорость его реализации;

— генетический алгоритм применяется как вероятность установки для создания новых точек поиска, так и детерминированные установки для переключения от одних точек к другим.

Метод роя частиц.

В методе роя частиц агентами являются частицы, которые в каждый момент времени имеют в пространстве параметров задачи некоторое положение и скорость. Правила, по которым частицы меняют свое положение и скорость, определяются на основе вычисления целевой функции частицы. В основе канонического метода роя частиц лежит следующий принцип: на каждой итерации для определения следующего положения частицы учитывается информация о наилучшей частице от «соседей» и информация о данной частице на том шаге, когда этой частице соответствовало наилучшее значение целевой функции. Так же существует модификация канонической модели, которая учитывает значение целевой функции всех частиц роя, в некоторых моделях частицы группируются в несколько роев и так далее.

### Мульти-агентные системы

Мульти-агентная система — это самоорганизующаяся система, состоящая из нескольких взаимодействующих между собой интеллектуальных агентов.

Выделяют две роли агентов:

- а) Агенты — организаторы (агенты-учителя);
- б) Агенты — участники (агенты-классы, агенты-аудитории, агенты).

Агенты взаимодействуют между собой, пытаясь найти

Литература:

1. Свиридова О.В. Автоматизированная система методов контроля знаний в области информационных технологий 2011. — Сборник материалов 48-й внутривузовской научной конференции Вол-ГТУ, Волгоград, 2011.
2. Семенов С.П. Татаринцев Я.Б. Сравнительный анализ подходов к автоматизации составления расписаний учебных занятий в образовательных учреждениях 2010. — Известия Алтайского государственного университета, 2010.-Т.105.
3. Афонин П.В., Кокшагин О.В. Гибридные генетические алгоритмы для задачи составления расписания проекта 2008. — Известия Южного федерального университета, 2008 № 9—46—51 с.
4. Михайлов А.В. Свиридова О.В. Проблема выбора алгоритма для проектирования и разработки автоматизированного составления расписания образовательных учреждений. Студенческий научный форум 2013: v международная студенческая электронная научная конференция. 15 февраля — 31 марта 2013 г. Направление «Технические науки» Российская академия естествознания. — М.. 2013 г. 3 с.

приемлемое время и место события (занятия). Мульти-пликативная система не нашла ни одного допустимого расписания на тестах соревнований ИТС 2007, которое проводилось в рамках конференции PATAT (Practice and Theory of Automated Timetabling).

### Методы решения по прецедентам

Прецеденты представляются в виде списка особенность-значение, база прецедентов содержит по две лучших эвристики из predetermined набора эвристик.

Недостатки метода: низкая гибкость в ограничениях, низкое качество расписания при небольшом количестве прецедентов, плохая масштабируемость. Метод не учитывает специфические требования.

**Вывод:** в результате анализа существующих методов составления расписания можно сделать вывод об экономической нецелесообразности применения полностью автоматизированных систем составления расписаний в средних школах, институтах из-за трудоемкости построения точных математических моделей, большого числа входных варьируемых данных и трудноформализуемых правил описания ограничений при составлении расписания.

Алгоритмы для составления расписания, которые удовлетворяют условию полной автоматизации, могут быть эффективными только для групп с небольшим числом входных варьируемых данных. Таким условиям удовлетворяет начальная школа, для которой можно составить полностью автоматизированное расписание.



## Разработка автоматизированной информационной системы бронирования билетов на автобусы междугородних сообщений с целью расширения диапазона оказываемых услуг

Тыртышный Артем Иванович, ассистент;

Филонов Александр Сергеевич, студент

Волжский политехнический институт (филиал) Волгоградского государственного технического университета

*Настоящая статья написана в ходе подготовки дипломного проекта на основании выполненного академического исследования. В статье с теоретической позиции рассматривается создание автоматизированной информационной системы бронирования билетов на автобусы междугородних сообщений с их последующей покупкой, в целях расширения диапазона оказываемых автотранспортным предприятием услуг.*

**Ключевые слова:** автоматизированные системы, бронирование билетов, покупка билетов, автотранспорт, регулярные рейсы, пассажирские перевозки, междугородное сообщение.

Особую роль в экономике Российской Федерации занимает транспортная отрасль, которая по своей структуре, весьма, разнообразна. О развитии транспортной отрасли экономики (в целом по стране и по субъектам России) можно судить по транспортной инфраструктуре, включающей в себя, кроме всего прочего, различные виды транспортных перевозок — наземные, воздушные и водные.

Транспортная инфраструктура — это система коммуникаций и объектов транспорта, включающая дорожную сеть, объекты обслуживания пассажиров, объекты обработки грузов, объекты постоянного и временного хранения и технического обслуживания транспортных средств.

Согласно пункту 1 статьи 4 Федерального закона от 08.11.2007 г. № 259-ФЗ «Устав автомобильного транспорта и городского наземного электрического транспорта» (далее по тексту — «Устав»), в России при осуществлении перевозок пассажиров, багажа и грузов наземным автомобильным транспортом разрешены следующие виды сообщений: городское сообщение; пригородное сообщение; междугородное сообщение; международное сообщение.

Настоящая статья написана в ходе подготовки дипломного проекта А.С. Филоновым, студентом ВПИ (филиал) ВолгГТУ под руководством научного руководителя А.И. Тыртышного, ассистента кафедры «ВАЭиВТ» ВПИ (филиал) ВолгГТУ. Темой дипломного проекта и одноименной статьи является: «Разработка автоматизированной информационной системы бронирования билетов на автобусы междугородних сообщений с целью расширения диапазона оказываемых услуг».

На основании выполненного академического исследования в статье с теоретической позиции будет рассмотрено создание автоматизированной информационной системы бронирования билетов на автобусы междугородних сообщений, с их последующей покупкой, в целях расширения диапазона оказываемых автотранспортным предприятием услуг.

Согласно действующему законодательству, перевозки в междугородном сообщении осуществляются между населенными пунктами на расстояние более пятидесяти километров между границами этих населенных пунктов.

В соответствии с частью 24 пункта 1 статьи 12 Федерального закона от 04.05.2011 г. № 99-ФЗ «О лицензировании отдельных видов деятельности», деятельность по перевозкам пассажиров автомобильным транспортом, оборудованным для перевозок более восьми человек (за исключением случая, если указанная деятельность осуществляется по заказам либо для обеспечения собственных нужд юридического лица или индивидуального предпринимателя) подлежит лицензированию, в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 02.04.2012 г. № 280 «Об утверждении Положения о лицензировании перевозок пассажиров автомобильным транспортом, оборудованным для перевозок более восьми человек (за исключением случая, если указанная деятельность осуществляется по заказам либо для собственных нужд юридического лица или индивидуального предпринимателя)».

Перевозки пассажиров и багажа подразделяются на: регулярные перевозки; перевозки по заказам; перевозки легковыми такси (статья 5 устава).

Рассматриваемое нами автотранспортное предприятие осуществляет регулярные перевозки пассажиров и багажа в границах государственной территории Российской Федерации — междугородное сообщение.

Основным нормативным правовым актом, характеризующим автотранспортные перевозки междугородного сообщения, является Постановление Правительства РФ от 14.02.2009 г. № 112 «Об утверждении Правил перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом» (далее по тексту — «Правила перевозок пассажиров и багажа»), а базовым документом — ранее упомянутый устав.

Следует отметить, что согласно пункту 1 статьи 19 устава, регулярные перевозки пассажиров и багажа осуществляются на основании публичного договора перевозки пассажира по маршруту регулярных перевозок. Из

чего согласно Гражданскому кодексу Российской Федерации следует, что заключение договора в письменной форме не является обязательным, а согласие с ним — это факт приобретения (бронирования) билета (статья 20 устава). Кстати говоря, использование билетов с указанием части или всех реквизитов в электронном виде разрешено пунктом 4 статьи 20 устава.

При оформлении заказа на услуги пассажирских перевозок особое внимание уделяется возрасту пассажиров, так пассажир имеет право перевозить с собой бесплатно в междугородном сообщении одного ребенка в возрасте не старше пяти лет без предоставления отдельного места для сидения (часть 2 пункта 1 статьи 21 устава).

Составной частью заказа услуг является багаж. Действующими нормами предусмотрено обязательное информирование перевозчиком пассажира о нормах и об условиях оплаты перевозки багажа, провоза ручной клади. Пассажир имеет право провозить с собой бесплатно ручную кладь и за плату в багажном отделении транспортного средства или в отдельном транспортном средстве багаж (статья 22 устава).

Порядок продажи билетов определяется Правилами перевозок пассажиров и багажа. В нашем случае (при осуществлении регулярных перевозок пассажиров и багажа в междугородном сообщении) продажа билетов для проезда пассажиров осуществляется только при наличии мест для сидения (статья 24 устава), то есть продажа билетов на количество мест определенного рейса сверх имеющихся в транспортном средстве мест запрещено.

Рассмотрим положения Правил перевозок пассажиров и багажа, касающиеся расписания, схемы расположения и нумерации мест в транспортных средствах, схемы маршрутов регулярных перевозок, продажи билетов и перевозки багажа.

Регулярные перевозки пассажиров и багажа осуществляются по расписаниям, которые составляются для каждого остановочного пункта маршрута регулярных перевозок, в котором предусмотрена обязательная остановка транспортного средства. Расписание содержит интервалы отправления транспортных средств, в том числе по периодам времени суток, или временной график отправления транспортных средств от остановочного пункта, а также содержит временной график прибытия транспортных средств в остановочный пункт. В расписаниях указывается местное время.

Схема расположения и нумерации мест в транспортных средствах тех марок, которые отправляются из автовокзала, вывешивается в кассовом зале автовокзала или непосредственно на кассах с внешней стороны. В этой схеме указываются расположение и нумерация мест.

Схема маршрутов регулярных перевозок представляет собой условное графическое изображение, на котором указывается путь следования транспортного средства от автовокзала до конечных пунктов маршрутов регулярных перевозок. Указанная схема вывешивается в зале ожидания или кассовом зале автовокзала.

Проезд пассажиров по маршрутам регулярных перевозок осуществляется по билетам. Билет должен содержать обязательные реквизиты, перечисленные в Правилах перевозки пассажиров и багажа. Продажа билетов для проезда в междугородном сообщении производится в кассах автовокзалов или иных пунктах продажи билетов. Продажа билетов для проезда в междугородном сообщении начинается не менее чем за 10 суток и заканчивается за 5 минут до отправления транспортного средства.

Сдача багажа перевозчику оформляется багажной квитанцией. Багажная квитанция должна содержать обязательные реквизиты, перечисленные в Правилах перевозки пассажиров и багажа. На каждое место багажа крепится багажная бирка, копия которой выдается пассажиру. В багажной квитанции при сдаче для перевозки багажа с объявленной ценностью указывается объявленная стоимость багажа, а также сумма дополнительной платы за прием к перевозке багажа с объявленной ценностью. При сдаче для перевозки нескольких мест багажа пассажир вправе указать в багажной квитанции объявленную стоимость каждого места или общую сумму объявленной стоимости всех мест.

Из сказанного выше следует, что планируемая к разработке автоматизированная информационная система бронирования билетов на автобусах регулярных междугородних сообщений должна автоматизировать следующие информационные процессы:

- бронирование и покупка билетов (по схеме нумерации и расположению мест);
  - предоставление пользователям полной информации о расписании и маршрутах движения междугородних рейсов;
  - осуществление контроля использования транспорта на линиях согласно загруженности маршрута (для контроля над наполняемостью пассажирских мест).
- Следовательно, основными функциями системы будут являться:
- просмотр всей необходимой информации по маршрутам;
  - внесение новых, корректирование имеющихся и удаление устаревших маршрутов;
  - бронирование и покупка автобусных билетов посредством сети Интернет;
  - обеспечение гостевого доступа с любого компьютера, имеющего доступ к сети Интернет;
  - автоматический расчет маршрута, с возможностью вывода его на печать;
  - вывод отчетных форм, разработанных для управляющего персонала автовокзала на печать, и сохранение их в электронном виде.

Процесс бронирования и покупки билетов, автоматизируемый в процессе разработки данной системы, может быть представлен в виде следующего алгоритма:

- 1) получение информации от пассажира (пункт отправления, пункт назначения, дата отправки, ФИО пасса-

жира, реквизиты удостоверяющего документа пассажира, контактный телефон);

2) подбор возможных вариантов маршрутов, удовлетворяющих заданным требованиям;

3) вывод полученных вариантов пассажиру для выбора наиболее подходящего;

4) запрос количества и вида (взрослый, детский) необходимых билетов;

5) запрос у пассажира выбора услуги: бронирование или покупка билета;

6) если выбрано бронирование, то запрос ФИО пассажира на каждый бронируемый билет;

7) оплата забронированных билетов;

8) отметка о том, что билеты забронированы, переход к пункту 11;

9) если выбрана покупка билета, то оплата билета;

10) отметка о том, что билеты проданы, переход к пункту 11;

11) печать бланка заказа.

В системе имеется два вида бланков строгой отчетности. Первый вид — бланк, свидетельствующий о бронировании проездных билетов, в котором указывается маршрут, забронированные места и дата отправления. Второй вид — распечатанный билет, выдается пассажиру после того как он оплачивает заказанный (забронированный ранее) билет.

Для выполнения задач процесса бронирования и покупки билетов автоматизируемая информационная система должна состоять из следующих, взаимосвязанных модулей:

- модуль «Управление маршрутами»;
- модуль «Бронирование и покупка билетов»;
- модуль «Мониторинг маршрутов»;
- модуль «Контроль использования транспорта»;
- модуль «Отчеты».

Модуль «Управление маршрутами» должен осуществлять следующие функции:

1) создание новых маршрутов;

2) внесение в существующие маршруты изменений:

расписание маршрута, количество и вид автобусов на маршруте, цена маршрута и т.д.;

3) удаление маршрутов.

Модуль «Бронирование и покупка билетов» должен выполнять следующие функции:

1) предоставление пользователю информации о доступных автобусных рейсах на основе введенной информации;

2) предоставление пользователю информации о наличии доступных для бронирования и продажи билетов на выбранном рейсе;

3) бронирование и продажа билетов.

Модуль «Контроль использования транспорта» должен осуществлять следующие функции определения востребованности конкретных маршрутов за определенный временной промежуток.

Модуль «Мониторинг маршрутов» должен осуществлять следующие функции:

1) предоставление сотрудникам автовокзала поименного списка лиц купивших (забронировавших) билеты;

2) предоставление сотрудникам автовокзала общей информации о функционирующих автобусных рейсах.

Модуль «Отчеты» должен осуществлять следующие функции:

1) печать бланков заказов;

2) вывод в печатную форму необходимой аналитической информации за какой-либо период времени;

3) визуализация необходимых данных в виде графиков;

4) при необходимости сохранение всех предоставляемых отчетов в электронном виде.

Вывод. Создание автоматизированной информационной системы — ответственный шаг, поскольку система должна отвечать требованиям законодательства о транспортных пассажирских перевозках и Федеральному закону «О персональных данных». В ближайшее время на государственном уровне ожидаются поправки в закон, которые обяжут автотранспортные компании внедрять информационные системы, позволяющие учитывать персональные данные о каждом пассажире.

#### Литература:

1. Федеральный закон от 08.11.2007 г. № 259-ФЗ (в ред. 28.07.2012 г.) «Устав автомобильного транспорта и городского наземного электрического транспорта»;
2. Федеральный закон от 04.05.2011 г. № 99-ФЗ (в ред. 04.03.2013 г.) «О лицензировании отдельных видов деятельности»;
3. Постановление Правительства РФ от 02.04.2012 г. № 280 (02.04.2012 г.) «Об утверждении Положения о лицензировании перевозок пассажиров автомобильным транспортом, оборудованным для перевозок более 8 человек (за исключением случая, если указанная деятельность осуществляется по заказам либо для собственных нужд юридического лица или индивидуального предпринимателя)»;
4. Постановление Правительства РФ от 14.02.2009 г. № 112 (07.09.2011 г.) «Об утверждении Правил перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом».

## Linux Implementation of AVR Program Assembling

Чегодаев Николай Игоревич, аспирант

Академия маркетинга и социально-информационных технологий (г. Краснодар)

Chegodayev N.I., postgraduate

Academy of marketing and socially-informational technologies IMSIT, Krasnodar

During any software development investigations a researcher and, especially, a technician may experience a situation, when they need to use a different operating system than the Microsoft Windows™. It could be BSD, Apple MacOS and in most cases it may be one of the numerous Linux implementations, which can be obtained mostly for no charge to the user.

The main purpose of this article is to cover one of the available methods to obtain an Atmel AVR Assembling platform within Linux environment as to use it in cases, where Microsoft Windows™ unavailable by certain conditions.

During this article preparation process a several sources were investigated with the help of Internet search engines. Most of the publications, even if they were oriented on Linux microcontroller programming, covered only C\C++ programming experience and on several internet resources Linux AVR Assembling hits were requested. So, this means that the subject of AVR assembling in Linux wasn't revealed enough.

Linux software development style is rather different from the Microsoft Windows™ manner. Windows style implicates, mainly, an integrated implementation combined with various IDEs or similar solutions. Linux developing style differs in the way of multi-combinations, i.e. software developers could use any combinations of programming solutions and environments at their choice and combine them with various programming tools from gcc to mono and so on. Indeed, you can hardly find a fully-implemented solution such as Atmel AVR studio under Linux to develop a microcontroller firmware, but, however, possible, and this solution could be constructed by user himself. This article will not cover the issues of installing original AVR Studio under Windows Emulator, expanding it with the Linux distribution; it just shows methodical implementations with the native instruments provided for Linux, especially.

There are many publications and books about Linux on almost all languages spoken in the World and still this operating system is as spanless as the planet Solaris of the book by Stanislav Lem. In this case, I believe I should describe Linux a little more in a short review below.

Linux is a Unix-like operating system that was designed to provide personal computer users a free or very low-cost operating system comparable to traditional and usually more expensive Unix systems. Linux has a reputation as a very efficient and fast-performing system. Linux's kernel (the central part of the operating system) was developed by Linus Torvalds at the University of Helsinki in Finland [1]; an operating system kernel first released October 5, 1991

[2]. To complete the operating system, Torvalds and other team members made use of system components developed by members of the Free Software Foundation for the GNU Project [2].

The GNU Project is a free software, mass collaboration project, announced on September 27, 1983, by Richard Stallman at MIT. It initiated GNU operating system development in January, 1984 [3]. The founding goal of the project was, in the words of its initial announcement, to develop «a sufficient body of free software [...] to get along without any software that is not free». [4]. Linux system distributions may vary in many details of system operation, configuration, and software package selections [3].

Unlike Windows and other proprietary systems, Linux is publicly open and extendible by contributors. Because it conforms to the Portable Operating System Interface standard user and programming interfaces, developers can write programs that can be ported to other operating systems. Linux comes in versions for all the major microprocessor platforms including the Intel, PowerPC, Sparc, and Alpha platforms. It's also available on IBM's S/390. Linux is distributed commercially by a number of companies. A magazine, Linux Journal, is published as well as a number of books and pocket references [1].

Linux is sometimes suggested as a possible publicly-developed alternative to the desktop predominance of Microsoft Windows. Although Linux is popular among users already familiar with Unix, it remains far behind Windows in numbers of users [1]. By intelligence provided by AT Internet, European leader in the field of Web analytics, Linux maintained third place with the visit share of one percent [4]. However, its use in the business enterprise is growing.

Let us return to our muttons. Although, Linux-based operating systems are indeed directed into programming issues, the essence of Linux software development bound on programmers in possession of C/C++ language [5, p. 16]. There is an opinion that even the «all-mighty» GDB won't work properly with assembled software [6].

The all-know recursive abbreviation of free software foundation: «GNU is Not Unix» in the case of Microsoft Windows could be modified into something like: «Linux is not Windows». The Rubicon between the states «Linux is the opponent of Windows» and the state described by the phrase above were crossed in 1999–2000 [5, p.267]. Linux is not wholesale. Written by group of enthusiasts, it continues to be developed by them [7, p.5]. All this facts force any author of any Linux oriented publication to describe the terms and software, which he observes.



GDB, which is shown above, or GNU Debugger is the software designed to provide capabilities to check out the workaround of the application in-development and reveal any faults before they could force to programming error issues [8]. During the investigations, which have led to this publication, author used specific compilation of the GDB, the GDB-AVR. This package, according to its short description in Ubuntu application centre, has been compiled to target the Atmel AVR microcontroller architecture and configured as host within ordinary personal computer and AVR architecture as target. The program being debugged can be written on various languages, but as described above the majority in the compatibilities list of GDB remains with C-based programming languages. Evidently, avr-assembler implementation of GDB-AVR is evidently unstable. Author experienced various programming irregularities during exploitation of this software. Indeed, C-based applications are debugging with rather superior quality. Atmel AVR microcontroller implementation of GDB accepts a remote debugging with, amidst the purposes of this article, SimulAVR software. Author of this article possessed compiled version 7.2 of GDB-AVR.

The SimulAVR program is a simulator for the Atmel AVR family of microcontrollers. This can be used as a remote target for GDB-AVR. Application is started out as a C based project and afterwards hardware simulation part were re-developed in C++. The core of the SimulAVR is the software library. This library is linked together with a command-line interface to create a command-line program. The interpreter interfaces as the part are used for inter-link between the library and Python / TCL languages [9]. As before the major language to debug is C. Author of this article possessed compiled version 0.1.2.2 of SimulAVR.

