

МОЛОДОЙ

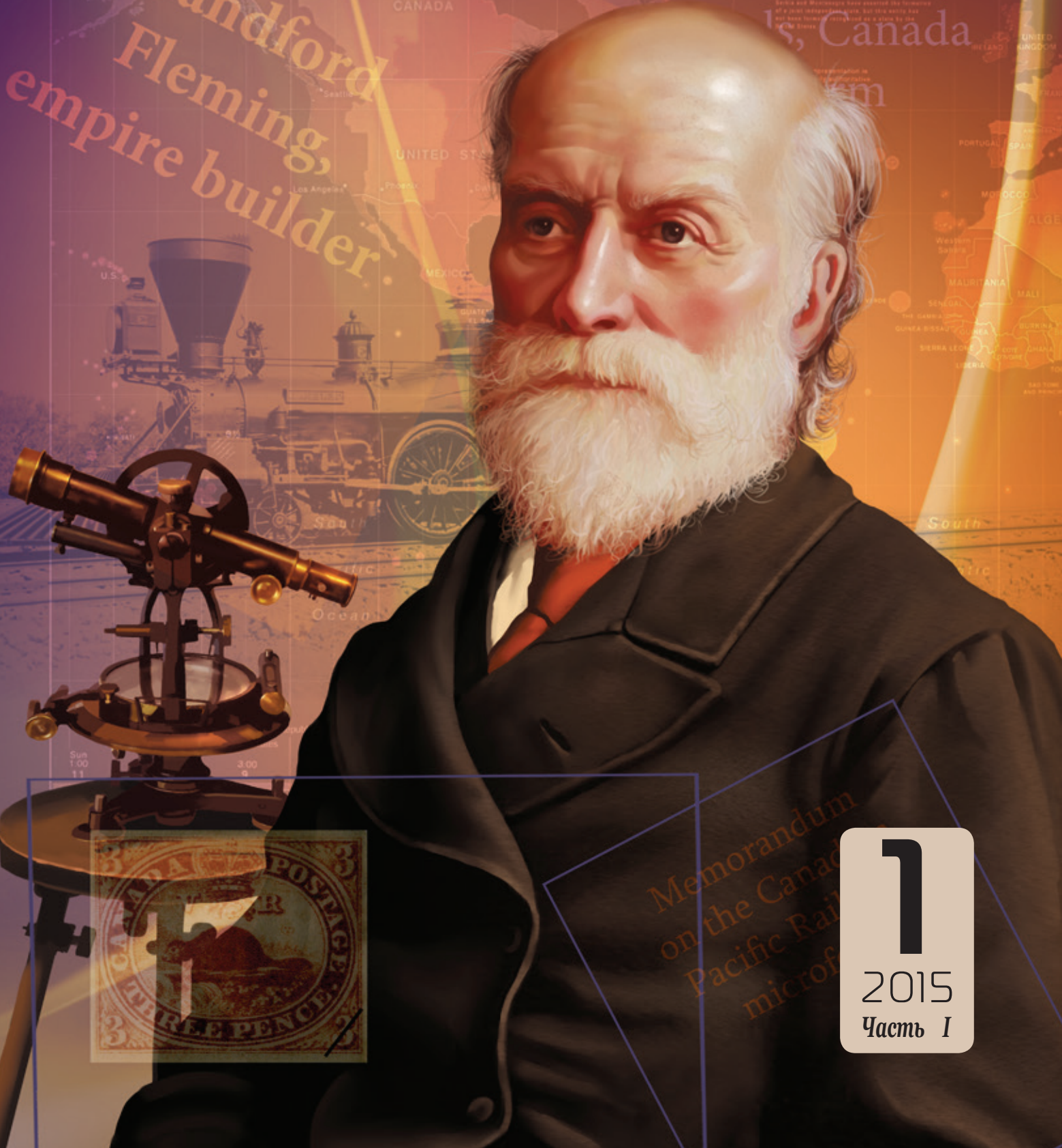
ISSN 2072-0297

УЧЁНЫЙ

ежемесячный научный журнал

*Sandford Fleming,
empire builder*

*Report by the engineer
minister of railways
Canada*



*Memorandum
on the Canadian
Pacific Rail
microf*

1
2015
Часть I

ISSN 2072-0297

Молодой учёный

Ежемесячный научный журнал

№ 1 (81) / 2015

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

Члены редакционной коллегии:

Ахметова Мария Николаевна, *доктор педагогических наук*

Иванова Юлия Валентиновна, *доктор философских наук*

Каленский Александр Васильевич, *доктор физико-математических наук*

Лактионов Константин Станиславович, *доктор биологических наук*

Сараева Надежда Михайловна, *доктор психологических наук*

Авдеюк Оксана Алексеевна, *кандидат технических наук*

Алиева Тарана Ибрагим кызы, *кандидат химических наук*

Ахметова Валерия Валерьевна, *кандидат медицинских наук*

Брезгин Вячеслав Сергеевич, *кандидат экономических наук*

Данилов Олег Евгеньевич, *кандидат педагогических наук*

Дёмин Александр Викторович, *кандидат биологических наук*

Дядюн Кристина Владимировна, *кандидат юридических наук*

Желнова Кристина Владимировна, *кандидат экономических наук*

Жуйкова Тамара Павловна, *кандидат педагогических наук*

Игнатова Мария Александровна, *кандидат искусствоведения*

Коварда Владимир Васильевич, *кандидат физико-математических наук*

Комогорцев Максим Геннадьевич, *кандидат технических наук*

Котляров Алексей Васильевич, *кандидат геолого-минералогических наук*

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

Кучерявенко Светлана Алексеевна, *кандидат экономических наук*

Лескова Екатерина Викторовна, *кандидат физико-математических наук*

Макеева Ирина Александровна, *кандидат педагогических наук*

Матроскина Татьяна Викторовна, *кандидат экономических наук*

Мусаева Ума Алиевна, *кандидат технических наук*

Насимов Мурат Орленбаевич, *кандидат политических наук*

Прончев Геннадий Борисович, *кандидат физико-математических наук*

Семахин Андрей Михайлович, *кандидат технических наук*

Сенюшкин Николай Сергеевич, *кандидат технических наук*

Ткаченко Ирина Георгиевна, *кандидат филологических наук*

Яхина Асия Сергеевна, *кандидат технических наук*

На обложке изображен сэр Сэндфорд Флеминг (1827–1915) — инженер, создавший железнодорожную сеть Канады, а также систему общепринятых сегодня временных поясов (зон).

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

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

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

Учредитель и издатель: ООО «Издательство Молодой ученый»

Тираж 1000 экз.

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

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

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

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

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

Ответственные редакторы:

Кайнова Галина Анатольевна

Осянина Екатерина Игоревна

Международный редакционный совет:

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

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

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

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

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

Гайич Тамара, *доктор экономических наук (Сербия)*

Данатаров Агахан, *кандидат технических наук (Туркменистан)*

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

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

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

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

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

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

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

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

Лю Цзюань, *доктор филологических наук, профессор (Китай)*

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Хоссейни Амир, *доктор филологических наук (Иран)*

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

Художник: Евгений Шишков

Верстка: Павел Бурьянов

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

- Жабборов Х. Х., Хуммаматова К. Х., Рустамов М. Ж.**
Задача наблюдения процесса диффузии1
- Курбат В. В., Полторабатько А. В.**
Моделирование миграционных процессов в Республике Беларусь 6
- Феклистов С. В.**
Многочлены от одной переменной над булевым кольцом 10

ФИЗИКА

- Данилов О. Е.**
Демонстрация зависимости интерференционной картины от расстояния между двумя источниками волн с помощью компьютерной модели.....15
- Емельянов А. А., Козлов А. М., Бесклеткин В. В., Авдеев А. С., Киряков Г. А., Чернов М. В., Габзалилов Э. Ф., Фуртиков К. А., Реутов А. Я., Боброва С. Д., Андреева Е. Д., Карлова М. В.**
Моделирование синхронного явнополюсного линейного двигателя ($Z_1 = 6$) с трехфазной обмоткой индуктора с нулевым проводом.....18

ИНФОРМАТИКА

- Варлатая С. К., Рогова О. С., Юрьев Д. Р.**
Анализ методов защиты беспроводной сети Wi-Fi от известных способов взлома злоумышленником.....36
- Горностаева Е. А.**
Современные проблемы дизайна сайтов и вызовы нового времени38
- Польшакова Н. В., Доманов С. С.**
Компьютерные технологии диагностики автомобиля 40

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Лиманская А. Ю., Аверин И. А.**
Исследования сосудов сердечно-сосудистой системы человека с помощью ИК-Фурье спектрометра и анализ инфракрасных спектров.....44
- Лиманская А. Ю., Аверин И. А.**
Исследование сухожилий человека с помощью ИК-Фурье спектрометра и анализ инфракрасного спектра 47
- Агеева С. П.**
Система поиска сходства шаблонизированных строк49
- Адилжанова А. Б.**
Анализ определения подлинности документа на различных этапах проверки.....52
- Бузинаев Д. Ю., Филиппенко Н. Г., Попов С. И.**
Методика решения задач технологической подготовки в средних образовательных учреждениях54
- Буторин Д. В., Филиппенко Н. Г., Лившиц А. В.**
Некоторые аспекты автоматизированных исследований фазовых превращений полимерных материалов 57
- Заутренников И. В., Кожанова Е. Р., Ткаченко И. М.**
К вопросу исследования карданного механизма..... 61
- Захаров Ю. А., Ремзин Е. В., Мусатов Г. А.**
Обоснование необходимости восстановления посадочных отверстий корпусных деталей автомобилей63
- Захаров Ю. А., Ремзин Е. В., Мусатов Г. А.**
Преимущества гальваномеханического осаждения металлов при восстановлении деталей мобильных машин66