The sole one application, which is particularly oriented on pure AVR assembler implementation is AVRA. AVRA is the Assembler for the Atmel AVR microcontroller family and it is almost compatible with Atmel own assembler AVRASM32 [10]. Author of this article possessed compiled version 1.2.3 build 1 of AVRA.

The Linux-kernel is the set of intermediate operating software programs written in according to POSIX standards used to provide adequate level of hardware access services for user-level applications. Basically, there are three main sub-levels of kernel are in use: file sub-system, process management and input-output sub-system. Linux-kernels differs in version numbers the current stable 3.2.2 [11]. Each Linux-kernel version covers functions and programming interfaces to support variety of hardware and applications. Each dif-

ferent Linux-kernel version has a various compatibility issues and when anybody observes Linux he obliged to quote the data about the version of his Linux kernel so that reader could analyze the conditions of author's investigations. Exploitations covered by this article derived under Ubuntu, one most popular Linux distribution. The Linux kernel version were 3.0.0–15-generic-pae as shown on Figure 1 (Network names and domains smudged for security purposes hereinafter).

Software installation executed through Ubuntu Software Center, a standard tool integrated into graphical environment of this operation system. User interface left untouched as default Unity.

In the table 1 the test program source were shown.

Test program were not intended for any real developing experience and exploitation under manufacturing condition. There is the only purpose for it to show the essence of Linux AVR assembling methods.

In the first line of the source include directive asks assembler to plug ad hoc header to define the registers of a specific AVR microcontroller. Assembling issue with this directive under the AVRA conditions described below. Afterwards there is mnemonic instruction, which determines a switchover to the main program branch. Hereafter situated an initialization mnemonics preceded by CLI operator, which prevents any interrupts while program were not initialized properly. Then after program text allows a normal workaround (SEI) main program text mnemonics are located [12].

Assembling commands of the AVRA following: *avra -I /usr/share/avra test.asm*. The «-I» parameter directs AVRA where to obtain an ad-hoc headers to plug with the program source before assembling (sic!) source file name ends this construction. AVRA copies the headers into */usr/share/avra* catalogue by default and appears to be using standardized Atmel, Corp. headers of AVRStudio.

The first assembling attempt of the test program using AVRA leads to a fault, which is shown on Figure 2.

It seems that assembler finds an inconvenient mnemonics in the source file, but as shown in the Table 1 test.asm program is free of any macro definitions such as *#ifndef*, *#define* or *#pragma*. Close inspection of header file *2313def.inc* in noticed catalogue reveals that own AVRA header files contains incorrect definitions. Contents of the AVRA header-file are shown below.

Bolded lines on Figure 3 shows incompatible macro definitions that AVRA appears to be counted as errors, because,



Figure 1. Part of the Linux Terminal with the conditional information about the current Linux kernel



Table 1. Test program source

Line number	Program lines
1	.include «2313def.inc»
2	.org 0
3	rjmp start
4	start:
5	CLI
6	LDI R16,127
7	OUT DDRB, R16
8	LDI R16, 0
9	OUT PORTB, R16
10	LDI R16,0
11	OUT DDRD,R16
12	LDI R16,15
13	OUT PORTD, R16
14	LDI R16,15
15	OUT PORTD, R16
16	SEI
17	LDI R16,1
18	LDI R17,3
19	ADD R16,R17
20	rjmp start

```

~/AVRDevelopment
~/AVRDevelopment$ cd AVRDevelopment
~/AVRDevelopment$ avra -I /usr/share/avra test.asm
AVRA: advanced AVR macro assembler Version 1.2.3 Build 1 (15. November 2007)
Copyright (C) 1998-2007. Check out README file for more info

AVRA is an open source assembler for Atmel AVR microcontroller family
It can be used as a replacement of 'AVRASM32.EXE' the original assembler
shipped with AVR Studio. We do not guarantee full compatibility for avra.

AVRA comes with NO WARRANTY, to the extent permitted by law.
You may redistribute copies of avra under the terms
of the GNU General Public License.
For more information about these matters, see the files named COPYING.

Pass 1...
/usr/share/avra/2313def.inc(40) : Error : Unknown mnemonic/macro: #ifndef
/usr/share/avra/2313def.inc(41) : Error : Unknown mnemonic/macro: #define
/usr/share/avra/2313def.inc(44) : Error : Unknown mnemonic/macro: #pragma
/usr/share/avra/2313def.inc(48) : Error : Unknown mnemonic/macro: #pragma
/usr/share/avra/2313def.inc(53) : Error : Unknown mnemonic/macro: #pragma
/usr/share/avra/2313def.inc(379) : Error : Unknown mnemonic/macro: #pragma
/usr/share/avra/2313def.inc(380) : Error : Unknown mnemonic/macro: #pragma
/usr/share/avra/2313def.inc(381) : Error : Unknown mnemonic/macro: #pragma
/usr/share/avra/2313def.inc(382) : Error : Unknown mnemonic/macro: #pragma
/usr/share/avra/2313def.inc(402) : Error : Unknown mnemonic/macro: #pragma
/usr/share/avra/2313def.inc(402) : Maximum error count reached. Exiting...
test.asm(1) : Maximum error count reached. Exiting...
~/AVRDevelopment$
    
```

Figure 2. AVRA assembling fault

```
mc [~/usr/share/avra]
Файл: 2313def.inc      Строка 21  Позиция 013289 байт
* The Register names are represented by their hexadecimal address.
*
* The Register Bit names are represented by their bit number (0-7).
*
* Please observe the difference in using the bit names with instructions
* such as "sbr"/"cbr" (set/clear bit in register) and "sbrs"/"sbrc"
* (skip if bit in register set/cleared). The following example illustrates
* this:
*
* in   r16,PORTB      ;read PORTB latch
* sbr  r16,(1<<PB6)+(1<<PB5);set PB6 and PB5 (use masks, not bit#)
* out  PORTB,r16      ;output to PORTB
*
* in   r16,TIFR       ;read the Timer Interrupt Flag Register
* sbrc r16,TOV0       ;test the overflow flag (use bit#)
* rjmp TOV0_is_set   ;jump if set
* ...                ;otherwise do something else
* .....
#ifndef _2313DEF_INC_
#define _2313DEF_INC_
#pragma partinc 0
```

Figure 3. AVRA header file contents

```
~/AVRDevelopment
~$ cd AVRDevelopment
~/AVRDevelopment$ avra -I /usr/share/avra test.asm
AVRA: advanced AVR macro assembler Version 1.2.3 Build 1 (15. November 2007)
Copyright (C) 1998-2007. Check out README file for more info

AVRA is an open source assembler for Atmel AVR microcontroller family
It can be used as a replacement of 'AVRASM32.EXE' the original assembler
shipped with AVR Studio. We do not guarantee full compatibility for avra.

AVRA comes with NO WARRANTY, to the extent permitted by law.
You may redistribute copies of avra under the terms
of the GNU General Public License.
For more information about these matters, see the files named COPYING.

Pass 1...
Pass 2...
done

Used memory blocks:
  Code   : Start = 0x0000, End = 0x0010, Length = 0x0011

Assembly complete with no errors.
Segment usage:
  Code   :      17 words (34 bytes)
  Data   :      0 bytes
  EEPROM :      0 bytes
~/AVRDevelopment$
```

Figure 4. Successful program assembly

as described above, AVRA plugs these headers to program source and assembles combined source afterwards.

Evidently, the ad-hoc header files provided by AVRA are inconvenient. There is branching from this point. First, we could correct the files according to the manual pages of AVRA [13]; on another hand, there is always opportunity of using the original header files of AVR Studio by Atmel (Author have to test version 4.07 Build 240). The last one reveals an interesting AVRA feature. First of all, AVRA seeks header files in the assembling project directory, even if the «-I» parameter are present. The manual page of AVRA notes: AVRA is an assembler for Atmel AVR microcontrollers, and it is almost compatible with Atmel's own assembler AVRASM32. The differences between is support for some extra preprocessor directives, this includes: *.define*, *.undef*, *.ifdef*, *.ifndef*, *.if*, *.else*, *.endif*, *.elif*, *.warning* [13].

Obviously, there is no mention of *#pragma* or *pragma* directive, and AVRA itself notes so while assembling with edited header files as mention of absence of definition for *pragma* directive too.

When a developer managed to overcome these difficulties, by any of the means described above, assembling appears to be successful as shown on Figure 4, below.

It needs us look into debugging issues of AVR assembled programs under Linux, from this point.

For debugging purposes there is an opportunity to use both GDB-AVR and SimulAVR. This combination shows tolerable work with assembled programs. SimulAVR allow remote assembled program debugging. In other words, GDB-AVR will connect to the SimulAVR installed on another computing system over the network to create a digital farm for debugging purposes.

```

~/AVRDevelopment
~:~$ cd AVRDevelopment
~/AVRDevelopment$ simulavr -d at90s2313 -g

Simulating a at90s2313 device.

devsupp.c:338: MESSAGE: TODO: attach IO Reg 'ACSR' at 0x0028
devsupp.c:338: MESSAGE: TODO: attach IO Reg 'UBRR' at 0x0029
devsupp.c:338: MESSAGE: TODO: attach IO Reg 'UCR' at 0x002a
devsupp.c:338: MESSAGE: TODO: attach IO Reg 'USR' at 0x002b
devsupp.c:338: MESSAGE: TODO: attach IO Reg 'UDR' at 0x002c
devsupp.c:332: MESSAGE: attach: IO Reg 'PIND' at 0x0030: created
devsupp.c:316: MESSAGE: attach: IO Reg 'DDRD' at 0x0031: ref = 0x0030
devsupp.c:316: MESSAGE: attach: IO Reg 'PORTD' at 0x0032: ref = 0x0030
devsupp.c:332: MESSAGE: attach: IO Reg 'PINB' at 0x0036: created
devsupp.c:316: MESSAGE: attach: IO Reg 'DDRB' at 0x0037: ref = 0x0036
devsupp.c:316: MESSAGE: attach: IO Reg 'PORTB' at 0x0038: ref = 0x0036
devsupp.c:338: MESSAGE: TODO: attach IO Reg 'EECR' at 0x003c
devsupp.c:338: MESSAGE: TODO: attach IO Reg 'EEDR' at 0x003d
devsupp.c:338: MESSAGE: TODO: attach IO Reg 'EEAR' at 0x003e
devsupp.c:338: MESSAGE: TODO: attach IO Reg 'WDTCR' at 0x0041
devsupp.c:338: MESSAGE: TODO: attach IO Reg 'ICR1L' at 0x0044
devsupp.c:338: MESSAGE: TODO: attach IO Reg 'ICR1H' at 0x0045
devsupp.c:338: MESSAGE: TODO: attach IO Reg 'OCR1AL' at 0x004a
devsupp.c:338: MESSAGE: TODO: attach IO Reg 'OCR1AH' at 0x004b
devsupp.c:338: MESSAGE: TODO: attach IO Reg 'TCNT1L' at 0x004c
devsupp.c:338: MESSAGE: TODO: attach IO Reg 'TCNT1H' at 0x004d
devsupp.c:338: MESSAGE: TODO: attach IO Reg 'TCCR1B' at 0x004e
devsupp.c:338: MESSAGE: TODO: attach IO Reg 'TCCR1A' at 0x004f
devsupp.c:338: MESSAGE: TODO: attach IO Reg 'TCNT0' at 0x0052
devsupp.c:338: MESSAGE: TODO: attach IO Reg 'TCCR0' at 0x0053
devsupp.c:338: MESSAGE: TODO: attach IO Reg 'MCUCR' at 0x0055
devsupp.c:338: MESSAGE: TODO: attach IO Reg 'TIFR' at 0x0058
devsupp.c:338: MESSAGE: TODO: attach IO Reg 'TIMSK' at 0x0059
devsupp.c:338: MESSAGE: TODO: attach IO Reg 'GIFR' at 0x005a
devsupp.c:338: MESSAGE: TODO: attach IO Reg 'GIMSK' at 0x005b
devsupp.c:332: MESSAGE: attach: IO Reg 'SPL' at 0x005d: created
devsupp.c:332: MESSAGE: attach: IO Reg 'SREG' at 0x005f: created
avrcore.c:475: MESSAGE: attach: Internal SRAM from 0x0060 to 0x00df
decoder.c:3875: MESSAGE: generating opcode lookup_table
main.c:415: MESSAGE: Simulating clock frequency of 8000000 Hz
Waiting on port 1212 for gdb client to connect...

```

Figure 5. SimulAVR listens port 1212

As for local debugging using GDB-AVR alone, so, when assembled program loads into virtual memory of GDB, debugging system seeking for debugging symbols at this moment. It seems that with AVRA assembling system it is impossible to provide them for debugger, with the current version, at least. Indeed, SimulAVR system will shape an appropriate virtual environment for the device given.

To enable SimulAVR input: *simulavr -d at90s2313 -g*; this will start a SimulAVR with an option to listen a network port like on remote computing system over the local network. The results of this actions are shown on the Figure 5. Parameters for this directive will be accounted for as follows: «-d» parameter defines device type to create environment for; with directive *simulavr - devices* on can learn about compatible list of *simulavr* and obtain an useful information about what microcontroller chip are able to use with. Obviously, that the version of author's possession supports a moderate list off microcontrollers, but newer AVRA version 1.3.0, as it seems by source information provided, will in touch with ATtiny2313 as newer version of at90s2313. Indeed, limitations will vanish, when this stable build of the program becomes part of major Linux repositories. If consequences force to compile the program manually, every developer is obliged to do so.

To complete debugging farm change directory with Terminal directive «cd» to your project directory and then input: *avr-gdb*. This initiates shell to use with GDB-AVR. There is no mistake in this directive, as quoted in documentation, GDB-AVR starts with the reverse of its application name directive. Screen of initiated GDB-AVR demonstrated on Figure 6.

Debug interconnection demands to strongly follow the order below, otherwise, any mistake, probably will lead to segmentation fault amongst the debugging bundle components and this, surely, will crash the programs. So, the safe order will be as follows.

After GDB-AVR initiation input directive that will lead debugger to the remote system with the SimulAVR installed and configured as shown above. If your debugging farm is set within sole computer the phrase would be as good as weird: *target remote localhost:1212*. This says to the debugger, that it should load programs to remote system with specified address and port, but in the case of sole computer address will transform local host construction, otherwise, there might be an IP address or network computer name. Port will be 1212 by default as Figure 5 demonstrates. Afterwards GDB-AVR will demonstrate log information with zeros, this means that connection established and empty program is loaded into simulated Flash. It is time to upload a specific program from your project directory. Input: *load test.hex*. And then for the correct assembler symbols displaying input as follows: *display/l \$pc* [6]. Now, one can debug his program with «*si*» (debugger will bypass functions, while tracing) and «*ni*» (debugger will not bypass function, while tracing) directives to GDB-AVR console.

There are plenty of upload software in the Ubuntu Software Center: USB, LPT, in-circuit programmer utilities. If you upload hardware used to connect within parallel port, you will, probably, need to grant an authorization to use it as follows: *usermod -G lp <user name>* [14].

We, surely, will have a full set of microcontroller program

```

~/AVRDevelopment
~$ cd AVRDevelopment
~/AVRDevelopment$ avr-gdb
GNU gdb (GDB) 7.2
Copyright (C) 2010 Free Software Foundation, Inc.
License GPLv3+: GNU GPL version 3 or later <http://gnu.org/licenses/gpl.html>
This is free software: you are free to change and redistribute it.
There is NO WARRANTY, to the extent permitted by law. Type "show copying"
and "show warranty" for details.
This GDB was configured as "--host=i686-linux-gnu --target=avr".
For bug reporting instructions, please see:
<http://www.gnu.org/software/gdb/bugs/>.
(gdb) target remote localhost:1212
Remote debugging using localhost:1212
0x00000000 in ?? ()
(gdb) load me.hex
Loading section .sec1, size 0x2c lma 0x0
Start address 0x0, load size 44
Transfer rate: 352 bits in <1 sec, 22 bytes/write.
(gdb) display/i $pc
1: x/i $pc
=> 0x0: rjmp    .+0          ; 0x2
(gdb) si
0x00000002 in ?? ()
1: x/i $pc
=> 0x2: ldi     r16, 0x7F    ; 127
(gdb)

```

Figure 6. Combined GDB-AVR and SumulAVR farm in action

features in the future. Even now, Atmel attempts to adopt his AVR Studio for Linux, but application comes in GNU Tool-chain integration, this means the GNU C compiler and the GDB [15], which is already mentioned in this article. So, as

Atmel description noted there is no sign of authentic Atmel tools as in Microsoft Windows™ version [15]. Indeed, a pure experience with the Linux native AVR microcontroller tools will be helpful.

#### References:

1. Definition of Linux and description of its history // Search Enterprise Linux [Internet source] – URL: <http://search-enterpriselinx.techtarget.com/definition/Linux>
2. Linux // Wikipedia Project [Internet source] – URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/Linux>
3. GNU Project // Wikipedia Project [Internet source] – URL: [http://en.wikipedia.org/wiki/GNU\\_Project](http://en.wikipedia.org/wiki/GNU_Project)
4. [Stallman] Stallman, Richard GNU Manifesto // The GNU Project [Internet source] – URL: <http://www.gnu.org/gnu/manifesto.en.html>
5. Web visit distribution survey // AT Internet, query date 2012/01/29 [Internet source] – URL: <http://en.atinternet.com/Resources/Surveys/Internet-user-equipment/Operating-systems-August-2011/index-1-2-7-246.aspx>
6. [Соломенчук] Соломенчук, В. Linux.Краткий курс [Текст] // В.Соломенчук – СПб: Питер, 2001. – 288 с.
7. [Касперски] Касперски, Крис Программирование на ассемблер в UNIX // InsidePro [Электронный источник] – режим доступа: <http://www.insidepro.com/kk/137/137r.shtml>
8. [Rusling] Rusling David A. The Linux Kernel // The Linux Documentation Project [Interbet source] – URL:
9. The GNU Debugger Project [Internet source] – URL: <http://www.gnu.org/software/gdb/v>
10. The SimulAVR Project [Internet source] – URL: <http://http://www.nongnu.org/simulavr/>
11. The AVRA project [Internet source] – URL: <http://avra.sourceforge.net/>
12. The Linux Kernel Archives [Internet source] – URL: <http://www.kernel.org/>
13. Atmel AVR ATiny213 Datasheet // Atmel [Internet source] – URL: <http://www.atmel.com/>
14. AVRA manual pages // AVRA Team [Electronic Documentation Source] – Access Mode: Terminal\$ man avra
15. Sole Linux microcontroller programming example [Internet source] – URL: <http://phantom-a666.livejournal.com/4582.html>
16. Atmel products information // Atmel [Internet source] – URL: [http://www.atmel.com/dyn/products/tools\\_card.asp?tool\\_id=4116](http://www.atmel.com/dyn/products/tools_card.asp?tool_id=4116)



## ХИМИЯ

### Фотометрическое определение скандия (III) в пирексените

Гаджиева Севиндж Рафик кызы, доктор химических наук, профессор;

Алиева Тарана Ибрагим кызы, кандидат химических наук;

Мурадова Гюнай Гаджимурад кызы, магистр;

Абдуллаев Ризван Ахмед оглы, доцент;

Халилова Фагана Курбан кызы, кандидат химических наук, старший лаборант;

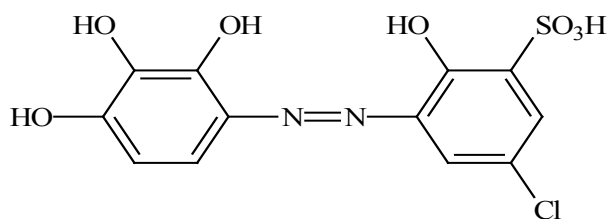
Велиева Зарифа Талыб кызы, кандидат химических наук

Бакинский государственный университет (Азербайджан)

Для фотометрического определения скандия в литературе описано сравнительно много реагентов. Среди них сульфобензилазохромитроповая кислота, глиоксальбис – (2-оксианил), п-нитроазобензол хромитроповая кислота, кверцетин, 1- (2-гидрокси-5-нитрофенил)-3-изопропил-5- (2-бензоксазолил) формазан, люмогаллион, азопроизводные 8-оксихинолина другие реагенты [1–2–3]. Но чувствительность и избирательность определения для большинства реагентов не очень высоки. Установлено, что азореагенты на основе пирогаллола представляют несомненный интерес для определения многих элементов [4]. Поэтому целью настоящей работы было спектрофотометрическое определение скандия с 2,2',3,4-тетраокси-3'-сульфо-5'-хлоразобензолом в присутствии и отсутствии третьего компонента-трифенилгуанидина.

#### Экспериментальная часть

**Реагенты и растворы.** Реагент синтезирован по методике [4], его состав и строение установлены методами элементного анализа и ИК-спектроскопии.