Карев М. Н., Данилов А. М. Аналитическое описание оценки оператором динамических характеристик объекта68	Савкин Л. В., Макаров А. С., Ильиных И. А., Щербаков А. Н., Картинкин Е. А., Дмитриев В. Г. Разработка интерфейса программы измерения скорости движения макета спускаемого аппарата для стенда бросковых испытаний по теме «Луна-Глоб»94
Кирьянова Г. А., Сорокина Л. А., Кожанова Е. Р. Статистический анализ партии обработанных изделий в MS Excel 71	Савурбаев А., Мухаммадиев М.Т. Эшанкулов Ш. У., Гулиев А. А. Косой удар цилиндрического кольца о жесткое полупространство 97
Коробков М. А. Обзор методов и алгоритмов удаления ложных корней в алгоритме редукции ранга74	Суров Л. Д., Филиппов В. В., Махиянова Н. В. Определение вида короткого замыкания в линии, питающей трансформаторную подстанцию, с запретом автоматического повторного включения выключателя 102
Курамбаев Ш. Р., Саидов Х. У., Аитова Ш. К., Жуманиязов М. Ж. Исследования процесса получения антикоррозионных материалов и строительных битумов на основе госсиполовой смолы78	Суров Л. Д., Филиппов В. В. Виды короткого замыкания, определенные по отказу отключения секционных выключателей..... 105
Лысенко Ю. А., Волкова С. А., Петрова В. В. Разработка бактериального концентрата на основе клеток <i>Lactobacillus acidophilus</i> 80	Суров Л. Д., Филиппов В. В. Контроль отказа запрета автоматического включения резерва в линии кольцевой сети .. 108
Нигмадзянова Н. Р. Получение и исследование порошков на основе пористого кремния для применения в биомедицине83	Таньков Г. В., Горячев Н. В., Кочегаров И. И. Механические и тепловые воздействия на РЭС..... 112
Паршина К. С., Гарькина И. А. Оценка психофизиологической напряженности оператора по параметрам управляющих воздействий88	Шевко Д. Г., Козюра В. Е. Гибридная система управления с запаздыванием по состоянию 113
Рылякин Е. Г., Волошин А. И. Эксплуатация мобильных машин в зимних условиях89	Шишкин Ф. Д., Горячев Н. В., Трусов В. А. Особенности программируемых логических устройств 115
Рылякин Е. Г., Волошин А. И. Очистка и восстановление отработанных масел92	

МАТЕМАТИКА

Задача наблюдения процесса диффузии

Жабборов Хуршид Холикулович, магистрант;
 Хуммаматова Камола Хайруллаевна, преподаватель;
 Рустамов Махаммади Жабборович, кандидат физико-математических наук, старший преподаватель
 Джизакский государственный педагогический институт (Узбекистан)

Задача автоматического управления технологическими процессами предполагает широкое использование ЭВМ с целью обработки текущей измерительной информации о состоянии конкретного процесса и выработки оптимальных управляющих воздействий по этой информации.

Поэтому важной составной частью задачи управления является идентификация процессов по принятой модели и наблюдаемой информации. В статье на примере линейной модели управления процессом диффузии рассматривается задача восстановления концентрации диффундирующего вещества на основе измерения ее в отдельных точках пространства, где происходит процесс диффузии. Применением принципа дуальности задач управления и наблюдения вопрос сводится к решению задач об условном экстремуме. Рассмотренная ниже задача, относится к области обратных задач для параболических уравнений [1]. Для ее решения строится специальная сопряженная задача [2, 3], которая далее исследуется методом разделения переменных [4].

1. Задач об определении концентрации в процессе диффузии по наблюдению изменения концентрации в точке

Рассмотрим процесс диффузии в пространстве между пластинками бесконечной длины, расстояние между которыми равно $S = 1$. Предположим, что начальная концентрация и процесс диффузии проходит идентично по (толщине) S . Тогда достаточно анализировать ход процесса в некотором «стержне», расположенном ортогонально пластинкам. Пусть концентрация по S и по времени t описывается функцией $T(x, t)$, где $(0 \leq x \leq 1, 0 \leq t \leq \bar{t})$, \bar{t} — фиксированная точка. Тогда в $[0, 1]$ и при $t > 0$ $T(x, t)$ подчиняется уравнению

$$\frac{\partial T(x, t)}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T(x, t)}{\partial x^2}, (x, t) \in \Pi \tag{1}$$

где $\Pi = ((0, 1) \times (0, \bar{t}))$.

Здесь α — коэффициент диффузии. На концах «стержня» приняты следующие условия диффузии

$$\mu \frac{\partial T(0, t)}{\partial x} = 0, t \in [0, \bar{t}] \quad \mu \frac{\partial T(1, t)}{\partial x} = 0, t \in [0, \bar{t}] \tag{2}$$

где μ — коэффициент пористости, α — коэффициент пропорции концентрации между пористой и внешней средой. Концентрацию внешней среды назовем управляющим воздействием или просто управлением. Для того, чтобы решение уравнения (1), (2) было однозначно определено, достаточно еще задать конечное или начальное состояние диффузии $T(x, 0)$ или $T(x, \bar{t})$. Однако, непосредственно приборами такое состояние диффузии определить можно далеко не всегда.

Предположим, что в процессе диффузии имеется возможность измерять изменения состояния диффузии в некоторых точках «стержня» $X = \bar{x} \in (0, 1)$. Задача определения состояния диффузии на данный момент времени \bar{t} по известному изменению состояния диффузии $T(\bar{x}, t)$ в точке $x = \bar{x}$ и законом диффузии (1)–(2) составляет предмет задачи идентификации процесса диффузии.

Функцию $y(t)$, связанную с состоянием диффузии $T(x, t)$ соотношением

$$y(t) = T(\bar{x}, t), t \in [0, \bar{t}], \tag{4}$$

назовем измеряемой величиной процесса диффузии.

Задача 1. По функции $y(t), t \in [0, \bar{t}]$, константам α, μ и соотношениями (1) — (3) определить $T(x, \bar{t}), x \in [0, 1]$.

Пусть $q(x)$ — заданная функция из $C^1 = (0, 1)$.

Задача 2. В условиях задачи 1 найти величину

$$Z_q = \int_0^1 q(x)T(x, \bar{t})dx \tag{4}$$

Понятно, что решение задачи 2 при различных функциях $q(x) = q_i(x), i=1, 2, \dots, n, \dots$ составляющих базис пространства $Y_2(0, 1)$ позволит найти функцию $T(x, \bar{t})$ по проекциям (4), как элемента $Y_2(0, 1)$. Поэтому далее будем рассматривать только задачу 2 (случай $\bar{x}=1$ рассмотрен в [4]).

2. Условия идентифицируемости проекции

Будем далее считать, что $0 < \bar{x} < 1$ и для представления величины (4) при связях (1)–(3) строим формулу

$$Z_q = \int_0^{\bar{t}} [K(t)y(t) + \varphi(t)U(t)]dt \tag{5}$$

где $K(t)$ и $\varphi(t)$ искомые функции из $Y_2(0, \bar{t})$. Следуя известной технике теории наблюдаемости в линейных задачах [2, 3], выберем линейный функционал (K, φ) так, чтобы при связях (1)–(3) выполнялось тождество

$$\int_0^1 q(x)T(x, \bar{t})dx = \int_0^{\bar{t}} [K(t)y(t) + \varphi(t)U(t)]dt \tag{6}$$

На решениях уравнения (1) образуем тождество

$$\int_0^1 \int_0^{\bar{t}} \psi(x, t) \left[\frac{\partial T(x, t)}{\partial t} - a \frac{\partial^2 T(x, t)}{\partial x^2} \right] dx dt \equiv 0 \tag{7}$$

Здесь $\psi(x, t)$ произвольная функция $\psi(x, t) \in C_{t,x}^{1,2}(\Pi), \Pi = \{([0, x] \times [0, \bar{t}] \cup [\bar{x}, 1] \times [0, \bar{t}])\}$.

Добавим гипотетическое тождество (6) к соотношению (7) и, пользуясь интегрированием по частям (2), (3), преобразуем полученное равенство (7) к виду