В работе использовали  $1 \cdot 10^{-3}$  М этанольный раствор 2,2',3,4-тетраокси-3'-сульфо-5'-хлоразобензола и  $1 \cdot 10^{-2}$  М водно-этанольный раствор трифенилгуанидина. Исходный раствор скандия с концентрацией  $1 \cdot 10^{-1}$  готовили растворением рассчитанной навески металлического скандия в HCl по методике [5]. Более разбавленные

растворы скандия готовили разбавлением исходного раствора. Раствор реагента (R) хорошо растворим в воде, а ТФГ в водно-этанольной смеси (1:1). Для создания необходимых значений pH использовали фиксанал HCl (pH 1–2) и аммиачно-ацетатные буферные растворы (3–11).

#### Результаты и их обсуждение

Изучение зависимости комплексобразования от pH показало, что выход комплекса максимален при pH 3 ( $\lambda_{\max}=405$  нм), реагент имеет максимум поглощения при  $\lambda_{\max}=360$  нм. Основные спектрофотометрические характеристики разработанной методики фотометрического определения скандия приведены в таблице 1.

Методами Старика-Барбанеля, изомолярных серий и сдвига равновесия установлено, что состав образующихся окрашенных соединений равны 1:2 (ScR), 1:2:1 (ScR-ТФГ) [7]. Методом Астахова определены числа протонов, выделяющихся в результате комплексобразования и подтверждены указанные соотношения компонентов в комплексах [8]. Установлено что, в присутствии ТФГ наблюдается повышение чувствительности реакции. Полученные комплексы исследованы также методом кондуктометрического титрования [9]. Сравнение удельной электропроводности однородно и смешанолигандного комплексов скандия при pH 1 и pH 3 показывает, что Sc-R-ТФГ устойчивее, чем Sc-R. Изучение влияния посторонних ионов и маскирующих веществ на фотометрическое определение скандия (III) в виде бинарного и разнолигандного комплексов показало, что в присутствии ТФГ значительно увеличивается избирательность реакции. Установлено, что разработанная методика определения скандия (III) с 2,2',3,4-тетраокси-3'-сульфо-5'-хлоразобензолом 2,2',3,4-тетраокси-3'-сульфо-5'-хлоразобензолом в присутствии ТФГ обладает высокой избирательностью. Вычислены кон-



Таблица 1. Основные фотометрические характеристики реакций скандия (III) с органическими реактивами

Реагент	$\lambda$ , нм	SC:R	pH	$\epsilon_{\max}$	Интервал подчинения закону Бера, мкг/мл
ХлорфосфозаноIII [6]	640	1:2	2–4	14700	0,21–1,8
Sc (III)-R	457	1:2	3	16500	0,1–3,24
Sc (III)-R-ТФГ	450	1:2:1	1	17500	0,05–2,52

Таблица 2. Результаты определения скандия (III) в образцах вулканогенной породы

Образец	Содержание по паспорту, Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	Найдено, $\bar{x} \pm \frac{t \cdot S}{\sqrt{n}}$ % Sc	S <sub>r</sub>
I	0,01	0,0065±0,002	0,009

станты устойчивости бинарного и смешанолигандного комплекса скандия (III).

#### Методика фотометрического определения скандия (III) в пирексените

Для анализа взяли образец горной породы-пирексенита. Содержание скандия (III) в образцах определяли фотометрическим методом. 5 г образца в чашке из стеклоуглерода растворяют в смеси 20 мл HF+15 мл HCl+5 мл HNO<sub>3</sub>. Полученную пасту обрабатывают 4–5 мл HNO<sub>3</sub>

при 60–70° С до полной отгонки HF. Полученный осадок растворяют в воде, фильтруют в колбе емкостью 50 мл и разбавляют водой до метки. При определении скандия (III) фотометрическим методом аликвотную часть полученного раствора помещают в колбу емкостью 25 мл, добавляют 2 мл 1 · 10<sup>-3</sup> М раствора R, 1 мл 1 · 10<sup>-3</sup> М раствора ТФГ и разбавляют до метки раствором pH 1. Оптическую плотность растворов измеряют при 440 нм в кювете толщиной 1 см на КФК-2 относительно раствора контрольного опыта. Методом добавок установлено точность определения.

#### Литература:

1. Марченко З. Фотометрическое определение элементов. М.: Мир. 1971. 501 с.
2. Маслакова Т.И., Первова И.Г., Липунова Г.Н. Журнал Заводская лаборатория № 3. 2002 год. с. 10.
3. Дегтев М.И., Мельников П.В. Журнал Заводская лаборатория № 5. 1998 год. с. 12.
4. Гамбаров Д.Г. Дис.док.хим.наук. М.: МГУ, 1984, с. 38.
5. Лазарев А.И. Харламов И.П. Яковлев П.Я. Яковлева Е.Ф. Справочник химика-аналитика.М.: Металлургия, 1976. с. 184.
6. Бусев А.И. Практическое руководство по аналитической химии редких элементов. М.: Химия. 1966. 412 с.
7. Булатов М.М. Калинин Н.П. Практическое руководство по фотометрическим методам анализа. Л.: Химия, 1986. с. 432.
8. Астахов К.В., Вернинкин В.Б., Зимин В.И., Зверькова А.Д. Журнал неорганической химии. 1961, Т6, с. 2069
9. Худякова Т.А., Крешков А.П. Теория и практика кондуктометрического и хронокондуктометрического анализа. М.: Химия, 1976, 304 с.

## Газочувствительные нанокompозиты на основе диоксида олова, полученные методом химического соосаждения

Рогачков Виктор Викторович, студент  
Пензенский государственный университет

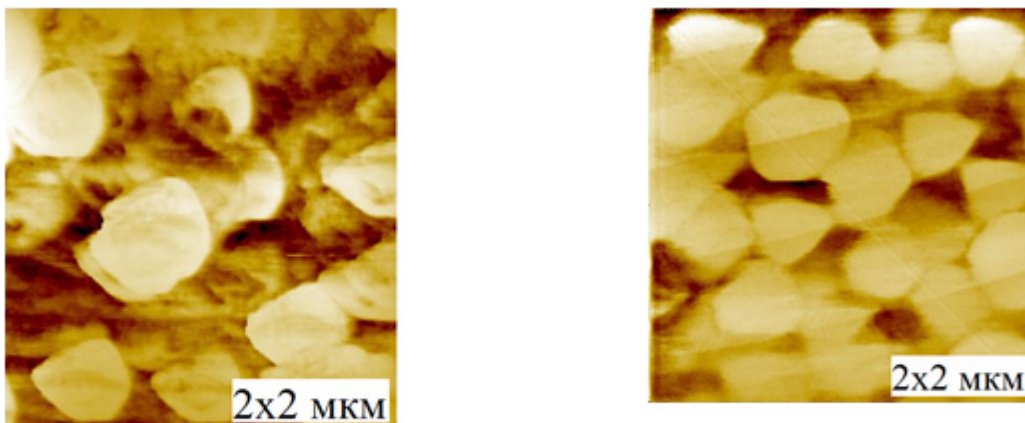
В настоящее время пленки на основе диоксида олова привлекают большой интерес возможностью их применения в широком диапазоне областей: оптоэлектронике, гибридной микроэлектронике, фотопреобразовании солнечной энергии и других [1–8]. Самые многочисленные методы сегодня позволяют изготовить такие пленки. При этом их свойства существенно зависят от метода изготовления [9–13]. Среди основных методов получения диоксида олова можно назвать: гидролиз водно-спиртовых растворов хлоридов олова; пиролиз хлористого олова; реактивное катодное распыление на постоянном токе; высокочастотное магнетронное распыление; электронно-лучевое испарение; метод молекулярного напыления; окисление слоев металлического олова; импульсное лазерное напыление [14–18]. Всем рассмотренным методам присущи различные недостатки. Так, например, в первых двух методах — это недостаточная температурная стабильность, а также трудное достижение стехиометричности состава получаемой пленки. Оставшиеся методы используют дорогостоящее оборудование создания и поддержания определенного уровня вакуума или определенного давления в рабочей камере [19–21].

В настоящей работе рассмотрен метод химического соосаждения, который лишен данных недостатков. Метод химического соосаждения позволяет наиболее точно контролировать и регулировать размер кристаллитов в нанопорошках и пленках, а также достичь равномерного распределения частиц по размерам. Суть метода заключается в формировании геля одновременным осаждением

амфотерных гидроксидов металлов из их растворов с последующим прокаливанием. Основными достоинствами метода является следующее: простота и разнообразие методик; возможность получить широкий спектр материалов с заданной морфоструктурой; возможность введения добавок на различных стадиях синтеза; возможность точного контроля размера кристаллитов; равномерное распределение наночастиц по размерам; высокая степень однородности смешиваемых компонентов.

Несмотря на большое количество преимуществ, метод химического соосаждения обладает и некоторыми недостатками: узкий диапазон pH количественного соосаждения гидроксидов каждого из компонентов; высокая степень агломерации нанопорошков. Из литературных источников можно сделать вывод, что сведения о закономерностях формирования наноматериалов методом химического соосаждения противоречивы и неполны. Поэтому цель работы — разработка методик формирования тонких пленок для газовых сенсоров методом химического соосаждения.

В работе предложена методика синтеза газочувствительных пленок. На первом этапе были выбраны оптимальные условия для проведения процесса химического осаждения (pH, концентрация исходных растворов, скорость и температура осаждения, время нахождения осадка в растворе) в системах ( $97\text{SnO}_2\text{-}3\text{In}_2\text{O}_3$ ) мол. % и ( $95\text{SnO}_2\text{-}5\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) мол. %. Далее следовало получение гелеобразных осадков гидроксидов в системах ( $97\text{SnO}_2\text{-}3\text{In}_2\text{O}_3$ ) мол. % и ( $95\text{SnO}_2\text{-}5\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) мол. % в результате



а)

а) —  $97\text{SnO}_2\text{-}3\text{In}_2\text{O}_3$ ;

б)

б) —  $95\text{SnO}_2\text{-}5\text{Fe}_2\text{O}_3$

Рис. 1. Микрофотографии образцов, полученные на АСМ

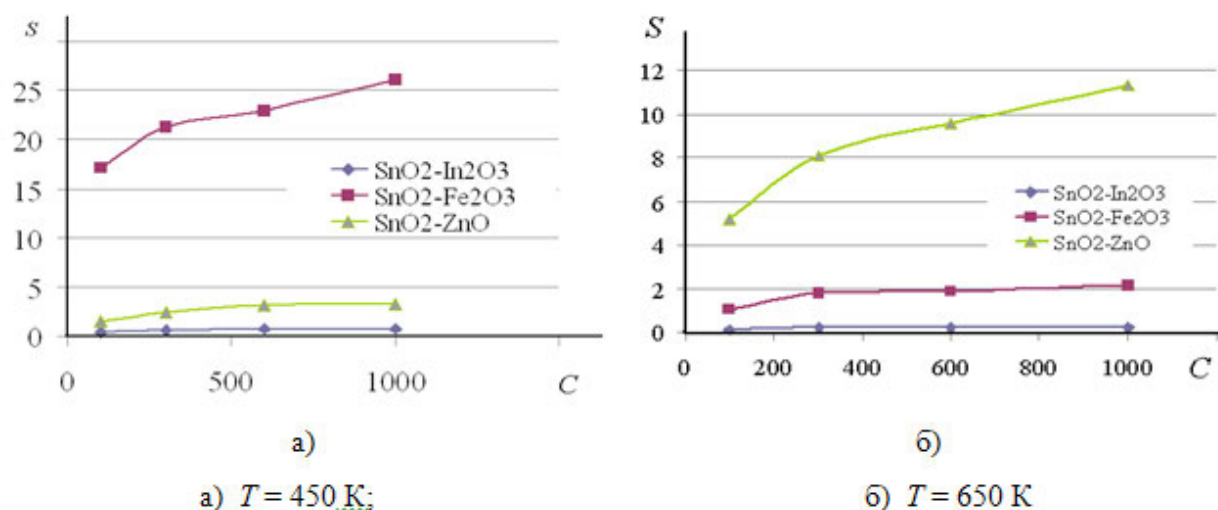


Рис. 2. Газочувствительность полученных образцов

взаимодействия растворов азотнокислых солей с водным раствором аммиака. Далее следовала ультразвуковая обработка осажденных гидроксидов на основе SnO<sub>2</sub> при температуре 25°C (5 ч) и высушивание и получение аморфных порошков. На последнем этапе происходило нанесение суспензий порошков в этаноле на подложки с последующим отжигом при температуре 450–500°C.

Полученные пленки были исследованы методом атомно-силовой микроскопии. На рисунке 1 представлены микрофотографии полученных образцов. Видно, что все пленки состоят из иерархически организованных зерен, размер которых составляет 100...400 нм.

С помощью автоматизированной установки все полученные образцы были исследованы на газочувствительность к этанолу. Полученные результаты представлены на рисунке 2. Видно, что при всех трех измеренных температурах композиты состава 97SnO<sub>2</sub>-3In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> проявляли минимальную чувствительность к этанолу. При низких температурах максимальной чувствительностью обладали композиты 95SnO<sub>2</sub>-5Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, а в диапазоне температур 500...600 К — 95SnO<sub>2</sub>-5ZnO. Низкая чувствительность

состава 97SnO<sub>2</sub>-3In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, вероятно, связано с минимальной каталитической активностью данных композитов, что связано с тем, что индий является *p*-элементом. Повышенная чувствительность других композитов связана с несколькими механизмами [22–24]:

- молекулы или атомы газа-восстановителя адсорбируются на поверхности полупроводников *n*-типа в качестве доноров, инжектируя электроны в объем;
- газ-восстановитель реагирует на поверхности полупроводника с хемосорбированным кислородом, возвращая локализованные электроны в зону проводимости.

Таким образом, в результате проведенных исследований разработаны физико-химические закономерности формирования газочувствительных нанокompозитов на основе модифицированного диоксида олова, полученных методом химического соосаждения. Показано, что диоксид олова является перспективным полупроводниковым материалом твердотельной электроники с точки зрения применения в газочувствительных датчиках адсорбционного типа.

Литература:

1. Пронин И. А., Аверин И. А., Димитров Д. Ц., Крастева Л. К., Папазова К. И., Чаначев А. С. Исследование чувствительности к этанолу переходов ZnO — ZnO:Fe на основе тонких наноструктурированных пленок, полученных с помощью золь-гель-технологии // Нано- и микросистемная техника. — 2013. — № 3 — С. 6–10;
2. Пронин И. А., Аверин И. А., Александрова О. А., Мошников В. А. Модифицирование селективных и газочувствительных свойств резистивных адсорбционных сенсоров путем целенаправленного легирования // Датчики и системы. — 2013. — № 3. — С. 13–16;
3. Moshnikov V. A., Gracheva I. E., Kuznezov V. V., Maximov A. I., Karpova S. S., Ponomareva A. A. Hierarchical nanostructured semiconductor porous materials for gas sensors // Journal of Non-Crystalline Solids. 2010. Т. 356. № 37–40. С. 2020–2025;
4. Bakin A. S., Bestaev M. V., Dimitrov D.Tz., Moshnikov V. A., Tairov Yu.M. SnO<sub>2</sub> based gas sensitive sensor // Thin Solid Films. 1997. Т. 296. № 1–2. С. 168–171;
5. Аверин И. А., Мошников В. А., Пронин И. А. Влияние типа и концентрации собственных дефектов на структуру и свойства диоксида олова // Нано- и микросистемная техника. 2013. — № 1. — С. 27–29;

6. Аверин И. А., Карманов А. А., Мошников В. А., Печерская Р. М., Пронин И. А. Особенности синтеза и исследования нанокompозитных плёнок, полученных методом золь-гель-технологии // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. — 2012. — № 2. — С. 155–163;
7. Аверин И. А., Пронин И. А. Особенности фазового состояния неравновесных термодинамических систем полимер-растворитель // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. — 2012. — № 2. — С. 163–170;
8. Пронин И. А. Анализ концентрации собственных дефектов при создании газочувствительных структур на основе диоксида олова // Молодой ученый. — 2012. — № 8. — С. 7–8;
9. Аверин И. А., Александрова О. А., Мошников В. А., Печерская Р. М., Пронин И. А. Типы фазового распада растворов полимеров // Нано- и микросистемная техника, № 7, 2012. — с. 12–14;
10. Аверин И. А., Мошников В. А., Пронин И. А. Особенности созревания и спинодального распада самоорганизующихся фрактальных систем // Нано- и микросистемная техника, № 5, 2012 год, с. 29–33;
11. Пронин И. А. Управляемый синтез газочувствительных пленок диоксида олова, полученных методом золь-гель-технологии // Молодой ученый. — 2012. — № 5. — С. 57–60;
12. Gracheva I. E., Moshnikov V. A., Maraeva E. V., Karpova S. S., Aleksandrova O. A., Alekseyev N. I., Kuznetsov V. V., Semenov K. N., Startseva A. V., Sitnikov A. V., Olchowik G., Olchowik J. M. Nanostructured materials obtained under conditions of hierarchical self-assembly and modified by derivative forms of fullerenes // Journal of Non-Crystalline Solids. 2012. Т. 358. № 2. С. 433–439;
13. Давыдов С. Ю., Мошников В. М., Федотов А. А. Адсорбция газов на полупроводниковых оксидах // Письма в «Журнал технической физики». 2004. Т. 30. № 17. С. 39;
14. Вошилова Р. М., Димитров Д. П., Долотов Н. И., Кузьмин А. Р., Махин А. В., Мошников В. А., Таиров Ю. М. Формирование структуры газочувствительных слоев диоксида олова, полученных реактивным магнетронным распылением // Физика и техника полупроводников. 1995. Т. 29. № 11. С. 1987;
15. Томаев В. В., Гарькин Л. Н., Мирошкин В. П., Мошников В. А. Исследование газочувствительности в наноструктурированных пленках на основе диоксида олова методом импедансной спектроскопии // Физика и химия стекла. 2005. Т. 31. № 2. С. 331–339;
16. Грачёва И. Е., Мошников В. А., Пронин И. А. Исследование материалов на основе диоксида кремния в условиях кинетики самосборки и спинодального распада двух видов // Нанотехника. — 2011. — № 2. — с. 46–54;
17. Аверин И. А., Печерская Р. М., Пронин И. А. Особенности низкотемпературной самоорганизации золь на основе двухкомпонентных систем на основе  $\text{SiO}_2$  —  $\text{SnO}_2$  // Нано- и микросистемная техника, № 11, 2011 год, с. 27–30;
18. Аверин И. А., Никулин А. С., Мошников В. А., Печерская Р. М., Пронин И. А. Чувствительный элемент газового сенсора с наноструктурированным поверхностным рельефом // Датчики и системы. — 2011. — № 2. — 24–27;
19. Аверин И. А., Карпова С. С., Никулин А. С., Мошников В. А., Печерская Р. М., Пронин И. А. Управляемый синтез тонких стекловидных пленок // Нано- и микросистемная техника. — 2011. — № 1. — С. 23–25;
20. Якушова Н. Д. Методы синтеза пленок модифицированного диоксида олова и их сенсорные свойства // Молодой ученый. 2013. № 2. С. 9–14;
21. Мошников В. А., Спивак Ю. М. Метрологический тестовый образец // патент на полезную модель RUS 95396 11.01.2010;
22. Александрова О. А., Бондоков Р. Ц., Саунин И. В., Таиров Ю. М. Подвижность носителей заряда в двухслойных структурах  $\text{PbTe/PbS}$  // Физика и техника полупроводников. 1998. Т. 39. № 9. С. 1064;
23. Aleksandrova O. A., Akhmedzhanov A. T., Bondokov R. Ts., Moshnikov V. A., Saunin I. V., Tairov Yu. M., Shtanov V. I., Yashina L. V. The  $\text{In/PbTe}$  barrier structures with a thin intermediate insulating layer // Semiconductors. 2000. Т. 34. № 12. С. 1365–1369;
24. Александрова О. А., Алексеев П. А., Кононова И. Е., Максимов А. И., Мараева Е. В., Мошников В. А., Муратова Е. Н., Налимова С. С., Пермяков Н. В., Спивак Ю. М., Титков А. Н. Диагностика материалов методами сканирующей зондовой микроскопии / под редакцией проф. Мошникова В. А.: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2012. 172 с.

## О некоторых возможных механизмах замедления каталитических реакций

Толчинский Юрий Аврамович, кандидат технических наук, доцент;  
Ковальчук Александр Александрович, аспирант  
Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт» (Украина)

*В статье рассмотрены некоторые возможные механизмы замедления хода поверхностных каталитических реакций. Приведены основные различия между «медленными» и «быстрыми» каталитическими замедлениями. Кроме того описана параметрическая зависимость устойчивости стационарных состояний от значений констант скорости поверхностных реакций и концентраций веществ-участников в объёме смеси.*

**Ключевые слова:** каталитические реакции, диффузия, пограничный слой, кинетика, гармонический рельеф, константа скорости, кластер, катализатор, газовая фаза.

### Введение

Каталитические реакции играют исключительно важную роль в производстве химических продуктов. Более 80 % всей их номенклатуры составляют продукты, полученные в результате протекания каталитических реакций [1–5]. В общем множестве каталитических реакций значительную долю занимают реакции гетерогенного катализа. Специфичность этого вида катализа состоит в том, что химическое действие разыгрывается на поверхности твёрдого катализатора с участием промежуточных веществ [6,7]. Промежуточные вещества представляют собой короткоживущие соединения атомов (или их групп) с реагентами и продуктами реакции на поверхности, которые являются долгоживущими, в газовой фазе. В связи с этим процессы адсорбции и десорбции, поверхностной диффузии являются определяющими в гетерогенном катализе [6–9].