$$\begin{aligned} \int_0^1 q(x)T(x, \bar{t})dx &= \int_0^{\bar{t}} [K(t)T(\bar{x}, t) + \varphi(t)U(t)]dt \\ &+ \int_0^{\bar{x}} \psi(x, \bar{t})T(x, \bar{t})dx - \int_0^{\bar{x}} \psi(x, 0)T(x, 0)dx - \int_0^{\bar{x}} \int_0^{\bar{t}} T(x, t) \frac{\partial \psi(x, t)}{\partial t} dx dt \\ &+ \int_{\bar{x}}^1 \psi(x, \bar{t})T(x, \bar{t})dx - \int_{\bar{x}}^1 \psi(x, 0)T(x, 0)dx - \int_{\bar{x}}^1 \int_0^{\bar{t}} T(x, t) \frac{\partial \psi(x, t)}{\partial t} dx dt \\ &- a \int_0^{\bar{t}} \psi(\bar{x} - 0, t) \frac{\partial T(\bar{x}, t)}{\partial x} dt \\ &+ a \int_0^{\bar{t}} \frac{\partial \psi(\bar{x} - 0, t)}{\partial x} T(\bar{x}, t) dt \\ &- a \int_0^{\bar{t}} \frac{\partial \psi(0, t)}{\partial x} T(0, t) dt \\ &- a \int_0^{\bar{x}} \int_0^{\bar{t}} \frac{\partial^2 \psi(x, t)}{\partial x^2} T(x, t) dx dt - a \int_0^{\bar{t}} \psi(1, t) \left[\frac{\alpha}{\mu} U(t) + \frac{\alpha}{\mu} T(1, t) \right] dt + a \int_0^{\bar{t}} \psi(\bar{x} \\ &+ 0, t) \frac{\partial T(\bar{x}, t)}{\partial x} dt + a \int_0^{\bar{t}} \frac{\partial \psi(1, t)}{\partial x} T(1, t) dt - a \int_0^{\bar{t}} \frac{\partial \psi(\bar{x} + 0, t)}{\partial x} T(\bar{x}, t) dt - \\ &a \int_{\bar{x}}^1 \int_0^{\bar{t}} \frac{\partial^2 \psi(x, t)}{\partial x^2} T(x, t) dx dt \end{aligned} \tag{8}$$

Теперь в (8) приравняем коэффициенты при $T(x, t)$ левой и правой частях. Это дает соотношения для $\psi(x, t)$:

$$\frac{\partial \psi(x, t)}{\partial t} + a \frac{\partial^2 \psi(x, t)}{\partial x^2} = 0, (x, t) \in (0, 1) \times (0, \bar{t}), \tag{9}$$

$$\psi(x, 0) = 0, x \in [0, 1], \tag{10}$$

$$\frac{\partial \psi(0, t)}{\partial x} = 0, t \in [0, \bar{t}], \tag{11}$$

$$\frac{\partial \psi(\bar{x}+0, t)}{\partial x} - \frac{\partial \psi(\bar{x}-0, t)}{\partial x} = \frac{K(t)}{a}, t \in [0, \bar{t}], \tag{12}$$

$$\frac{a\alpha}{\mu} \psi(1, t) + a \frac{\partial \psi(1, t)}{\partial x} = 0, t \in [0, \bar{t}] \tag{13}$$

$$\psi(x, \bar{t}) = q(x), x \in [0, 1], \tag{14}$$

$$\psi(\bar{x} + 0, t) = \psi(\bar{x} - 0, t), t \in [0, \bar{t}] \tag{15}$$

Итак, для функции $\psi(x, t)$ получена краевая задача (9)–(15). Пусть она имеет решение при некоторой функции $K(t)$. Тогда (8) сводится к следующему

$$0 \equiv \int_0^{\bar{t}} U(t) \left[\varphi(t) - \frac{a\alpha}{\mu} \psi(1, t) \right] dt$$

Отсюда заключаем: для того чтобы выполнялось соотношение (6) при связях (1)–(3) и любом управлении $U(t)$ достаточно, чтобы

$$\varphi(t) = \frac{a\alpha}{\mu} \psi(1, t) \tag{16}$$

Теорема. Для того, чтобы имело место тождество (16) при связях (1)–(3) достаточно, чтобы существовало решение краевой задачи (9)–(15). При этом функции $K(t)$ и $\varphi(t)$ в (6) определяются решением этой задачи по связям (12)–(16).

3. Вычислительные аспекты

Решим задачу (9)–(15). Пусть известно, что решение $T(x, t)$ системы (1)–(2) принадлежит множеству $M \subset L$ где L –линейное множество в $Y_2(\Pi)$. Пусть управление $U(t)$ — известная функция. Возьмем некоторые функции $\tilde{\psi}(x, t), K(t)$ приближенно удовлетворяющие условиям граничной задачи (9)–(11), (14), (15), то есть возможны ненулевые невязки:

$$\frac{\partial \tilde{\psi}}{\partial t} + a \frac{\partial^2 \tilde{\psi}}{\partial x^2} = r(x, t), (x, t) \in \Pi$$

$$\Psi(x, 0) = r_0(x), x \in [0, 1],$$

$$\frac{\partial \tilde{\psi}(0, t)}{\partial x} = r^{(0)}(t), t \in [0, \bar{t}],$$

$$K(t) - a \left[\frac{\partial \tilde{\psi}(\bar{x}+0, t)}{\partial x} - \frac{\partial \tilde{\psi}(\bar{x}-0, t)}{\partial x} \right] = r^{(\bar{x})}(t), t \in [0, \bar{t}], \left[\frac{\partial \tilde{\psi}(\bar{x}+0, t)}{\partial x} - \frac{\partial \tilde{\psi}(\bar{x}-0, t)}{\partial x} \right] = r^{(\bar{x})}(t), t \in [0, \bar{t}],$$

$$\frac{a\alpha}{\mu} \tilde{\psi}(1, t) + a \frac{\partial \tilde{\psi}(1, t)}{\partial x} = r^{(1)}(t), t \in [0, \bar{t}],$$

$$\tilde{\psi}(x, \bar{t}) - q(x) = r_1(x), x \in [0, 1],$$

$$\Psi(\bar{x} + 0, t) - \Psi(\bar{x} - 0, t) = r_{\bar{x}}(t), t \in [0, \bar{t}],$$

При таких $\tilde{\psi}(x, t), \tilde{K}(t)$ формула (16) имеет согласно (8) погрешность

$$R(\tilde{\psi}, \tilde{K}, T) = \iint_{\Pi} r(x, t)T(x, t)dxdt + \int_0^1 [r_0(x)T(x, 0) - r_1(x)T(x, \bar{t})]dx + \int_0^{\bar{t}} [r^{(0)}(t) \cdot T(0, t) - r^{(1)}(t) \cdot T(1, t) - r_{\bar{x}}(t) \cdot \frac{\partial T(\bar{x}, t)}{\partial x} - r^{\bar{x}}(t) \cdot T(\bar{x}, t)] dt$$

и оценку погрешности

$$|R(\tilde{\psi}, \tilde{K}, T)| \leq \sup_{T \in M} |R(\tilde{\psi}, \tilde{K}, T)| \equiv R(\tilde{\psi}, \tilde{K}) \tag{18}$$

Таким образом, для повышения точности формулы (6) необходимо минимизировать величину $R(\tilde{\psi}, \tilde{K})$ за счет выбора $\tilde{\psi}$ и \tilde{K} . Практический от множеств L и M. Пусть, например $L = Y_2(\Pi), a M$ — множество непрерывных функций в Π , имеющих непрерывную

$$\frac{\partial T(\bar{x}, t)}{\partial x}, t \in [0, \bar{t}]$$

и удовлетворяющих неравенству

$$\rho_0 \iint_{\Pi} T^2(x, t) dxdt + \rho_1 \int_0^1 T^2(x, 0) dx + \rho_2 \int_0^1 T^2(x, \bar{t}) dt + \rho_3 \int_0^{\bar{t}} T^2(0, t) dt + \rho_4 \int_0^{\bar{t}} T^2(1, t) dt + \rho_5 \int_0^{\bar{t}} \left[\frac{\partial T(\bar{x}, t)}{\partial x} \right]^2 dt + \rho_6 \int_0^{\bar{t}} T^2(\bar{x}, t) dt \leq \bar{C}^2 \tag{19}$$

Здесь $\rho_i > 0$ — весовой коэффициент. Тогда погрешность (18) равна $R(\tilde{\psi}, \tilde{K}) = \bar{C} \sqrt{J}$

$$\sqrt{\frac{1}{\rho_0} \iint_{\Pi} r^2(x, t) dxdt + \frac{1}{\rho_1} \int_0^1 r_0^2(x) dx + \frac{1}{\rho_2} \int_0^1 r_1^2(x) dx + \frac{1}{\rho_3} \int_0^{\bar{t}} r^{(0)2}(t) dt + \frac{1}{\rho_4} \int_0^{\bar{t}} r^{(1)2}(t) dt + \frac{1}{\rho_5} \int_0^{\bar{t}} r_{\bar{x}}^2(t) dt + \frac{1}{\rho_6} \int_0^{\bar{t}} r^{\bar{x}2}(t) dt} = \sqrt{J}$$

Минимизируем этот функционал по $\tilde{\psi}, \tilde{K}$. Поскольку $\min R(\tilde{\psi}, \tilde{K}) \propto \min J(\tilde{\psi}, \tilde{K})$, то найдем

$$\min_{\tilde{\psi}, \tilde{K}} R^2(\tilde{\psi}, \tilde{K}) = \bar{C}^2 J \tag{20}$$

Будем решать задачу (20) приближенно, полагая

$$\tilde{K} = \sum_{i=1}^m \beta_i K_i(t), \tilde{\psi} = \sum_{i=1}^n \alpha_i \psi_i(x, t)$$

где $K_i(t)$ и $\psi_i(x, t)$ заданные системы базисных функций и $\tilde{K}(t), \tilde{\psi}(x, t)$ — обобщенные полиномы.