### Механизмы, замедляющие протекание поверхностных каталитических реакций

Гетерогенно-каталитические реакции формируются процессами на трёх уровнях. Каждый уровень определяется пространственным масштабом удаления от каталитической поверхности. На первом уровне — на поверхности катализатора происходят поверхностные реакции. На втором уровне — в пограничном слое происходит значительное изменение гидродинамических, объёмных концентрационных и температурных характеристик смеси реагентов и продуктов реакции, но сами каталитические реакции не происходят. На третьем уровне — вне пограничного слоя имеет место ситуация полного перемешивания так, что температуры и концентрации в направлении поперечном к каталитической поверхности являются постоянными [10–12]. Температурные и концентрационные характеристики смеси изменяются только вдоль каталитической поверхности. Использование выражения «пограничный слой» отнесенное ко второму уровню является достаточно условным потому, что на самом деле существует много концентрационных пограничных слоёв и по одному гидродинамическому и температурному: концентрационных слоёв столько, сколько имеется веществ-участников поверхностной гетерогенной каталитической реакции. Температурный слой — единственен, поскольку практически в подавляющем большинстве важных случаев считается, что в приповерхностном слое смеси устанавливается состояние теплового равновесия между компонентами (такое равновесие может нарушаться в высокочастотных внешних физических полях). Если концентрации веществ-участников реакции на масштабах второго и третьего уровней малы, то гидродинамические и тепловые характеристики смеси определяются соответствующими характеристиками нейтрального (фоновое) компонента, который не принимает участия в каталитической реакции. В противоположном случае (в отсутствии нейтрального компонента) все характеристики становятся зависящими от приповерхностных концентраций. В целом второй и третий уровни являются гидродинамическими, причём второй уровень способен породить достаточно большое разнообразие видов поведения. Причина этого заключается в том, что в уравнения диффузионных пограничных слоёв для каждого компонента толщины остальных диффузионных слоёв и остальные граничные концентрации входят в качестве параметров, а сами слои имеют неодинаковую толщину [12–14]. На третьем уровне причины разнообразного поведения реагирующей газовой смеси имеют совершенно иную природу, которая обусловлена разнообразием внутреннего строения каталитической среды. Последнее же определяется строением её элементарной ячейки (если каталитическая среда является регулярной) или типичным представителем семейства элементарных ячеек (если каталитическая среда нерегулярная). Из выше сказанного становится понятно, что каких либо причин значительного замедления скорости каталитической реакции на втором и третьем уровнях нет.

Причины замедления темпа каталитической реакции следует искать на первом уровне, т.е. на самой поверхности. Само явление замедления может быть медленным и быстрым. Медленное, имеющее временной порядок  $10^5 \div 10^7$  с принято связывать с «отравлением» каталитической поверхности веществами, участниками реакции. Быстрое изменение связано с быстрым изменением давления смеси имеет временной порядок, равный времени изменения давления [8].



Проблема быстрого изменения скорости реакции, многократно наблюдается в экспериментах и до сих пор не имеет удовлетворительного объяснения [8]. Решение этой проблемы важно не только в плане понимания механизмов поверхностных реакций, но и в сугубо практическом плане потому, что несмотря на существенную модифицирующую роль процессов второго и третьего уровней, лицо поверхностной каталитической реакции определяется на первом уровне, который формирует для вышерасположенных уровней граничные условия [14].

Причины изменения скорости реакции могут быть связаны с изменением равновесных значений поверхностных концентраций веществ-участников реакции или/и с изменением значений констант скорости, входящих в кинетические уравнения.

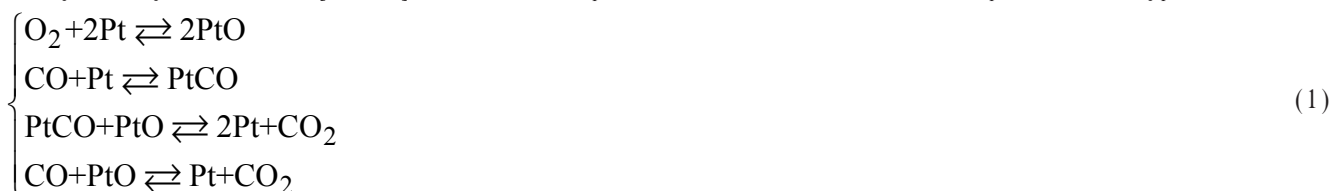
К настоящему моменту достигнуто понимание того, что уравнения кинетики поверхностных реакций для промежуточных веществ, представляют собой уравнения динамических систем так, что им присуще всё то разнообразие поведения, что и динамическим системам в других областях науки и техники.

Мировоззрение, выработанное в настоящее время, заключается в том, что динамические системы химического типа рассматриваются как сосредоточенные и распределённые. И для тех, и для других изучаются стационарные состояния и их устойчивость. Для сосредоточенных систем установлено наличие множества стационарных состояний, часть которых устойчива, а часть — нет. Положение и характер устойчивости стационарных состояний параметрически зависит от значений констант скорости поверхностных реакций и концентраций веществ-участников в объёме смеси. В случае неустойчивого стационарного состояния для определения его дальнейшей судьбы необходимо изучать распределённую систему с учётом поверхностной диффузии. Неустойчивые стационарные состояния сосредоточенной системы могут превращаться в устойчивые стационарные состояния распределённой системы [9,15]. Стационарные состояния распределённой системы также могут быть неустойчивыми и эволюционировать к другим устойчивым распределённым состояниям или к сосредоточенным состояниям.

Для состояний распределённых систем характерно наличие рельефа концентраций, который часто имеет локально периодический или квазипериодический характер. Наличие рельефа является результатом взаимной конкуренции диффузии и химической кинетики. В том случае, когда рельеф имеет участки, на которых концентрация одного из компонентов близка к единице, концентрация остальных компонентов близка к нулю. В такой ситуации скорость реакции значительно уменьшается, что выглядит как её замедление. Такой периодический или квазипериодический рельеф выглядит достаточно далёким от простого гармонического и представляет собой сумму большого числа простых гармонических рельефов, расположенных вокруг основной гармонике. Такой рельеф может возникать при изменении температуры на поверхности или парциального давления компонента или общего давления смеси. Параметры основной и сопутствующих гармоник рельефа, помимо упомянутых величин, зависят от коэффициентов диффузии компонентов на поверхности и констант скоростей отдельных стадий.

Как предельный может возникнуть такой рельеф, у которого в отдельных местах концентрация компонента равна единице. Тогда это место можно рассматривать как кластер, для которого реакция с другими промежуточными веществами не происходит в силу их отсутствия внутри кластера. Если в остальной части рельефа присутствуют другие промежуточные вещества, то их взаимодействие с кластером возможно только по линии его границы. На границе кластера образуется слой промежуточного вещества-продукта поверхностной реакции. Если время жизни этого слоя меньше характерного времени поверхностной реакции, то этот слой не оказывает влияния на её скорость. Но если имеет место обратная ситуация, тогда слой продукта замедляет поверхностную реакцию с кластером из-за необходимости диффузии компонента кластера и остальных компонентов через этот слой. С течением времени толщина этого слоя растёт, составляя всё большее и большее диффузионное сопротивление. Следовательно, в описываемой ситуации замедление определяется параметрами десорбции, кинетики и диффузии.

Существующие методы получения решения уравнений равновесия распределённых систем, т.е. системы с диффузией сводятся к исследованию положений равновесия сосредоточенных систем и малых отклонений от них [15]. Рельефы, описанные выше нельзя получить вблизи положений равновесия сосредоточенной системы. Эти рельефы расположены параметрически далеко от таких положений. Для этого случая методы малого параметра непригодны. Для преодоления указанной трудности следует обратить внимание на тот факт, что имеется частичное формальное сходство между уравнениями одномерных колебаний связанных величин и уравнениями диффузионной кинетики. Последние, можно рассматривать в качестве колебательных с переменными массами. В роли масс выступают комбинации концентраций промежуточных веществ, а в роли времени выступает координата вдоль поверхности. Для большей ясности можно в качестве примера рассмотреть одну из простейших каталитических реакций доокисления монооксида углерода до диоксида, которая изучается уже много лет [4,7–9]. Кинетика этой реакции на платиновом катализаторе показана в уравнении 1:



Реакции (1) отвечает сосредоточенная модель стационарного состояния, описанная уравнением 2:

$$\begin{cases} 2k_1^+ P_1 (1-x-y)^2 - 2k_1^- x^2 - k_3 xy - k_4 P_2 x = 0 \\ k_2^+ P_2 (1-x-y) - k_2^- y - k_3 xy = 0 \end{cases} \quad (2)$$

где  $x, y, 1-x-y$  – концентрации PtO, PtCO, Pt на поверхности;

$P_1, P_2$  – парциальные давления  $O_2$  и CO в смеси.

На величины  $x, y$  накладываются очевидные условия:  $x \geq 0; y \geq 0; x + y \leq 1$ .

Величины  $k_i^+$  подчиняются правилу Аррениусовской кинетики и описываются уравнением 3:

$$k_i^\pm = k_{i0}^\pm \exp^{-E_i/RT} \quad (3)$$

где  $E_i$  – энергия реакции;

$R$  – универсальная газовая постоянная;

$T$  – температура.

Распределённая диффузионно-кинетическая модель реакции (1) состоит из уравнений, имеющих форму равенства левой и правой частей, причём правые части состоят из уравнений (2), а левые части приведены в уравнении 4:

$$\begin{cases} \left[ D_{xy}y + D_{xz}(1-x-y) + D_{xz}x \right] \cdot \frac{d^2x}{ds^2} + (D_{xz} - D_{xy}) \cdot x \cdot \frac{d^2y}{ds^2} \\ \left[ D_{xy}x + D_{yz}(1-x-y) + D_{yz}y \right] \cdot \frac{d^2y}{ds^2} + (D_{yz} - D_{yx}) \cdot y \cdot \frac{d^2x}{ds^2} \end{cases} \quad (4)$$

где  $D_{ik}$  – парные коэффициенты диффузии компонентов  $i$  и  $k$ :  $i, k = x, y, z$ ;

$z$  – концентрация свободных мест на поверхности катализатора;

$s$  – координата на поверхности катализатора.

Уравнение, в составе которого уравнение (5) в левой части и уравнение (2) в правой части описывает одномерную диффузионную кинетику двух нелинейных осцилляторов переменных масс, в качестве времени выступает координата поверхности. Кроме переменных масс эта система отличается от своего автоколебательного анализа наличием граничных условий, требующих обращения в ноль граничных диффузионных потоков [9]. В теории автоколебаний и вынужденных колебаний нелинейных систем применяют ряд методов поиска основной и сопутствующих гармоник более или менее высоких, чем основная. В результате такого применения вместо уравнений колебаний получается система нелинейных уравнений для амплитуд, частот и фаз основной и сопутствующих частот [16–19]. Применительно к уравнениям диффузионной кинетики, указанный метод можно видоизменить следующим образом: задать гармоническое автоколебание, найти его частоту, после чего найти ближайшую к этой частоте гармонику. Эту гармонику считать основной и, отталкиваясь от неё, найти несколько сопутствующих гармоник. После их параметрического исследования следует выделить такие решения, которые отвечают рельефу, замедляющему реакцию (если таковые имеются).

Следует также отметить, что в общем случае величины  $D_{ik}$  являются функциями концентраций  $x$  и  $y$ , если между промежуточными веществами существуют латеральные взаимодействия [9, 20]. В этом случае коэффициенты диффузии следует вычислять по химическому потенциалу, который включает слагаемые с парными, тройными и прочими взаимодействиями [21–24].

Одним из механизмов длительного замедления скорости реакции, приводящего к «отравлению» поверхности катализатора может быть проникновение компонентов, участников реакции, в объём катализатора через его поверхность, минуя стадию образования промежуточного поверхностного вещества. В этом случае молекула газовой фазы внедряется в объём и движется внутри него диффузионным путём, как в глубину, так и к поверхности. Накопление значительного количества приповерхностных молекул, из газовой фазы, приводит к деформации приповерхностных слоёв катализатора, искажению его решётки и к частичному переключению свободных поверхностных ненасыщенных связей в объём. Уменьшение свободных поверхностных связей и деформирование решётки поверхностных слоёв катализатора приводит к снижению поверхностной активности катализатора. В роли модельного аппарата при описании этих явлений можно использовать аппарат взаимной диффузии в металлах и сплавах. Этот аппарат использует представления диффузии атомов внедрения, замещения и вакансий. Его следует применять в условиях больших температурных градиентов в объёме потому, что большинство поверхностных каталитических реакций сопровождается интенсивным выделением тепла.

На вопрос о том, откуда берутся молекулы газовой фазы, проникающие в объём катализатора, можно ответить, что на эту роль подходят «горячие» молекулы газовой фазы, имеющие температуру в пределах от тысячи до десяти тысяч градусов. Такие молекулы всегда есть: из них состоят «Максвелловские хвосты» распределений молекул по величине скорости [25]. Простая оценка показывает, что таких молекул должно быть не меньше, чем  $e^{-16} \div e^{-20}$  от общего числа

молекул компонента в газовой фазе. В случае большого давления эту величину следует умножить на общую плотность молекул так, что за период времени порядка года ( $10^7$ с) приповерхностная концентрация «горячих» газовых молекул может значительно изменить свойства поверхности катализатора.

### Вывод

В заключение следует сказать, что в настоящей работе рассмотрены некоторые возможные механизмы замедления хода поверхностных каталитических реакций. Проведено различие между «быстрым» и «медленным» замедлениями. Предлагаются модели (модельные подходы) замедления. Обсуждается возможность использования представлений и результатов, выработанных и полученных в теории нелинейных автоколебаний и теорию взаимной диффузии в твёрдых телах применительно к моделированию явлений в поверхностных каталитических реакциях.

### Литература:

1. Катализ в промышленности: в 2 т. / ред. Б. Лич, пер. с англ. под ред. В.М. Грязнова. — М.: Мир. Т. 1 / Б. Лич, Ю. Сандерс, Э. Шлоссмахер и др.; пер. Н.В. Ореховой. — 1986. — 324 с. Т. 2 / А. Слейт, У. Чоудри, Ф. Вагнер и др.; пер. А.Н. Караванова. — 1986. — 291 с.
2. Томас Ч.Л. Промышленные каталитические процессы и эффективные катализаторы / Ч.Л. Томас. — М.: Мир, 1973. — 387 с.
3. Сеттерфилд Ч. Практический курс гетерогенного катализа / Ч. Сеттерфилд. — М.: Мир, 1984. — 520 с.
4. Боресков Г.К. Гетерогенный катализ / Г.К. Боресков. — М.: Наука, 1986. — 304 с.
5. Розовский А.Я. Катализаторы и реакционная среда / А.Я. Розовский. — М.: Наука, 1988. — 303 с.
6. Киперман С.Л. Основы химической кинетики в гетерогенном катализе / С.Л. Киперман. — М.: Химия, 1979. — 352 с.
7. Горбань А.Н. Очерки о химической релаксации / А.Н. Горбань,
8. Г.С. Яблонский, В.И. Быков. — Новосибирск: Наука, 1986. — 320 с.
9. Яблонский Г.С. Кинетика модельных реакций гетерогенного катализа /
10. В.И. Быков, Г.С. Яблонский, В.И. Елохин. — Новосибирск: Наука, 1984. — 224 с.
11. Быков В.И. Моделирование критических явлений в химической кинетике / В.И. Быков. Изд. 2-е, испр. и доп. — М.: КомКнига, 2006. — 328 с.
12. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя / Г. Шлихтинг. — М.: Наука, 1969. — 746 с.
13. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена / С.С. Кутателадзе. — М.: Атомиздат, 1979. — 416 с.
14. Франк-Каменецкий Д.А. Основы макрокинетики. Диффузия и теплопередача в химической кинетике / Д.А. Франк-Каменецкий. — Долгопрудный: «Интеллект», 2008. — 408 с.
15. Алексеев Б.В. Физическая газодинамика реагирующих сред / А.М. Гришин, Б.В. Алексеев. — М.: Высшая школа, 1985. — 316 с.
16. Ved O., Kapustenko P., Tolchynsky Y. Mathematical Model of the Carbon Monoxide Conversion in porous Catalyst // Chemical Engineering Transaction. — 2011. — Vol.25 (2). — p. 1025–1030.
17. Быков В.И. Нелинейные модели химической кинетики / В.И. Быков, С.Б. Цыбенкова. — М.: Красанд, 2011. — 400 с.
18. Основы теории колебаний / [В. В. Мигулин, В.И. Медведев, В.Н. Парыгин, Е.Р. Мустель]. — М.: Наука, 1988. — 391 с.
19. Ланда П.С. Нелинейные колебания и волны / П.С. Ланда. — М.: Наука, 1997. — 495 с.
20. Тондл А. Автоколебания механических систем / А. Тондл. — М.: Мир, 1979. — 429 с.
21. Скучик Е. Простые и сложные колебательные системы / Е. Скучик. — М.: Мир, 1971. — 558 с.
22. Жданов В.П. Элементарные физико-химические процессы на поверхности / В.П. Жданов. — Новосибирск: Наука, 1988. — 320 с.
23. Дуров В.А. Термодинамическая теория растворов / В.А. Дуров, Е.П. Агеев. — М.: УРСС Едиториал, 2003. — 248 с.
24. Герасимов Я.И. Термодинамика растворов / Я.И. Герасимов, В.А. Гейдерих. — М.: МГУ, 1980. — 184 с.
25. Смирнова Н.А. Молекулярная теория растворов / Н.А. Смирнова. — Л.: Химия, 1987. — 336 с.
26. Пригожин И.Р. Молекулярная теория растворов / И.Р. Пригожин. — М.: Металлургия, 1990. — 360 с.
27. Ландау Л.Д. Теоретическая физика: учеб. пособие для вузов: в 10 т. / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. 5-е изд., стереот. — М.: Физматлит, Т. 5: Статистическая физика. Ч. 1. — 2002. — 616 с.

## Химико-технологические аспекты процесса регенерации нефтеотходов

Чупрова Лариса Васильевна, кандидат педагогических наук, доцент;  
Муллина Эльвира Ринатовна, кандидат технических наук, доцент;  
Ершова Ольга Викторовна, кандидат педагогических наук, доцент;  
Родионова Наталья Ильинична, старший преподаватель  
Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова

Наблюдающийся в настоящее время устойчивый рост промышленного производства сопровождается увеличением количества промышленных отходов, среди которых значительную долю составляют отработанные нефтепродукты, основную часть которых составляют минеральные масла.

Источниками образования отработанных масел являются: транспортные средства, станки и различное промышленное оборудование, энергетическое оборудование и технологические процессы.

Общая масса минеральных масел, поступающих в отходы в течение года во всем мире, оценивается в 40 млн.т. Из них только 20 млн.т собирается, а подвергается переработке не более 2 млн. т, что составляет 5 % от количества образующихся отходов [1, 3].

Россия, где переработке подвергается всего 3 % отработанных масел, значительно уступает большинству европейских стран, в которых перерабатывается 30–38 % отработанных масел [3]. Поэтому проблема регенерации отработанных масел очень актуальна для нашей страны.

В соответствии с рядом принятых постановлений директивных органов, отработанные нефтепродукты подлежат повторному использованию как ценные материально-технические ресурсы. В связи с этим все предприятия и организации обязаны осуществлять сбор, учет, рациональное использование и сдачу отработанных нефтепродуктов на базы нефтесбытовых организаций для передачи их на пункты регенерации или нефтеперерабатывающие заводы. Большая часть отработанных масел, как правило, регенерируется на местах потребления [1, 3, 4].

В зависимости от процесса регенерации получают 2–3 фракции базовых масел, из которых компаундированием и введением присадок могут быть приготовлены товарные масла: моторные, трансмиссионные, гидравлические, а также пластичные смазки и смазочно-охлаждающие жидкости [3, 5]. Средний выход регенерированного масла из отработанного составляет 70–85 % в зависимости от применяемого способа регенерации, в то время как при переработке сырой нефти выход товарных масел не превышает 10 % [2].

Наиболее важным фактором, определяющим возможность и технологические особенности переработки отходов смазочных масел, собираемых в регионах, например, в крупных городах, является сложный и непостоянный состав сырья, содержащего не менее 60 % отработанных моторных масел. Высокоэффективные присадки, содержащиеся в современных моторных маслах, и тя-

желые углеводородные компоненты, входящие в состав ряда масел, приводят к образованию стабильных коллоидных дисперсий и гелей, удерживающих в объеме отработанных масел значительное (до 10 %) количество загрязнений, подлежащих удалению при переработке в товарные виды нефтепродуктов.

Апробированная в лабораторных условиях комплексная технология, обеспечивающая оптимальную степень очистки и фракционирования отработанных масел в зависимости от параметров каждой партии сырья, предусматривает поэтапную переработку.

На первом этапе сырье произвольного состава после обычных подготовительных операций подвергается обработке серной кислотой. Серная кислота используется в значительно меньшем количестве, чем при известных способах сернокислого обессоливания, но достаточном для нейтрализации диспергирующих компонентов и устранения их действия. После удаления образующегося шлама остатки кислоты нейтрализуются беззольным органическим основанием. Обеззоленные таким образом отходы масел полностью соответствуют стандарту на топочный мазут марки 100 и могут быть реализованы как полноценное котельное топливо с рентабельностью около 100 %.

После этой стадии проводится экспресс-анализ компонентов. Перспективные партии сырья подвергают вакуумной перегонке в два этапа. Вначале производится отгон топливных фракций и наиболее легких масляных фракций с получением на выходе печного или газотурбинного топлива. Затем при температуре 290–350°C и давлении 0,1 атм отгоняется средний масляный дистиллят. Общая глубина отгона не превышает 70–80 %, что предотвращает образование осадков, их разложение и коксование на поверхностях испарителя.

Остаток перегонки добавляется в котельное топливо, получаемое сернокислотной очисткой. Дистиллятные масляные фракции вследствие удаления наиболее легких и наиболее тяжелых компонентов имеют вязкостно-температурные и другие свойства, соответствующие дистиллятным индустриальным и базовым нефтяным маслам, и могут быть использованы в качестве базовых масел для производства товарных смазочных масел.

Расчетный выход продукции на количество сырья: котельное топливо – 30–40 %, базовые масла – 30–35 %, печное топливо – 15–25 %, вторичные отходы – 5–8 %.

Кислый гудрон, образующийся в качестве вторичного отхода, состоит из частично сульфированных неуглеводородных веществ, сравнительно легко поддающихся би-

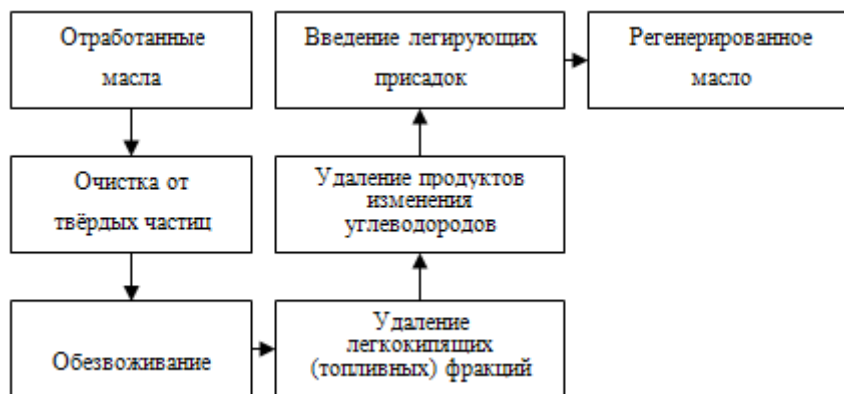


Рис. 1. Стадии процесса регенерации отработанных технических масел

оразложению, что вместе с полным обезвоживанием топлив обеспечивает технологии высокие экологические показатели.

Получение трех видов товарной продукции позволяет оптимизировать глубину переработки отходов смазочных масел и увеличить объем прибыли до уровня, обеспечивающего жизнеспособность предприятия при переработке 1,0–1,5 тыс. тонн отходов в год.

В настоящее время существует два основных направления утилизации отработанных нефтепродуктов: утилизация без переработки и утилизация на основе переработки, т.е. регенерация.

При утилизации без переработки используют механические и термические методы.

Для утилизации отработанных масел на основе переработки могут применяться физико-химические, термохимические и биологические методы, при использовании которых достигается наиболее высокая степень экологической безопасности. Кроме того, физико-химические методы, используемые при регенерации, позволяют получить в качестве целевого продукта регенерированные масла [1, 5, 6].

Регенерация является многоступенчатым процессом и в общем виде включает следующие этапы: очистка отработанных масел от твердых частиц, обезвоживание, удаление легкокипящих фракций и продуктов изменения углеводов и на последнем этапе введение легирующих присадок (рис. 1).

Отдельные этапы процесса регенерации отработанных масел могут исключаться, совмещаться или выполняться в иной последовательности в зависимости от конкретных физико-химических свойств регенерируемого масла и особенностей технологических операций, выбранных для восстановления качества этого масла.

В настоящее время отечественной промышленностью выпускается ряд комплектных установок для регенерации различных масел, которые отличаются разнообразием используемых методов. Среди них есть промышленные стационарные установки с большой производительностью и небольшие установки, предназначенные для очистки

масел на транспортных и промышленных предприятиях [1, 4, 7].

В существующих регенерационных установках на начальных этапах восстановления качества отработанных масел применяются физические методы, позволяющие удалить из масла твердые загрязнения, воду и легкокипящие фракции, затем используются физико-химические методы (главным образом коагуляция и адсорбция), а при необходимости используются химические методы регенерации, которые чаще применяются в заводских условиях [6, 8].

Такая многоступенчатость приводит к усложнению технологии регенерации, требует применения крупногабаритного и металлоемкого оборудования, а также использования разнообразных расходных материалов. Подобные технологии нецелесообразны для малых и средних предприятий, вследствие их высокой стоимости и значительных габаритных размеров. Поэтому при создании регенерационной установки для данных предприятий основной задачей является сокращение количества технологических операций, что позволит упростить конструкцию установки, уменьшить ее габаритные размеры и массу, облегчить работу обслуживающего персонала. Малогабаритные регенерационные установки позволяют производить регенерацию отработанных масел в местах их потребления, исключая таким образом транспортировку отработанных масел на пункты переработки, что связано со значительными потерями масла и загрязнением окружающей среды. Кроме того, при этом обеспечивается сбор и переработка масел по сортам и маркам, что является непременным условием получения качественных продуктов после регенерации.

В связи с этим представляется целесообразным внедрение технологии регенерации отработанных масел с применением установки ультрафильтрации, которая будет более приемлемой для малых и средних предприятий (рис. 2).

Отработанное масло из накопительной емкости 1 насосом 2 подается и реактор 3, в котором в масло вводится раствор сернокислотных реагентов, облегчающих осаждение кислого гудрона. После тщательного переме-



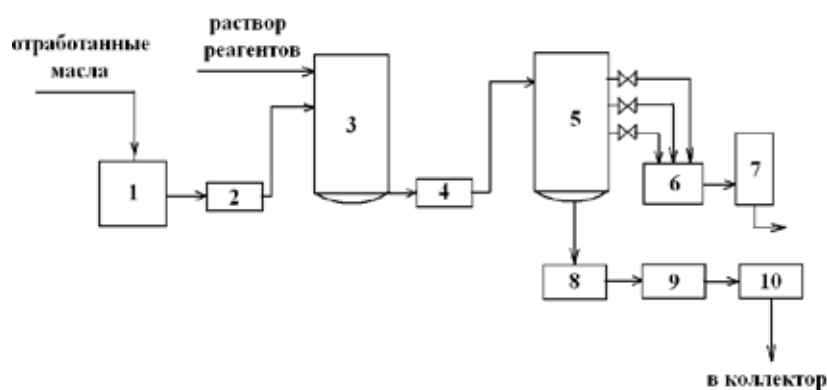


Рис. 2. Технологическая схема регенерации отработанных масел. 1 – накопительная емкость; 2, 4 – насосы; 3 – реактор; 5 – отстойник; 6 – фильтр; 7 – бак; 8 – пресс-фильтр; 9, 10 – установки ультрафильтрации

шивания обработанное масло направляется насосом 4 в отстойник 5. В отстойнике масло собирается в верхней части. Вода и взвешенные частицы, содержащиеся в отработанном масле, оседают в нижней части.

Очищенное масло из отстойника 5 направляется на фильтр 6 механической очистки (от остатков взвешенных примесей) и далее поступает в бак 7 для сбора регенерированного масла. Взвесь и вода из отстойника 5 подается на рамный пресс-фильтр 8, где происходит отделение нефтешлама от водного фильтрата. Фильтрат, содержащий нефтепродукты, после пресс-фильтра 8 направляется на установки ультрафильтрации камерного типа 9 и 10. После двух ступеней ультрафильтрации вода может использоваться для технических нужд или сбрасываться в горколлектор.

Обезвоженный нефтешлам, полученный на рамном пресс-фильтре 8, загружается в полипропиленовые мешки и вывозится на захоронение. Транспортировка и захоронение в мешках позволяют исключить загрязнение почвы и атмосферы нефтешламом.

Регенерированное масло может использоваться повторно после введения в него необходимых присадок. Без введения присадок масло может использоваться для размягчения битума и аналогичных продуктов.

Таким образом, достоинствами данной технологии являются возможность регенерации отработанных масел со значительным содержанием воды и взвеси и внедрение ее непосредственно на месте сбора отработанных масел, что важно для малых и средних предприятий, так как позволяет исключить транспортные расходы.

#### Литература:

1. Пальгунов П.П., Сумароков М.В. Утилизация промышленных отходов. – М.: Стройиздат, 1990. – 352 с.
2. Абросимов А.А. Экология переработки углеводородных систем. – М.: Химия, 2002. – 608 с.
3. Азев В.С., Чулков П.В., Лебедев С.Р., Лунева В.В. Отработанные масла – компоненты дизельных топлив // Химия и технология топлив и масел. – 2001. – № 4. – с. 11–13.
4. Картошкин А.П. Концепция сбора и переработки отработанных смазочных масел // Химия и технология топлив и масел. – 2003. – № 4. – с. 3–5.
5. Остриков В.В., Тупотилов Н.Н., Корнев А.Ю., Власов С.В. Смазочная композиция на основе отработавшего моторного масла // Химия и технология топлив и масел. – 2006. – № 4. – с. 35–37.
6. Аметов В.А., Саркисов Ю.С. Восстановление отработавших масел // Автомобильная промышленность. – 2003. – № 2. – с. 20–22.
7. Остриков В.В., Зазуля А.Н., Голубев И.Г. Современные технологии и оборудование для восстановления отработанных масел. – М.: Росинформиздат, 2001. – 60 с.
8. Левина Л.А., Зеленцов Ю.Н., Елшин А.И. и др. Катализаторная система для гидроочистки базовых масел // Химия и технология топлив и масел. – 2003. – № 4. – с. 14–15.

## БИОЛОГИЯ

### Влияние генов MC4R, POU1F1, PRLR, ESR на продуктивные качества свиней

Бублик Екатерина Михайловна, студентка

Донской государственной аграрный университет (п. Персиановский, Ростовская обл.)

*Маркер-зависимой селекции (MAS, англ.) – селекции на основе ДНК-маркеров (определенных участков нуклеотидной последовательности) является перспективным направлением для повышения эффективности производства продукции животноводства. В качестве генов-маркеров выступают гены, имеющие влияния на биохимические и физиологические процессы в организме, обладающие полиморфизмом (различные аллельные варианты) обусловленным, как правило, точечной мутацией. В работе представлены гены MC4R (меланокортиновый рецептор-4), POU1F1 (гипофизарный фактор транскрипции), ESR (рецептора эстрогена), PRLR (рецептор пролактина) которые являются перспективными маркерами воспроизводительной, откормочной и мясной продуктивности свиней.*

**Ключевые слова:** свиньи, ДНК, гены, POU1F1, MC4R, PRLR, ESR.

Стремительное развитие молекулярной генетики и ДНК-технологий позволяет проводить исследования животных на молекулярном уровне и считывать нуклеотидную последовательность ДНК. На сегодняшний день считается, что в структуре ДНК закодирован весь план развития любого организма. В течение международного научно-исследовательского проекта по расшифровке генома человека было разработано много новых методов, которые в настоящее время все более широко используются для исследований в медицине, фармакологии, сельском хозяйстве и т.д.

В частности, расшифровка геномов сельскохозяйственных животных, создание генных карт, изучение строения определенных генов послужило развитию маркер-зависимой селекции (MAS, англ.) – селекции на основе ДНК-маркеров (определенных участков нуклеотидной последовательности).

В настоящее время в животноводстве все большую популярность приобретают ДНК-маркеры, основанные на генах, белковый продукт которых играет значительную роль в формировании или регуляции некоторых физиологических процессов. Сам ген при этом должен обладать различными аллельными вариантами (полиморфизмом), которые связаны с уровнем продуктивности животных. Определить эти варианты и установить желательный (т.е. тот, который будет связан с наилучшим уровнем продуктивности) является главной задачей маркер-зависимой селекции [1].

В настоящее время у свиней известен целый ряд генов-маркеров, представляющих интерес при селекции на вос-

производительные, откормочные и мясные качества. Перспективными генами-маркерами воспроизводительной продуктивности являются гены рецептора эстрогена (ESR) и рецептора пролактина (PRLR), откормочной продуктивности – гены меланокортинового рецептора 4 (MC4R) и гипофизарного фактора транскрипции (POU1F1) [2].

У свиней ген MC4R локализован на хромосоме 1 (SSC1) и его полиморфный характер связан с энергией роста, толщиной шпика и использованием корма. Функциональной особенностью MC4-рецептора является контроль массы тела и регуляция пищевого поведения. Механизмы этого действия до конца не изучены, но на основании имеющихся литературных данных можно заключить, что некоторые особенности данного процесса реализуются при взаимодействием MC4-рецепторов с системой лептина [3].

Ген POU1F1 расположен на хромосоме 13 (SSC13) и кодирует гипофизарный фактор транскрипции регулирующим транскрипционным фактором, детерминирующим экспрессию гормонов роста и пролактина, который эффективно стимулирует экспрессию гена GH (соматотропный гормон, гормон роста), гена пролактина и тиреотропного гормона (ТТГ) в гипофизе [4].

Ген PRLR детерминирует специфический рецептор гормона передней доли гипофиза – пролактина, который в организме млекопитающих участвует в регуляции роста, метаболизма и размножения. Картирован он на хромосоме 16 (SSC16).

Ген ESR1 локализуется на 1 хромосоме (SSC1) и кодирует специфический рецептор эстрогена, который яв-

Таблица 1. Частота встречаемости аллелей и генотипов по генам MC4R, POU1F1, PRLR, ESR

Ген	Частота встречаемости				
	аллелей		генотипов, %		
PRLR	A	B	AA	AB	BB
	0.24	0.76	15.1	18.9	66.0
ESR	A	B	AA	AB	BB
	0.69	0.31	56.6	24.5	18.9
MC4R	A	G	AA	AG	GG
	0,82	0,18	64,4	35,6	0
POU1F1	C	D	CC	CD	DD
	0,34	0,65	10,2	49	40,8

Таблица 2. Воспроизводительные качества свиноматок КБ разных генотипов по генам PRLR и ESR

Показатели	Количество поросят при рождении, гол.			Многоплодие, гол.		
Ген PRLR						
генотипы	AA	AB	BB*	AA	AB	BB*
M	10,5	10,7	12,3	9,8	9,5	11,7
m	0,74	1,52	0,45	0,84	0,69	0,41
Ген ESR1						
генотипы	AA	AB	BB	AA	AB	BB
M	11,3	12,1	12,7	10,8	11,2	11,9
m	0,85	0,67	0,36	0,91	0,64	0,22

\* – P<0,01

ляется проводником гормонального сигнала эстрогенов. Эстрогены – стероидные гормоны, играющие центральную роль в регуляции процессов размножения.

В лаборатории теоретических основ селекции с.-х. животных Донского государственного университета были проведены исследования по изучению влияния генов-маркеров на продуктивные качества свиней и внедрения их в селекционно-племенную работу «Племзавода Юбилейный» [5].

Цель данной работы описать генетическую структуру по генам MC4R, POU1F1, ESR и PRLR свиноматок крупной белой породы (КБ), оценить влияние полиморфизма генов PRLR и ESR на воспроизводительные и генов MC4R, POU1F1 на откормочные качества. На основании полученных результатов выявить «желательные» генотипы для их дальнейшего закрепления в популяции.

Исследования выполнялись на свиноматках породы крупная белая (КБ) линии Го в ЗАО «Племзавод Юбилейный» Тюменской области. Для проведения ДНК-генотипирования у свиней были отобраны образцы ткани площадью 1 см<sup>2</sup> (ушные выщипы). Генетический анализ проводился в лаборатории молекулярной генетики Государственного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт животноводства» Россельхозакадемии (ГНУ ВИЖ, п.Дубровицы) методом ПЦР-ПДРФ (полимеразная цепная реакция, полиморфизм длин рестриционных фрагментов). После амплификации генов MC4R, POU1F1, PRLR и ESR в полу-

ченный продукт вносили рестриктазы TaqI, MspI, AluI и PvuII соответственно. Рестриционные фрагменты разделяли в 3%-ном агарозном геле. Визуализацию проводили на трансиллюминаторе в УФ свете.

По результатам молекулярно – генетического исследования определяли наличие и частоту встречаемости аллелей и генотипов по генам MC4R, POU1F1, PRLR и ESR.

Взаимосвязь между генотипами по генам PRLR и ESR и воспроизводительными качествами определяли по количеству поросят при рождении (гол.) и многоплодию (гол.) у свиноматок КБ (n=50). Все свиноматки относились к одной линии Го, содержались в одинаковых условиях и имели как минимум три опороса. Для анализа были взяты данные по первым трем опоросам. Влияние генотипов по генам MC4R и POU1F1 на откормочную продуктивность определяли по результатам контрольного выращивания ремонтных свинок (n=50) до живой массы 100 кг. Учитывался возраст достижения живой массы 100 кг (дн.), средний суточный прирост (г), затраты корма на 1 кг прироста (к. ед.), толщина шпика на пояснице (мм).

По результатам проведенного анализа (табл. 1) была установлена частота встречаемости аллелей и генотипов по генам MC4R, POU1F1, PRLR, ESR. Наибольшая частота встречаемости по гену PRLR обнаружена у аллеля В и генотипа ВВ, по гену ESR – аллеля А и генотипа АА. Аллель А гена MC4R значительно превосходит аллель G, а гомозиготный генотип АА встречается чаще гетерозиготного АG. Гомозиготный генотип GG обнаружен не был,

Таблица 4. Результаты контрольного выращивания свинок КБ разных генотипов по генам MC4R и POU1F1

Генотип	Биометр. показатели	Скороспелость, дн. *	Среднесуточный прирост, г*	Толщина шпика, мм	Затраты корма, корм. ед*
Ген MC4R					
AA	M±m	169,35±1,55	745,35±17,37	21,80±0,83	3,12±0,03
AG	M±m	164,00±2,11	827,67±33,36	22,67±1,61	2,99±0,06
Ген POU1F1					
DD	M±m	170,36±2,44	719,27±26,59	21,27±1,22	3,16±0,04
CD	M±m	166,9±1,79*	791,9±21,35*	22,7±0,86	3,04±0,03*
CC	M±m	161,5±4,29*	870,0±38,7**	22,50±0,29	2,92±0,06**

\* – Разность средних достоверна при  $P < 0,05$

\*\* –  $P < 0,01$

что согласно литературным данным является характерной особенностью свиней крупной белой породы [6]. По гену POU1F1 аллель D превосходит аллель C, а генотип CD превосходит другие генотипы. Следует отметить, что генотип CC имеет очень низкую частоту встречаемости.

Наибольшее влияния на воспроизводительные качества свиноматок КБ было установлено для генотипов гена PRLR (табл.2). В качестве «желательного» установлен генотип BB, наличие которого у свиноматок связано с большим количеством поросят при рождении на 1,8 и многоплодием на 2,05 гол.

По гену ESR отмечено, что наличие у свиноматок генотипа BB связано с высокими показателями воспроизводительных качеств, но статистически достоверной разницы с другими генотипами не выявлено.

В таблице 4 представлены результаты контрольного выращивания свинок КБ разных генотипов по генам MC4R и POU1F1. В качестве «желательных» генотипов установлены по гену MC4R генотип AG, который связан

с лучшей скороспелостью на 5,4 дн. (3,16%), среднесуточным приростом на 82,3г (9,9%) и меньшими затратами корма на 0,13 к.ед. (4,16%); по гену POU1F1 генотип CC, связан с лучшей скороспелостью на 8,86 дн. (5,2%), среднесуточным приростом на 150,7 г (17,7%), меньшими затратами корма на 0,24 к.ед. (8,2%) [7,8].

Таким образом, проведенные исследования показали, что генотипы по генам PRLR, MC4R и POU1F1 могут быть использованы в качестве генов маркеров для повышения воспроизводительной и откормочной продуктивности свиней крупной белой породы.

Развитие молекулярно-генетических исследований и ДНК-технологий позволяют предположить, что генетический мониторинг и маркер-зависимая селекция будут способствовать повышению уровню хозяйственно полезных признаков, улучшению качества продукции и, как следствие, повышению эффективности производства продукции свиноводства.