Задачу о минимуме оценки (18) заменим задачей об экстремуме функции $m+n$ вещественных $\{\alpha_i, \beta_i\}$:

$$\min J(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m)$$

$$J = R(\tilde{\psi}^{\wedge}((n)), \tilde{K}^{\wedge}((m)))$$

Эту задачу решим в случае $m=n, \alpha_i = \beta_i$.

Следуя методу разделения переменных при решении уравнения (9), построим функции

$$\tilde{\psi}_i(x, t) = \tilde{K}_i(t) \cdot \eta_i(x), \eta_i(x) = \begin{cases} \bar{\eta}_i(x), x \in [0, \bar{x}] \\ \eta_i(x), x \in [\bar{x}, 1] \end{cases} \tag{22}$$

$$\text{где } \bar{\eta}_i(x) = C \cos \omega_i x, \eta_i^+(x) = D_1 \cos \omega_i x + D_2 \sin \omega_i x$$

Функции $\psi_i(x, t)$ удовлетворяют условиям (9), (11) и (13), когда

$$\omega_j = \pi \left(j + \frac{1}{2} \right), j = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm \dots \tag{23}$$

и коэффициенты C, D_1, D_2 связаны равенством

$$\cos \omega_j \bar{x} = \bar{D}_1 \cos \omega_j \bar{x} + \bar{D}_2 \sin \omega_j \bar{x} \tag{24}$$

где $\bar{D}_1 = \frac{D_1}{c}, \bar{D}_2 = \frac{D_2}{c}$. Тогда условие (12) будет выполнено при

$$K_j(t) = g_j e^{-\omega_j^2 t} \tag{25}$$

где

$$g_j = a\omega_j \cos \omega_j \bar{x} \{ (C - D_1) \cdot tg \omega_j \bar{x} + D_2 \} \tag{26}$$

При этом в (24) при $\cos \omega_j \bar{x} = 0$, будет $D_2 = 0$ и тогда

$$g_j = a\omega_j (C - D_1) \sin \omega_j \bar{x} \tag{26'}$$

Если же в (24) при $\cos \omega_j \bar{x} \neq 0$, то $C - D_1 = D_2 tg \omega_j \bar{x}$ тогда

$$g_j = a\omega_j D_2 \frac{1}{\cos \omega_j \bar{x}} \tag{26''}$$

Теперь решение задачи (9), (11), (12), (13), (15), в которой искомыми являются $\tilde{\psi}(x, t)$ и $\tilde{K}(t)$, можно строить в виде отрезка ряда по функциям (22):

$$\tilde{\psi}^{(n)}(x, t) = \sum_{i=1}^n \alpha_i \eta_i(x) K_i(t) \tag{27}$$

$$\tilde{K}^{(n)}(t) = \sum_{i=1}^n \alpha_i K_i(t)$$

Заметим, что здесь можно выбрать коэффициенты α_i при соблюдении условий (26), (26'), (26''). Для функции (27)

$$r(x, t) \equiv 0, r^{(0)}(t) \equiv 0, r^{(1)}(t) \equiv 0, r_{\bar{x}}(t) \equiv 0, r^{(\bar{x})}(t) \equiv 0$$

Общее решение взяв в виде (22) можно получить оценку. Тогда оценка (20) примет вид

$$R^2(\tilde{\psi}, \tilde{K}) = \frac{1}{\rho_1} \int_0^1 [\tilde{\psi}(x, 0)]^2 dx + \frac{1}{\rho_2} \int_0^1 [\tilde{\psi}(x, \bar{t}) - q(x)]^2 dx \tag{28}$$

Ограничиваясь здесь отрезками $\tilde{\psi}^{(n)}(x, t), \tilde{K}^{(n)}(t)$ рядов (27) получим

$$R^2(\tilde{\psi}^{(n)}, \tilde{K}^{(n)}) = R^{2-}(\tilde{\psi}^{(n)}, \tilde{K}^{(n)}) + R^{2+}(\tilde{\psi}^{(n)}, \tilde{K}^{(n)})$$

где

$$R^{2-}(\tilde{\psi}^{(n)}, \tilde{K}^{(n)}) = \frac{1}{\rho_1} \int_0^{\bar{x}} \left[\sum_{i=1}^n \alpha_i \cos \omega_i x (-ag_i) \right]^2 dx + \frac{1}{\rho_2} \int_0^{\bar{x}} \left[\sum_{i=1}^n \alpha_i \cos \omega_i x \gamma_i (-ag_i) - q(x) \right]^2 dx$$

$$R^{2+}(\tilde{\psi}^{(n)}, \tilde{K}^{(n)})$$

$$= \frac{1}{\rho_1} \int_{\bar{x}}^1 \left[\sum_{i=1}^n \alpha_i (D_1 \cos \omega_i x + D_2 \sin \omega_i x) \cdot (-ag_i) \right]^2 dx$$

$$+ \frac{1}{\rho_2} \int_{\bar{x}}^1 \left[\sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot (D_1 \cos \omega_i x + D_2 \sin \omega_i x) \cdot \gamma_i \cdot (-ag_i) - q(x) \right]^2 dx$$

Здесь $\gamma_i = e^{a\omega_i^2 \bar{t}}$.