#### Литература:

1. Гетманцева Л.В. Молекулярно-генетические аспекты селекции животных // Молодой ученый. – 2010. – №12. – с. 199–201.
2. Chen K, Baxter T, Muir W, Groenen M, Schook L. Genetic resources, genome mapping and evolutionary genomics of the pig (*Sus scrofa*) // Int J. Biol Sci. – 2007. – N.3. – P.153–165.
3. Xiao Shi-jun, Yan Ying, Ren Jun, Ding Neng-shui, Guo Yuan-mei, Ma Jun-wu, Li Lin, Zhou Li-hua, Huang Lu-sheng. Polymorphisms of the MC4R causative mutation in Chinese and Western pig breeds and its effects on growth and fatness traits // Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica. – 2006. – 37 (9). – 841–845.
4. Yu T.P., Wang L., Tuggle C.K., and Rothschild M.F. Mapping genes for fatness and growth on pig chromosome 13: a search in the region close to the pig Pit1 gene // J. Anim. Breed. Genet. – 1999. – № 116. – P.269–280.
5. Mihailov N.V., Getmantseva L.V. Association polymorphism in the POU1F1/MspI, PRLR/AluI and ESR1/PvuII gene with reproductive traits in Pigs // European Applied Sciences, 2013. – №2. – P.7–10.
6. Костюнина О.В., Зиновьева Н.А., Сизарева Е.И. и др. Полиморфизм гена рецептора меланокортина MC4R и его влияние на мясные и откормочные качества свиней // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – №8. – С. 49–51.
7. Гетманцева Л.В., Карпенко Е.А., Чикотин Д.В. Использование ДНК-маркеров в селекции свиней // Перспективное свиноводство. – 2012. – №1. – с. 20–21.
8. Максимов Г.В., Гетманцева Л.В. Влияние гена MC4R на мясную продуктивность свиней // Главный зоотехник. – 2011. – №10. – С. 9–12.

## Позиционно-типовой и позиционно-видовой состав триацилглицеринов из масла семян подсолнечника

Кизеев Алексей Николаевич, кандидат биологических наук, научный сотрудник  
ФГБУ науки «Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина» Кольского научного центра РАН (г. Апатиты)

*В работе представлены результаты исследований позиционного состава триацилглицеринов, выделенных из масла семян подсолнечника. Установлено, что содержание ненасыщенных жирных кислот в триацилглицеринах превышало содержание насыщенных кислот. Показано распределение жирных кислот по группам в зависимости от степени их ненасыщенности. Определены преобладающие типы и виды триацилглицеринов.*

**Ключевые слова:** семена подсолнечника, масло, триацилглицерины, высшие жирные кислоты, позиционно-типовой состав триацилглицеринов, позиционно-видовой состав триацилглицеринов.

### Введение

Подсолнечник является одной из важнейших маслических культур мира. Получаемое из его семян масло — ценный пищевой продукт и главный поставщик в организм человека полиненасыщенных высших жирных кислот (линолевой, олеиновой и др.), прием которых жизненно необходим [1]. Ткани человека и животных, в отличие от растительных, обладают ограниченной способностью превращать насыщенные жирные кислоты в ненасыщенные и полиненасыщенные. Однако эти кислоты обязательно должны присутствовать в пище, т.к. они являются предшественниками эйкозановых высших жирных кислот, которые образуют в организме ряд биологически активных соединений, оказывающих многообразное влияние на различные стороны метаболизма (способствуют преобразованию холестерина в печени и его элиминированию из организма, приводят к снижению заболеваний сердечно-сосудистой системы и др.) [6].

В последнее время большой интерес проявляется к изучению липидных компонентов масла из семян новых сортов подсолнечника. Известно, что подсолнечное масло получают в основном из триацилглицеринов — сложных эфиров глицерина и высших жирных кислот. Химические, физические, пищевые свойства масла определяются с одной стороны композицией жирных кислот, входящих в состав масла, а с другой — распределением этих жирных кислот в различных типах триацилглицеринов [7].

Целью данной работы было определение позиционно-типового и позиционно-видового состава триацилглицеринов, выделенных из масла семян подсолнечника (*Helianthus annuus* L.).

В задачи исследований входило:

1. Изучить жирнокислотный состав триацилглицеринов.
2. Установить позиционно-типовой состав триацилглицеринов.
3. Выявить позиционно-видовой состав триацилглицеринов.

### Объекты и методы

Объектом изучения послужили семена скороспелого высокопродуктивного сорта подсолнечника Казачий, полученного специалистами Донской опытной станции им. Л.А. Жданова (Ростовская область) Всероссийского научно-исследовательского института маслических культур им. В.С. Пустовойта.

Исследования семян проводили в 2011 г. в Институте физиологии растений им. К.А. Тимирязева (ИФР) РАН (г. Москва) по стандартным методикам [2,4]. Состав триацилглицеринов, полученных из масла семян подсолнечника определяли методом газо-жидкостной хроматографии с использованием хроматографа Agilent Technologies (США). Данные анализировали с помощью системы сбора и обработки хроматографических данных GC\_MS/Enhanced (США).

В работе рассчитывали индекс двойной связи и коэффициент ненасыщенности жирных кислот. Индекс двойной связи (ИДС) рассчитывали по методу D. Lyons с соавторами [8]:

$$\text{ИДС} = \text{M} + 2 \cdot \text{Д} + 3 \cdot \text{Тр} / 100,$$

где М — мононенасыщенные, Д — диненасыщенные, Тр — триненасыщенные жирные кислоты.

Коэффициент ненасыщенности (Кн) жирных кислот определяли по формуле [3]:

$$\text{Кн} = \frac{\sum \text{ненасыщенных кислот}}{\sum \text{насыщенных кислот}},$$

где  $\Sigma$  — сумма кислот.

Статистическую обработку полученных данных проводили с помощью пакета программ «Microsoft Excel 2002». Достоверность полученных результатов оценивалась по t-критерию при 5% уровне значимости. При этом обсуждались только достоверные различия.

### Результаты и обсуждение

В результате проведенной работы было установлено, что в триацилглицеринах, полученных из масла семян исследуемого сорта подсолнечника, содержались остатки ненасыщенных и насыщенных жирных кислот (таблица 1).



Таблица 1. Жирнокислотный состав триацилглицеринов из масла семян подсолнечника

Жирные кислоты	%
14:0	0.1 ± 0.01
15:0	0.02 ± 0.01
16:0	8.8 ± 0.01
7–16:1	0.03 ± 0.01
9–16:1	0.11 ± 0.01
17:0	0.04 ± 0.01
9–17:1	0.01 ± 0.01
18:0	4.5 ± 0.01
9–18:1	32 ± 0.1
11–18:1	0.9 ± 0.1
9,12–18:2	52 ± 0.1
9,12,15–18:3	0.04 ± 0.01
20:0	0.3 ± 0.01
11–20:1	0.2 ± 0.01
22:0	0.8 ± 0.01
24:0	0.1 ± 0.01
Сумма мононенасыщенных жирных кислот	33.2
Сумма диненасыщенных жирных кислот	52.1
Сумма триненасыщенных жирных кислот	0.04
ИДС	1.4
Кн	6.1

Из ненасыщенных (U) в наибольшем количестве были обнаружены: олеиновая (O, C 9–18:1) и линолевая (L, C 9,12–18:2) жирные кислоты. Из насыщенных (S) жирных кислот преобладали пальмитиновая (P, C 16:0) и стеариновая (C, C 18:0), которые в растениях могут участвовать в биосинтезе ненасыщенных высших жирных кислот [5]. Остальные жирные кислоты: линоленовая (Le, C 9,12,15–18:3), вакценовая (V, 11–18:1) и др. присутствовали в меньших количествах.

В масле, полученном из семян подсолнечника, процент ненасыщенных жирных кислот был выше, чем насыщенных (86% для ненасыщенных и 14% для насыщенных).

Все жирные кислоты распределялись по группам в зависимости от степени ненасыщенности: мононенасыщенные (в углеродной цепочке имеется одна двойная связь), диненасыщенные (две двойные связи) и триненасыщенные (три двойные связи). Содержание жирных кислот с разной степенью ненасыщенности в исследуемом подсолнечном масле было различно. Преобладающими были диненасыщенные жирные кислоты (в основном, линолевая кислота). Количество мононенасыщенных (олеиновая) и триненасыщенных (линоленовая) жирных кислот было ниже (таблица).

ИДС жирнокислотного состава изменялся за счет диненасыщенных жирных кислот, преимущественно линолевой кислоты. Кн свидетельствует о разном соотношении

сумм ненасыщенных и насыщенных жирных кислот (таблица).

В исследуемом масле из семян подсолнечника содержалось большинство возможных типов триацилглицеринов: U3, UUS, SUU, SUS, USU и SSU (рис. 1). По относительному содержанию в масле доминировали следующие типы: U3, UUS, SUU и SUS. Остальные типы триацилглицеринов были обнаружены в меньшем количестве.

В позиционно-видовом составе триацилглицеринов у типа U3 преобладали виды ЛЛО, у типа UUS – ЛЛП, у типа SUU – ПОЛ, а у типа SUS – ПЛС и ПЛП (рис. 2).

### Заключение

Впервые получена новая ценная информация о составе триацилглицеринов, выделенных из масла семян подсолнечника сорта Казачий. Изучен жирнокислотный состав триацилглицеринов. Уровень ненасыщенных жирных кислот превышал уровень насыщенных кислот. Было установлено распределение моно- ди- и триненасыщенных жирных кислот. Подробно исследован позиционно-типовой и позиционно-видовой состав триацилглицеринов. Полученные результаты показывают возможность и высокую эффективность использования методики изучения триацилглицеринов в масле семян растений в неблагоприятных экологических условиях Крайнего Севера России (в т.ч. при антропогенном воздействии).

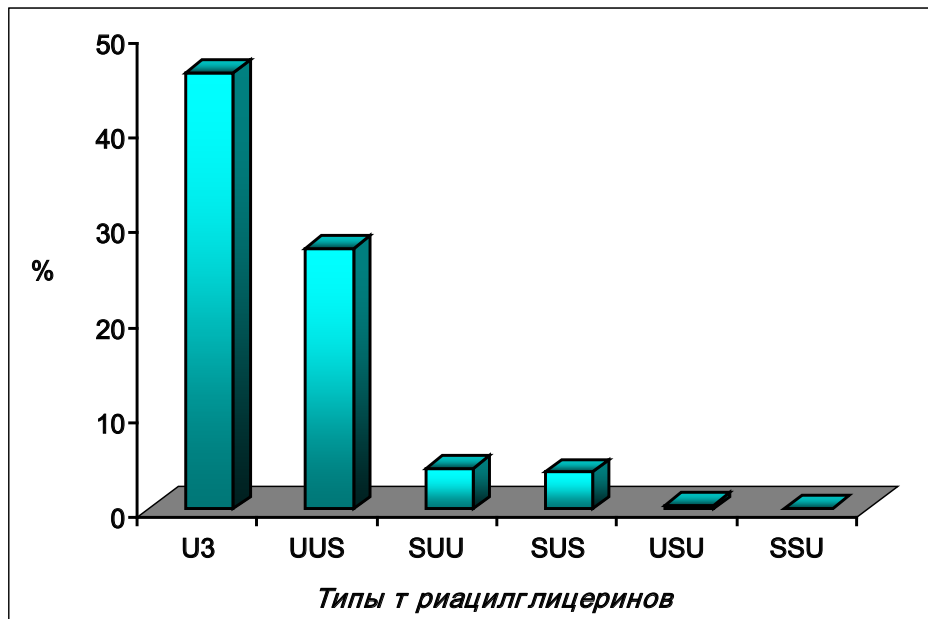


Рис. 1. Позиционно-типовой состав триацилглицеринов из масла семян подсолнечника

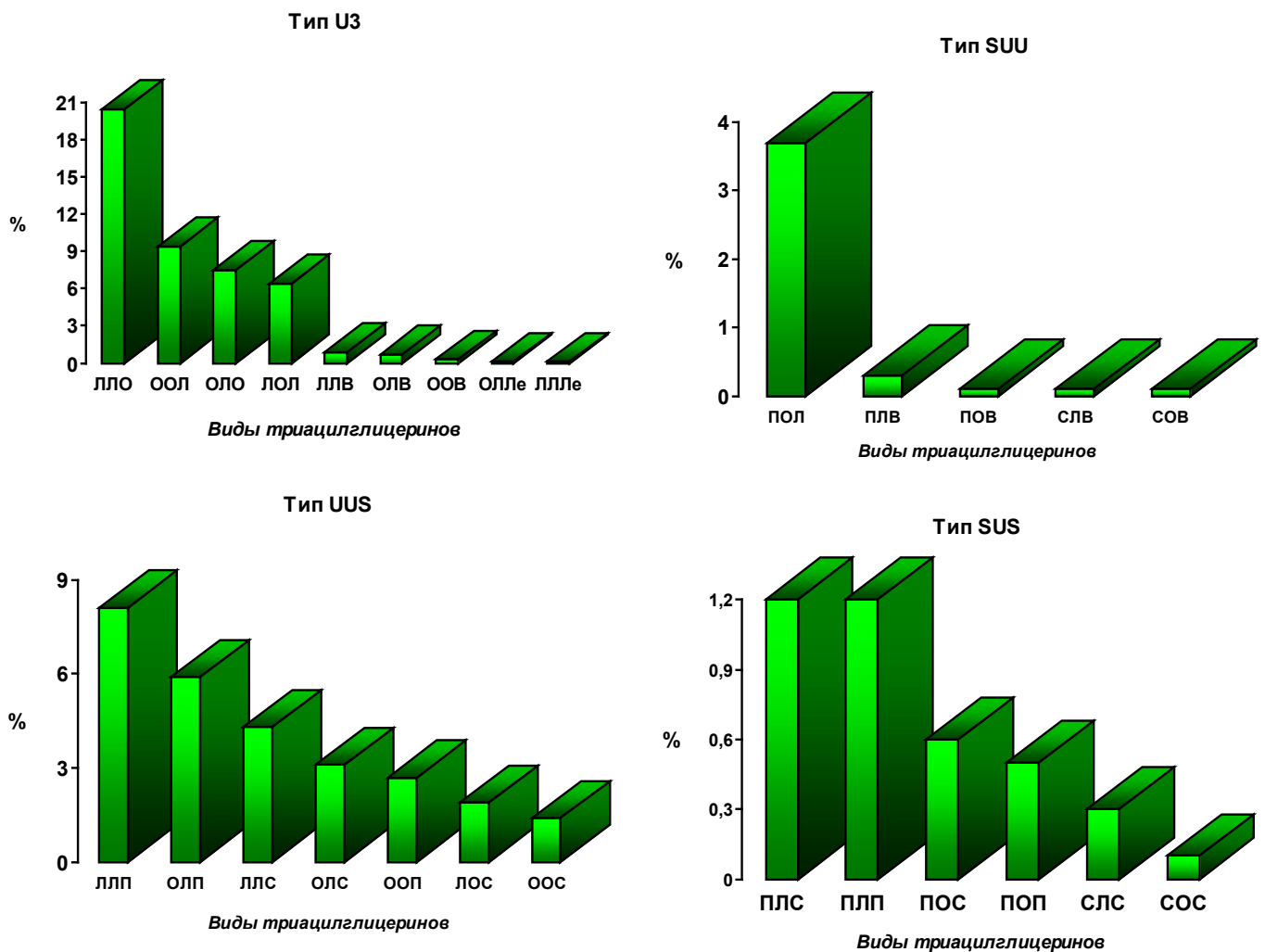


Рис. 2. Позиционно-видовой состав триацилглицеринов из масла семян подсолнечника

## Литература:

1. Большая советская энциклопедия. В 30 т. Гл. ред. А.М. Прохоров. 3-е изд. — Т. 15. Ломбард-Мезитол. — М.: «Советская энциклопедия». — 1974. — С. 440—442.
2. Верещагин А.Г. Липиды в жизни растений. Ин-т физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН. — М.: Наука, 2007. — 78 с.
3. Ветчинникова Л.В., Шуляковская Т.А., Канючкова Г.К. Жирнокислотный состав суммарных липидов различных органов *Betula Pendula* Roth. и *B. Pubescens* Ehrh., произрастающих в Карелии // Растительный ресурс. — 2000. — Вып. 2. — С. 85—92.
4. Пчелкин В.П., Кузнецова Э.И., Цыдендамбаев В.Д., Верещагин А.Г. Определение позиционно-видового состава запасных триацилглицеринов растений методом неполного химического деацилирования // Физиология растений. — 2001. — Т. 48. — С. 809—816.
5. Ширшова Т.И., Волкова Г.А., Матистов Н.В. Липиды и высшие жирные кислоты в *Allium Strictum* (Alliaceae) // Растительные ресурсы. — 2010. — Вып. 2. — С. 105—109.
6. Ширшова Т.И., Бешлей И.В., Груздев И.В. Липиды и высшие жирные кислоты *Allium Schoenoprasum* (Alliaceae) // Растительные ресурсы. — 2008. — Вып. 1. — С. 75—81.
7. Gunstone F.D., Harwood J.L., Padley F.B. The Lipid Handbook. Second ed. — Chapman & Hall: London, 1994.
8. Lyons J.M., Wheaton T.A., Pratt H.K. Relationships between the physical nature of mitochondrial membranes and chilling sensitivity in plants // Plant. Physiol. — 1964. — Vol. 39. — №2. — P. 262—268.

## Благодарности

Автор выражает глубокую признательность сотрудникам ИФР РАН за помощь в проведении экспериментов.

## Общий анализ флоры папоротников Северо-Западного Кавказа

Цыбулина Маргарита Владимировна, студент  
Кубанский государственный университет

Папоротники являются одной из древнейших и в тоже время одной из сложнейших в систематическом отношении групп высших сосудистых растений. Наибольшее их разнообразие приходится на тропические области обоих полушарий. Бореальные области Старого и Нового Света не столь богаты в видовом отношении папоротниками. Однако многие папоротники играют заметную роль в сложении растительного покрова.

Целью было изучение флоры папоротников Северо-Западного Кавказа составление списка видов и последующий их анализ. Для решения данного вопроса были обработаны следующие флористические сводки А.А. Гроссгейм «Определитель растений Кавказа» (1949), И.С. Косенко «Определитель высших растений Северо-Западного Кавказа и предкавказья» (1970), А.И. Галушко «Определитель флоры Северного Кавказа» том 1 (1978), А.С. Зернов «Определитель флоры Северо-Западного Кавказа» (2006) и А.Л. Тахтаджян «Конспект флоры Кавказа» том 1 (2003). После работы с выше перечисленными источниками был составлен видовой состав папоротникообразных Северо-Западного Кавказа.

Флора папоротников Северо-Западного Кавказа насчитывает 50 видов, объединенных в 24 рода и 12 семейств. Наиболее крупными во флоре папоротников Северо-Западного Кавказа являются следующие 3 семей-

ства (таблица 1, рисунок 1): *Dryopteridaceae* (6 родов — 21 видов), *Aspleniaceae* (3 рода — 8 видов), *Pteridaceae* (3 рода — 4 вида).

Самое многочисленное семейство *Dryopteridaceae* количество видов относящихся к нему составляет почти половину 43% от всех видов папоротникообразных Северо-Западного Кавказа.

Географические (ареалогические) группы выделены в соответствии с общими принципами (касающихся всех высших растений), изложенными в работах А.В. Куминовой (1960), А.И. Толмачева (1962), А.В. Положий (1965), Л.И. Малышева (1965), И.М. Красноборова (1976), Р.В. Камелина (1973, 1998) и др.

В птеридофлоре Северо-Западного Кавказа выделяется 9 географических (ареалогических) групп: космополиты, голарктическая, евразийская, европейско-североамериканская, европейско-малоазиатско-кавказская, европейско-передне-среднеазиатская, европейско-западносибирская, европейско-кавказско-малоазиатская, кавказская (рисунок 2, рисунок 3, таблица 2). Надо сказать, что выделение этих географических групп весьма условно, потому что ареалы многих и широко распространенных папоротников весьма индивидуальны.

**Космополиты.** Эта группа географических элементов включает виды, распространенные в благоприятных

Таблица 1. Ведущие семейства папоротников флоры Северо-Западного Кавказа

Семейство	Количество родов	Количество видов
<i>Dryopteridaceae</i>	6	21
<i>Aspleniaceae</i>	3	8
<i>Pteridaceae</i>	3	4
<i>Ophioglossum</i>	2	4
<i>Thelypteridaceae</i>	3	3
<i>Woodsiaceae</i>	1	3
<i>Polypodiaceae</i>	1	2
<i>Adiantaceae</i>	1	1
<i>Blechnaceae</i>	1	1
<i>Marsileales</i>	1	1
<i>Salviniaceae</i>	1	1
<i>Osmundaceae</i>	1	1
Итого	24	50

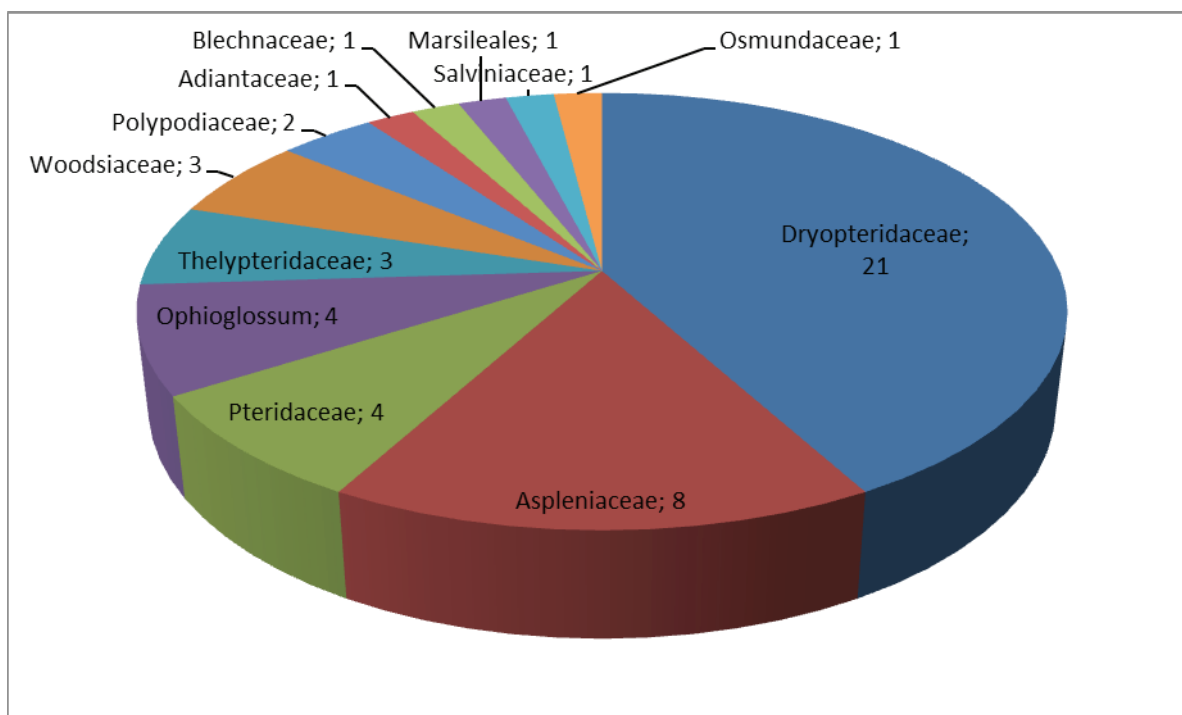


Рис. 1. Соотношение видов в семействах папоротников флоры Северо-Западного Кавказа

условиях умеренной, субтропической, а иногда и тропической зон Северного и Южного полушарий. Ареалы их охватывают обычно более половины площади суши. К этой группе ареала относится 6 видов *Botrychium lunaria*, *Adiantum capillus-veneris*, *Marsilea quadrifolia*, *Pteridium aquilinum*, *Asplenium trichomanes*, *Cystopteris fragilis*.

**Голарктическая географическая группа** представлена 20 видами, широко распространенными в умеренной и субтропической, а отчасти и тропической зон Северного полушария. Наиболее широко распространены в пределах евразийского и североамериканского частей ареала лишь некоторые виды, а именно *Botrychium virginianum*, *Thelypteris palustris*, *Phegopteris connectilis*, *Asplenium ruta-*

Таблица 2. Соотношение географических групп ареалов папоротников России

Географическая группа	Число видов	% от общего числа видов
космополиты	6	12
голарктическая	20	40
евразийская	4	8
европейско-североамериканская	3	6
европейско-малоазиатско-кавказская	4	8
европейско-передне-среднеазиатская	3	6
европейско-западносибирская	2	4
европейско-кавказско-малоазиатская	5	10
кавказская	3	6
Итого	50	100

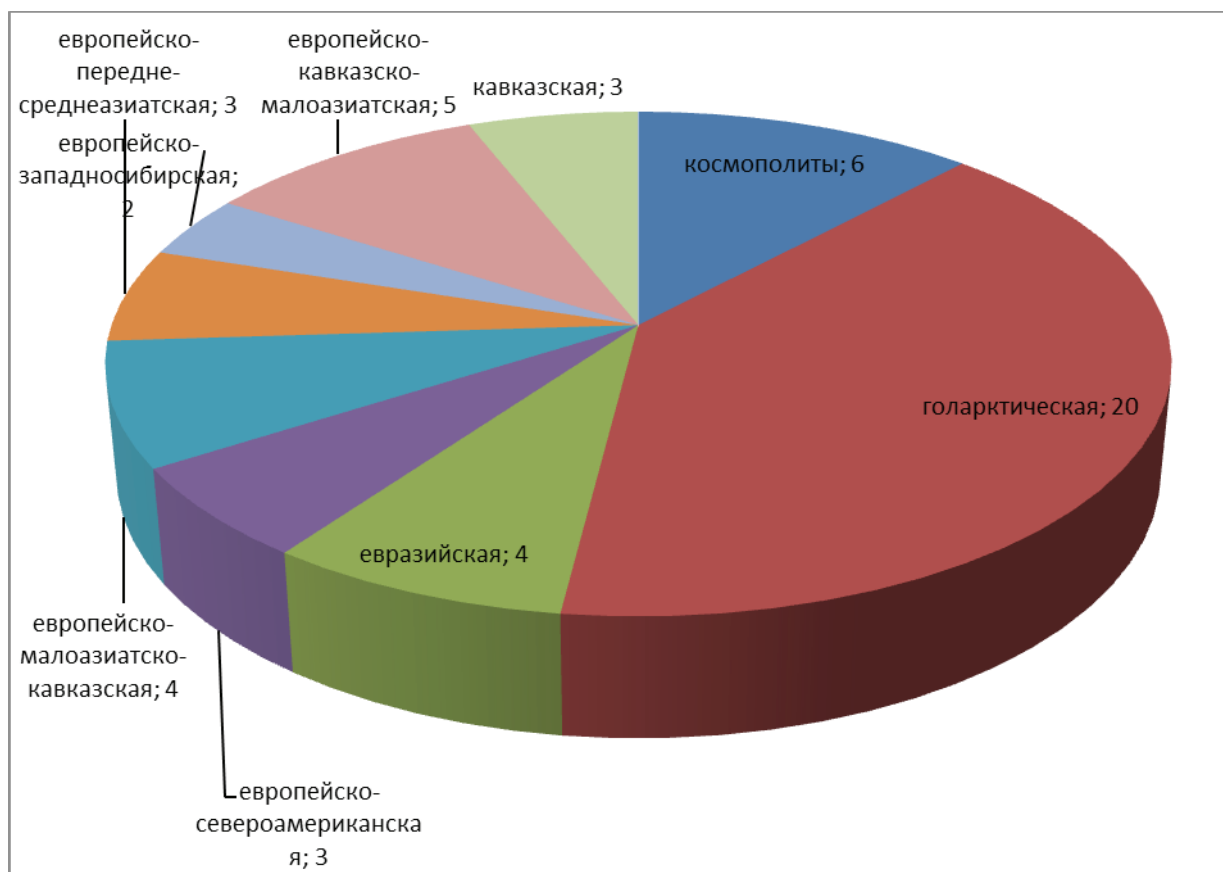


Рис. 2. Соотношение географических групп ареалов папоротников Северо-Западного Кавказа.

*muraria*, *Gymnocarpium dryopteris*, *Dryopteris expansa*. Часть голарктических видов в своем распространении имеют значительные дизъюнкции (и может выделяться как дизъюнктивный голарктический элемент). Сюда мы относим следующие виды: *Asplenium viride*, *Oreopteris limbosperma*, *Cystopteris montana*, *Dryopteris filix-mas*, *Polystichum lonchitis*, *P. braunii*, *Woodsia glabella*, *Sal-*

*vinia natans*, *Ophioglossum vulgatum*, *Asplenium septentrionale*, *Athyrium filix-femina*, *Gymnocarpium robertianum*, *Dryopteris carthusiana*, *Woodsia alpina*.

**Евразийская группа.** Представлена только 4 представителями птеридофлоры. Виды этой географической группы не всегда так широко представлены на территории Евразии (в основном северной) – за исключением



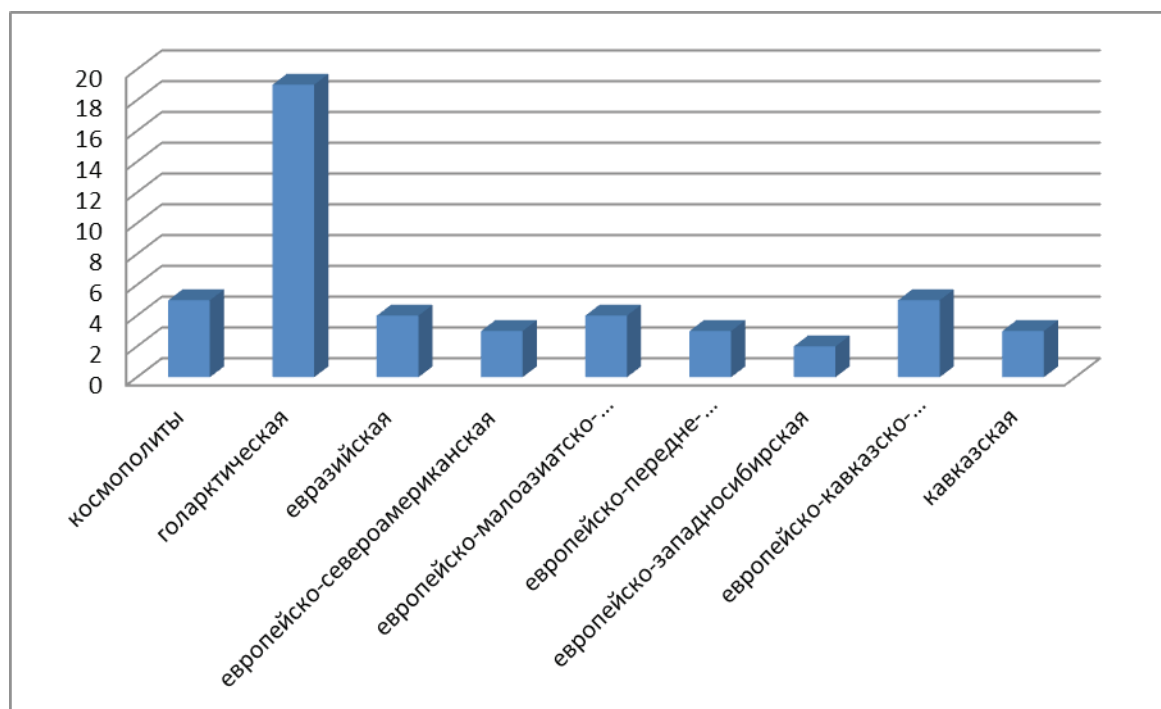


Рис. 3. Динамика численного соотношения географических групп ареалов папоротников Северо-Западного Кавказа

довольно широко распространенного вида *Matteuccia struthiopteris*. Вид, распространенный в темнохвойных лесных массивах — *Cystopteris sudetica*. *Criptogramma crispera*, *Athyrium distentifolium* приурочен к горным районам Кавказа.

**Европейско-североамериканская группа** представлена 3 видами. В своем распространении эти виды ограничены районами Европы *Botrychium matricariifolium* или с некоторыми ограничениями в движении на восток — либо по южным районам до Кавказа *Phyllitis scolopendrium*, *Osmunda regalis*.

**Европейско-малоазиатско-кавказская географическая группа** в своем распространении ограничена только Европой и Кавказом и представлена 4 видами (*Blechnum spicant*, *Cystopteris regia*, *Pteridium tauricum*, *Notholaena marantae*).

**Европейско-передне-среднеазиатский ареал** имеют 3 вида (*Polystichum aculeatum*, *Asplenium adiantum-nigrum*, *Ceterach officinarum*). Эти виды представлены в Европе, затем идут на Кавказ (через Крым или Малую Азия) и в Среднюю Азию.

**Европейско-западносибирская географическая группа** представлена всего двумя видами (*Dryopteris dilatata*, *Polypodium vulgare*). Для этих видов характерно то, что основной их ареал лежит в пределах Европы, а в Сибирь заходит только до Алтая.

**Европейско-кавказско-малоазиатский ареал** имеют 5 представителей птеридофлоры Северо-Западного Кавказа (*Polystichum setiferum*, *Dryopteris affinis*, *D. villarii*, *D. oreades*, *Polypodium australe*). Для этих видов характерно наличие двух более менее равноценных или нерав-

ноценных участков ареала (европейского и кавказского), соединенных через районы Малой Азии, а иногда и через Крым.

**Кавказская географическая группа** во флоре птеридофитов Северо-Западного Кавказа представлена всего 3 видами. Один из них является лесным видом *Polystichum woronowii*, два других приурочены к высокогорному (преимущественно) поясу Главного Кавказского хребта (*Asplenium woronowii*, *Woodsia fragilis*). Следует также отметить, что *Woodsia fragilis* является эндемиком Северо-Западного Кавказа.

Преобладает голарктическая группа 40% среди папоротников Северо-Западного Кавказа, на втором месте по числу видов космополиты и европейско-кавказско-малоазиатская группа — 11%, а на третьем евразийская и европейско-малоазиатско-кавказская группа — 9%.

Эколого-ценотический анализ

Большинство папоротников Северо-Западного Кавказа, обладая экологической пластичностью, могут занимать самые различные экотопы, при этом эти виды могут быть отмечены как в лесных, так и скальных ценозах. Однако все представители птеридофлоры Северо-Западного Кавказа (по приуроченности и частоте встречаемости в определенных типах местообитаний) нами были объединены в четыре группы: сильванты (лесные виды), петрофанты, литофиты и хазмофиты (скальные виды), пратанты (луговые виды), палюданты, акванты и амфибионт (водно-болотные виды) (рисунок 4).

**Сильванты.** Виды папоротников, произрастающие в лесах, как правило, это крупные, с многократно рассеченными вайями растения. Мягкость и выравненность

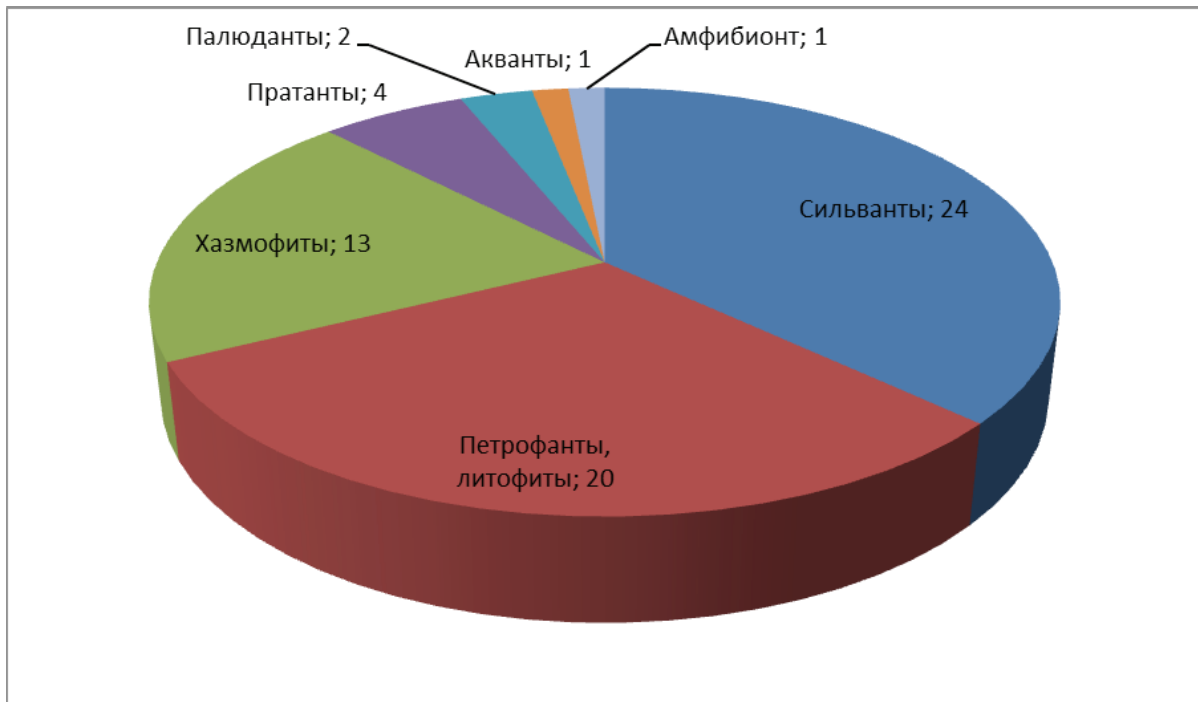


Рис. 4. Соотношение видов папоротников по экотопам

лесного микроклимата способствует большому морфологическому разнообразию представителей этой группы. Однако по отношению к влажности представители этой группы являются мезофитами или мезогигрофитами, а по отношению к освещенности — тенелюбивы или теневыносливы. К ним относятся следующие виды *Phyllitis scolopendrium*, *Blechnum spicant*, *Athyrium filix-femina*, *Cystopteris fragilis*, *Dryopteris affinis* и др. Отдельные виды данной группы могут выходить на каменистые субстраты и скалы (*Cystopteris sudetica*, *Gymnocarpium robertianum*).

**Литофиты, петрофиты.** Растения, приспособленные к жизни в скальных и каменистых породах. Часто литофиты образуют подушки, дерновины или стелющиеся формы. К литофитам относят растения, обладающие корневой системой (*Adiantum carpillus-veneris*, *Asplenium viride*, *Dryopteris oreades*, *Polystichum lonchitis*, *Criptogramma crispa*).

**Хазмофиты.** Виды папоротников, приспособленные к жизни на каменистых субстратах (камнях) и в расщелинах скал. В большинстве случаев хазмофиты имеют длинные корни, проникающие глубоко в расщелины между камнями и щебнем, где сосредоточены частицы мелкозёма. Они характеризуются высокой устойчивостью к жёсткому водно-температурному режиму, недостатку влаги и питательных веществ в среде. В экологическом отношении хазмофиты играют роль пионерных видов, осваивающих мало пригодные для большинства видов местообитания. К ним относятся *Asplenium ruta-muraria*, *Cystopteris regia*, *Dryopteris vilarii*, *Polypodium vulgare*, *Notholaena marantae*.

**Пратанты.** Луговые виды папоротников, которые насчитывают небольшое количество видов, такие как *Botrychium lunaria*, *B. matricariifolium*, *B. virginianum*, *Ophioglossum vulgatum*. Виды этой группы встречаются не только на высокотравных или низкотравных лугах, но и в зарослях кустарников, в осветленных участках леса.

**Палюданты.** Виды папоротников, приуроченные к постоянным или временно пересыхающим водоемам, или же по болотам и заболоченным берегам озер. На территории Северо-Западного Кавказа к данному экотопу относится два вида папоротников *Thelypteris palustris* и *Osmunda regalis*. Эти виды могут быть отмечены на влажных лугах или даже заходить в леса, расположенные вблизи водоемов.

**Акванты.** Водные виды растений, к этому экотопу относится один вид папоротников Северо-Западного Кавказа *Salvinia natans*.

**Амфибионт.** Виды растений, живущие как в воде, так и на суше к этому типу так же относится один вид *Marsilea quadrifolia*.

Жизненные формы растений рассмотрим по классификации Раункиера — система, классифицирующая растения по положению и способу защиты почек возобновления в течение неблагоприятного периода (холодного или сухого). Предложена Раункиером в 1905 году. Так на Северо-Западном Кавказе выделяются следующие жизненные формы: гемикриптофиты, криптофиты (геофиты, гидрофиты), эпифиты (рисунок 5).

Практически все виды папоротников произрастающих на Северо-Западном Кавказе относятся к травянистым поликарпикам — растения, многократно цветущие и пло-

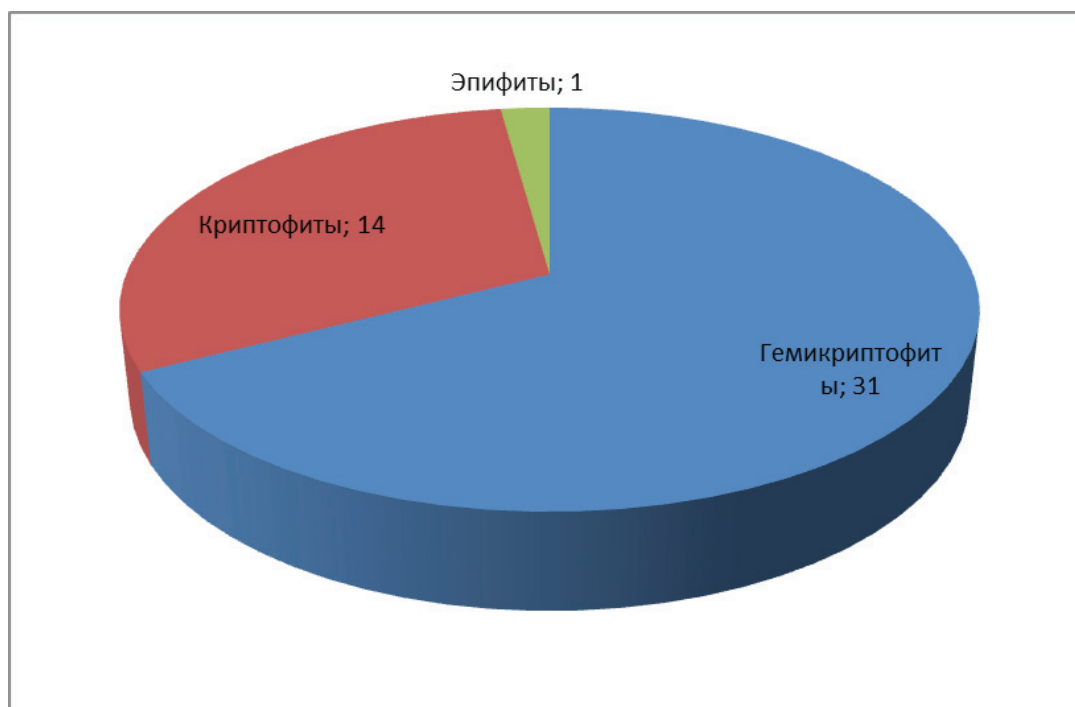


Рис. 5. Соотношение жизненных форм папоротникообразных

доносящие в течение жизни. Почти все поликарпические растения — это многолетние растения. И только один вид *Salvinia natans* однолетний папоротник.

**Геомикрофиты.** Побеги этих видов в начале неблагоприятного периода отмирают до уровня почвы, поэтому в течение этого периода остаются живыми только нижние части растений, защищенные землей и отмершими листьями. Они и несут почки, предназначенные для образования побегов следующего сезона. К этой жизненной форме относится наибольшее количество видов 32, такие как (*Athyrium fulix-femina*, *Dryopteris expansa*, *Polystichum braunii*, *Polypodium vulgare*, *Woodsia alpina*).

**Криптофиты.** Папоротники, у которых почки или окончания побегов, предназначенные для перенесения неблагоприятного периода, расположены под поверхностью почвы или на дне водоёма. Эта жизненная форма подразделяется на подтипы: геофиты и гидрофиты. В этой жизненной форме насчитывается всего 14 видов.

К типу геофитов (почки возобновления и окончания побегов у которых переносят неблагоприятный период в почве) относятся *Cystopteris sudetica*, *Gymnocarpium dryopteris*, *Botrychium lunaria* и др.

К гидрофитам (почки возобновления и окончания побегов у которых переносят неблагоприятный период на дне водоёма) относятся два вида *Marsilea quadrifolia*, *Salvinia natans*.

**Эпифиты.** Папоротники, произрастающие или постоянно прикреплённые на других растениях, при этом не получающие от них никаких питательных веществ. К данному типу относится один вид *Polypodium austral*, который может произрастать, как и геомикрофит.

Одним из важнейших факторов, влияющих на рост и развитие папоротников, является режим влажности, т.к. в своем развитии от спор до взрослого гаметофита эти растения тесно связаны с наличием воды. Однако у всех папоротников Северо-Западного Кавказа неодинаковы требования по отношению к этому фактору и распределение папоротников по разным типам местообитаний с разным режимом увлажнения позволило выделить нам несколько экологических групп: ксерофиты, мезофиты, субмезофиты, гигромезофиты, мезогигрофиты, гигрофиты и субгигрофит.

**Ксерофиты.** Одна из немногочисленных групп папоротников (рисунок 6), к которой нами отнесено всего 2 вида (*Ceterach officinarum*, *Notholaena marantae*). Эти виды произрастают на открытых скалах с сильно недостаточным увлажнением. В сущности, все они в своем происхождении связаны с древнесредиземноморьем. Вайи данных папоротников имеют ряд приспособлений, позволяющих переносить недостаток влаги (твердая, покрытая особым налетом консистенция, сильное опушение нижней стороны, сворачиваемость пластинки вай при неблагоприятных условиях). Распространение этих видов по территории Северо-Западного Кавказа приурочено в основном к малоувлажненным скалисто-щебнистым склонам.

**Субмезофиты.** Виды этой экологической группы встречаются как на открытых сухих, так и на затененных скалах. По представительству эта группа незначительна и насчитывает всего 3 вида (рисунок 6). Эти виды имеют ряд приспособлений для произрастания в условиях как достаточной, так и низкой влажности. Вайи некоторых видов

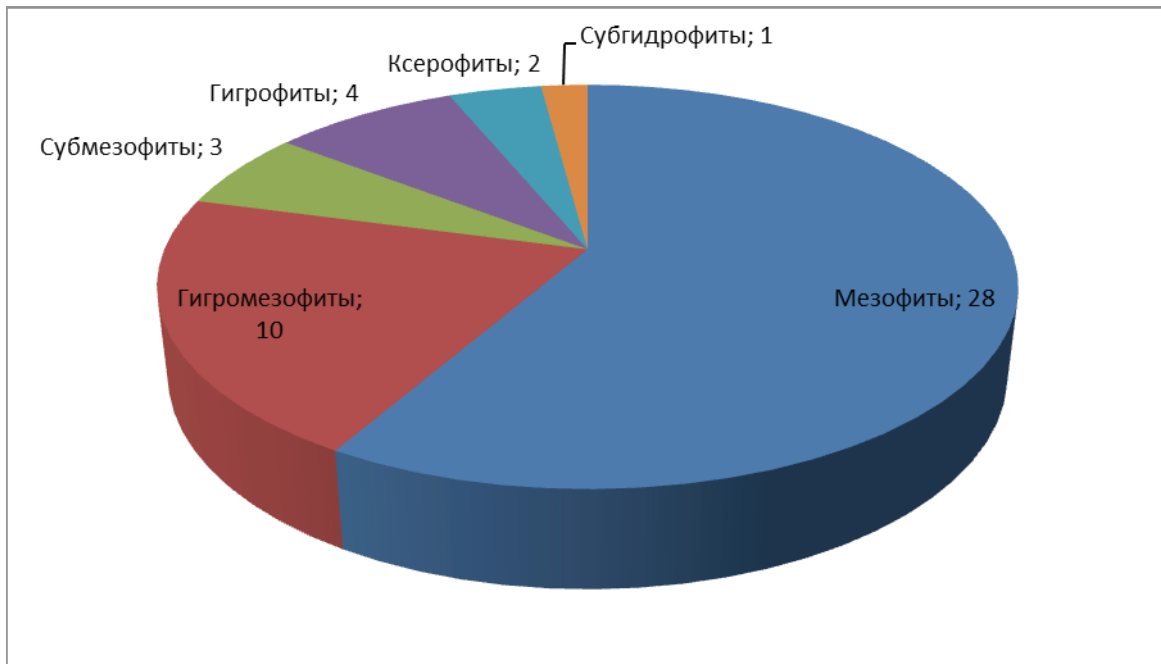


Рис. 6. Соотношение экологических групп папоротников по отношению к влажности

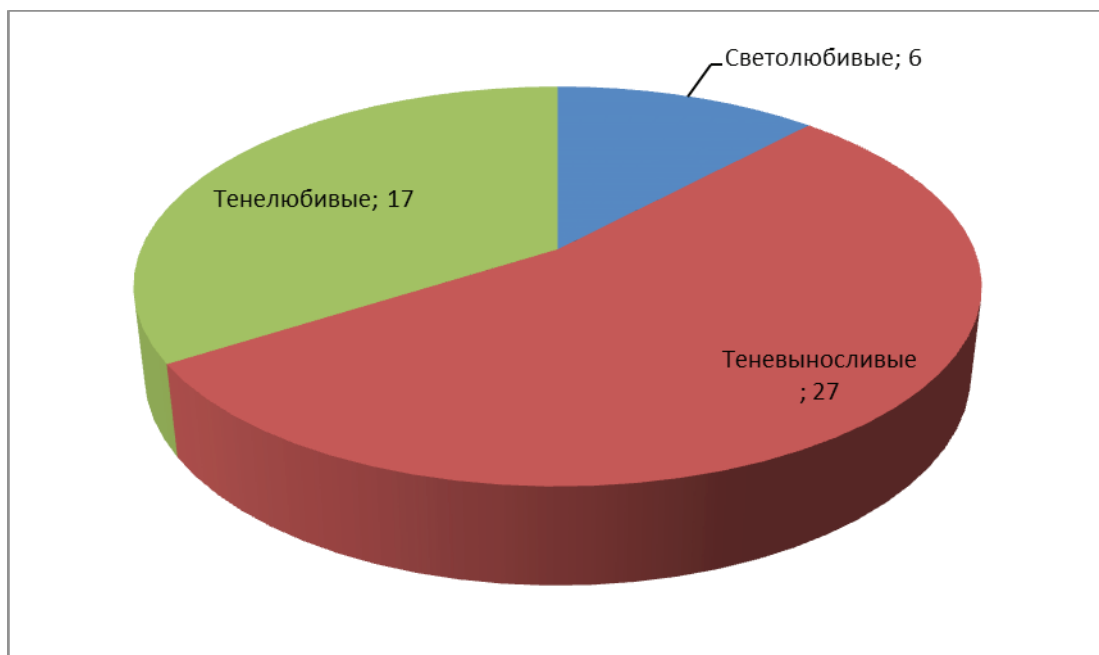


Рис. 7. Соотношение экологических групп папоротников по отношению к освещенности

с верхней стороны кожистые (*Asplenium adiantum-nigrum*, *Asplenium ruta-muraria*), малорассеченные и скручивающиеся при снижении влажности, а затем вновь разворачивающиеся при ее повышении (*Asplenium septentrionale*). Эти виды в основном приурочены к теплым и иногда засушливым районам.

**Мезофиты.** К этой группе относится наибольшая часть папоротников Северо-Западного Кавказа, насчитывающая 28 видов (рисунок 6). Эти виды предпочитают нормально увлажненные местообитания, встречаю-

щиеся как в лесных (*Phyllitis scolopendrium*, *Dryopteris affinis*, *Polystichum braunii*, *Polypodium australe* и др.), так и в скальных (*Asplenium trichomanes*, *Cystopteris fragilis*, *Polypodium vulgare*, *Woodsia fragilis* и др.) сообществах.

**Гигромезофиты.** По количеству представленных папоротников группа, насчитывает 10 видов (рисунок 6). К ней отнесены папоротники, которые в разных частях своего ареала встречаются в экотопах с достаточно выраженным переувлажнением. К данному типу относятся



Рис. 8. Соотношение видов папоротникообразных по отношению к температуре

следующие виды (*Athyrium distentifolium*, *Dryopteris expansa*, *Ophioglossum vulgatum*).

**Гигрофиты.** Экологическая группа представленная всего 4 видами (рисунок 6), (*Adiantum capillus-veneris*, *Thelypteris palustris*, *Osmunda regalis*, *Marsilea quadrifolia*), произрастающими на избыточно увлажненных местообитаниях (болота, заболоченные леса и луга и др.).

**Субгидрофит.** Самая малочисленная группа 1 вид (*Salvinia natans*). К этой группе относятся растения застойно-увлажненных местообитаний.

Папоротники обычно произрастают в более или менее затененных местах, но проведенный нами анализ показал, что папоротники различаются по требованиям к световому режиму. Эти различия дали нам основание выделить три экологические группы папоротников по отношению к световому режиму: 1) светолюбивые (гелиофиты, гемигелиофиты); 2) теневыносливые (гемисциофиты, сциофиты, субгелиофиты); 3) тенелюбивые (сциофиты).

**Светолюбивые.** Самая малочисленная группа папоротников (рисунок 7), насчитывающая всего 6 видов. Светолюбивые растения, или гелиофиты, приурочены к открытым пространствам и не переносят сильного затенения, экологический оптимум находится в области полного солнечного освещения. У ряда из них в строении вай имеются черты ксероморфности, т.е. обилие волосков, чешуи, восковой налет, сниженное количество устьиц и др. Виды относящиеся к этой группе (*Asplenium ruta-muraria*, *Ceterach officinarum*, *Notholaena marantae*, *Salvinia natans*, *Woodsia alpina*). *Salvinia natans* обитающие в незатененных или временно пересыхающих водоемах в местах с высокой степенью освещенности.

**Теневыносливые** или гемисциофиты, лучше растут и развиваются при полной освещенности, но хорошо адаптируются и к слабому свету, широкая экологическая амплитуда по отношению к свету. Самая многочисленная группа папоротников Северо-Западного Кавказа 27 вида (рисунок 7). Виды этой группы способны выходить на открытые участки (поляны, вырубки, луга, открытые скалы и др.) и неплохо здесь себя чувствовать. Такая широкая амплитуда реакции на освещенность обусловлена неоднородностью строения вай теневыносливых папоротников. Для этих видов отмечаются черты приспособленности как в затененных условиях, так и полного освещения (*Asplenium viride*, *Athyrium distentifolium*, *Cystopteris sudetica*, *Matteuccia struthiopteris*).

**Тенелюбивые**, или сциофиты, живут в условиях низкой освещенности и не переносят полного освещения, экологический оптимум находится в области слабой освещенности. Немногочисленная группа папоротников, насчитывающая всего 17 видов (рисунок 7). Эти виды приурочены к лесам средней сомкнутости (0,6–0,8) и плохо переносят как ее увеличение, так и уменьшение. Осветление ценозов, происходящее обычно при вырубке лесов, приводит к угнетению, а впоследствии и к гибели особей тенелюбивых папоротников. Ряд тенелюбивых видов Северо-Западного Кавказа (*Asplenium woronowii*, *Dryopteris filix-mas*, *Polystichum aculeatum*, *Cryptogramma crista*, *Woodsia fragilis*).

По термоморфе в составе папоротникообразных преобладают виды, произрастающие при умеренных и низких температурных режимах, связано это с хорошо выраженной высотной поясностью и преобладанием видов сивантов произрастающих в темных лесных экотопах (рисунок 8).



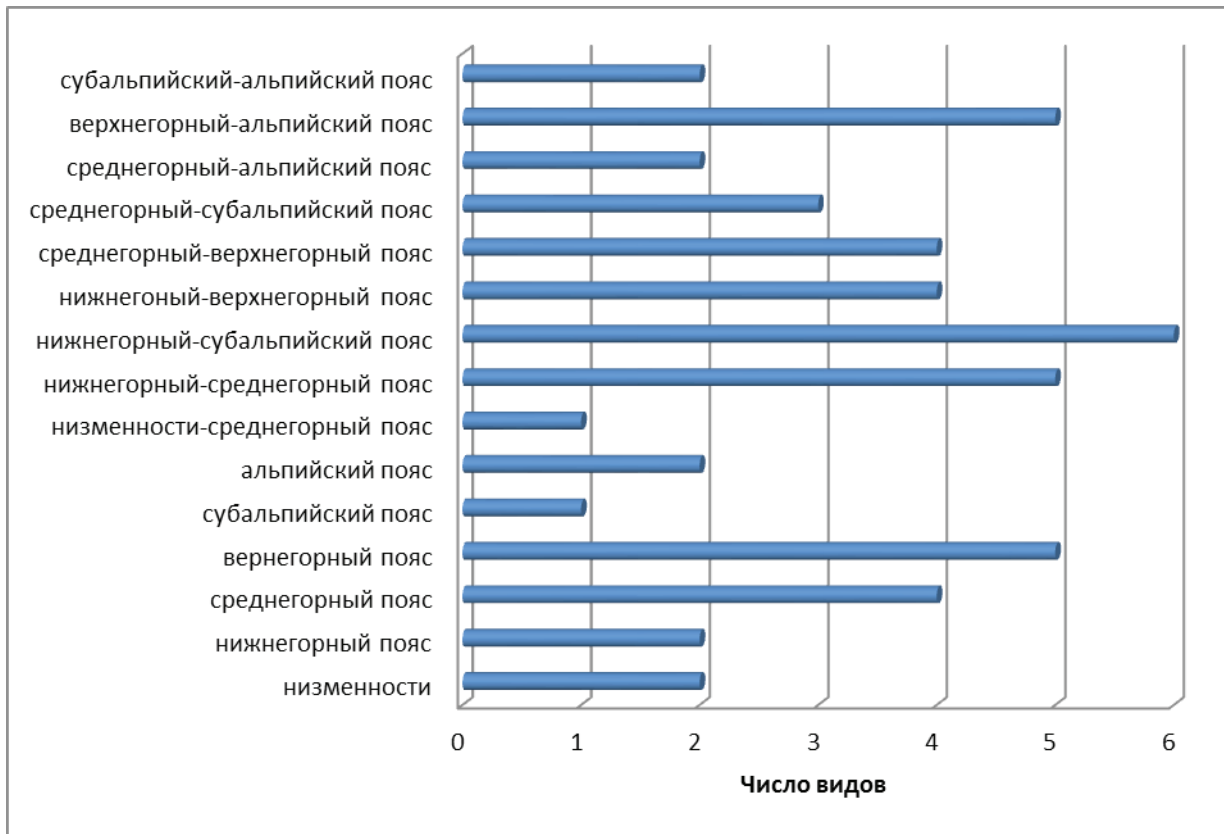


Рис. 9. Распределение видов по высотным поясам

**Микротермы.** Папоротники, предпочитающие сравнительно низкие температуры окружающей среды со сравнительно теплым летом и холодной зимой этих видов немного (*Dryopteris villarii*, *Polystichum lonchitis*, *Criptogramma crista*). Более многочисленная температурная группа **субмикротемы**. К ней относится 16 видов, такие как *Asplenium septentrionale*, *Athyrium distentifolium*, *Cystopteris sudetica*, *Dryopteris expansa*, *Botrychium lunaria* и др.

**Мезотермы.** Виды теплолюбивые, но не жаростойкие, нуждающиеся в умеренных температурах для своего развития. К данной группе относится 13 видов папоротников Северо-Западного Кавказа *Asplenium trichomanes*, *Ceterach officinarum*, *Cystopteris regia*, *Polypodium austral*, *Pteridium tauricum* и др. Так же выделяется группа **субмезотермы** находящаяся на втором месте по количеству представленных в ней видов 11, к которой относятся следующие папоротникообразные *Blechnum spicant*, *Dryopteris affinis*, *Matteuccia struthiopteris*, *Polystichum braunii*, *Ophioglossum vulgatum* и др.

**Макротермы.** Виды растений приспособившихся к высоким температурам, теплолюбивые и достаточно жаростойкие к ним относится один вид *Adiantum capillus-veneris*.

Важным экологическим фактором является приуроченность растений к определенному высотному поясу. Здесь на вид действуют несколько климатических факторов в комплексе: свет, температура, влажность, высотный градиент. Видов произрастающих в одном

высотном поясе значительно меньше, чем видов занимающих одновременно несколько поясов (рисунок 9), так количество видов приуроченных к **нижнегорному поясу** два (*Adiantum capillus-veneris*, *Pteridium tauricum*). В экосистемах **среднегорного пояса** произрастает 4 вида (*Matteuccia struthiopteris*, *Polystichum setiferum*, *P. woronowii*, *Pteridium aquilinum*). В **верхнегорном поясе** насчитывается большее количество видов 5 (*Cystopteris montana*, *C. sudetica*, *Gymnocarpium robertianum*, *Botrychium matricariifolium*, *Oreopteris limbosperma*).

Видов, для которых благоприятны условия произрастания одновременно в поясах от **нижнегорного до субальпийского** шесть (*Asplenium ruta-muraria*, *A. septentrionale*, *Ceterach officinarum*, *Athyrium fulix-femina*, *Dryopteris filix-mas*, *Polypodium vulgare*). Следующие пояса по количеству видов 5 **нижнегорный — среднегорный** (*Asplenium adiantum-nigrum*, *Polystichum aculeatum*, *Ophioglossum vulgatum*, *Polypodium australe*, *Notholaena marantae*) и **верхнегорный лесной — альпийский** (*Botrychium lunaria*, *Criptogramma crista*, *Phegopteris connectilis*, *Woodsia fragilis*, *Woodsia glabella*). Пояса, в которых насчитывается 4 вида следующие **нижнегорный — верхнегорный** (*Asplenium trichomanes*, *Phyllitis scolopendrium*, *Blechnum spicant*, *Cystopteris fragilis*), **среднегорный — верхнегорный** (*Asplenium viride*, *Dryopteris carthusiana*, *D. dilatata*, *Polystichum braunii*). В остальных высотных поясах произрастает от трех и менее видов.

Литература:

1. Галушко А.И. Флора Северного Кавказа. Ростов н/Д., 1978. Т. 1. 320 с.
2. Гроссгейм А.А. Определитель растений Кавказа. М., 1949. 747 с.
3. Зернов А.С. Флора Северо-Западного Кавказа. М., 2006. 664 с.
4. Конспект флоры Кавказа / отв. ред. А.Л. Тахтаджян. Т. 1 / под. ред. Ю.Л. Меницкого, Т.Н. Поповой. Спб., 2006. 204 с.
5. Косенко И.С. Определитель высших растений северо-западного Кавказа и Предкавказья. М., 1970. 613 с.
6. Литвинская С.А. Атлас растений природной флоры Кавказа. М., 2011. 364 с.
7. Экологическая флора Украины / гл. ред. Я.П. Дидух. Киев, 2000. Т.1. 282 с.

# Молодой ученый

Ежемесячный научный журнал

№ 6 (53) / 2013

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

**Главный редактор:**

Ахметова Г. Д.

**Члены редакционной коллегии:**

Ахметова М.Н.

Иванова Ю.В.

Лактионов К.С.

Комогорцев М.Г.

Ахметова В.В.

Брезгин В.С.

Котляров А.В.

Яхина А.С.

Насимов М.О.

**Ответственный редактор:**

Кайнова Г.А.

**Художник:**

Шишков Е. А.

**Верстка:**

Бурьянов П.Я.

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.

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

Мнение редакции может не совпадать  
с мнением авторов материалов.

При перепечатке ссылка на журнал обязательна.

Материалы публикуются в авторской редакции.

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

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

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

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

**Учредитель и издатель:**

ООО «Издательство Молодой ученый»

ISSN 2072-0297

Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии «Ваш полиграфический партнер»  
127238, Москва, Ильменский пр-д, д. 1, стр. 6