Теперь необходимо отыскивать минимум функций (28) по величинам $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ при условиях (26), (26'), (26'').

Найденное значение минимума будет давать оценку погрешности формулы (5). Считая ω_i фиксированным, обозначим

$$R^2(\tilde{\psi}^{(n)}, \tilde{K}^{(n)}) = J(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$$

Необходимые условия экстремума

$$\frac{\partial J(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)}{\partial \alpha_j} = 0$$

Таким образом, мы решили одно из возможных решений системы (9)-(15). Остальные решения находятся аналогичным образом.

Литература:

1. Алифанов, О. М. Экстремальные методы решения некорректных задач. — М.: Наука, 1988. — 288 с.
2. Иванов, А. П., Кирин Н. Е., Устинов В. Л. Сопряженные задачи в проблеме наблюдаемости линейных систем с распределенными параметрами // Динамика систем и управления: Межвузов. сб. науч. труд. — Саранск, 1986. — с. 69–75.

3. Иванов, А. П., Кирин Н. Е. Сопряженные задачи теории управления. — Л.: изд-во ЛГУ, — 1988. — 88 с.
4. Кирин, Н. Е., Рустамов М. Д. К задаче наблюдения процесса нагрева тел/ТГПИ. — Т., 1988. — 10 с. — Библиогр. 4 назв. — Рус.-Деп. в УзНИИНТИ 13.09.88, №840-Уз.
5. Рустамов, М., Эрназарова Н., Жабборов Х. К задаче наблюдения процесса нагрева тел/Молодой ученый. Ежемесячный научный журнал. — Россия, Чита: — 2014. — № 19. — с. 4–9.

Моделирование миграционных процессов в Республике Беларусь

Курбат Валерия Валерьевна, студент;

Полторабатыко Антон Владленович, студент

Белорусский государственный экономический университет (г. Минск)

Проблема миграции населения одна из самых актуальных в мире на сегодняшний день. От ее разрешения во многом зависят возможности развития экономики рассматриваемых территорий и условия жизни будущих поколений. Рациональное размещение населения способствует эффективному функционированию экономики, сглаживает региональные противоречия, устраняет внутреннюю социально-экономическую напряженность. Для любого цивилизованного государства важно, чтобы не происходила чрезмерная концентрация населения и экономики в одних регионах и запустение в других. Знания в области закономерностей миграционных процессов и управления ими, а также взаимодействия миграции населения с различными сторонами общественного развития влияют на выработку стратегий экономической, демографической и миграционной политики.

На миграционные процессы влияет множество факторов, но особое значение имеют экономические, среди которых выделяют наличие рабочих мест, уровень заработной платы, жилищная обеспеченность и т. д. Также учитывается и случайный фактор, поскольку участниками миграционных процессов являются люди, обладающие собственными целями и интересами, предугадать которые невозможно.

Существующие миграционные модели исследованы недостаточно и не имеют конкретных предложений в реальных условиях. Поэтому представляется актуальным развитие и модификация известных моделей с учетом различных факторов, влияющих на миграцию, и разработка на основе них собственных методик и приложений, позволяющих моделировать миграцию населения регионов Беларуси.

Моделирование миграционного процесса на основе детерминированного подхода

Рассматриваемая модель для исследования динамики численности населения позволяет учитывать дополнительные факторы, описывающие экономические перспективы развития территории. Характеристики системы выражаются тремя переменными: $X(t)$ — объем выпуска продукции, производимой на данной территории, $Y(t)$ — численность населения, $Z(t)$ — средние цены на первичном рынке жилья.

Первые два показателя являются ключевыми при сравнительном анализе привлекательности территориального образования. Динамика третьего показателя также позволяет оценить перспективы развития территории, поскольку сравнительно резкое падение среднего уровня цен на первичном рынке жилья может свидетельствовать о снижении благосостояния населения и депрессивном характере экономики страны, а взлет цен может служить индикатором предстоящего оттока жителей, в основном молодежи, в места с более доступным жильем.

Будем полагать, что выпускаемая территорией продукция промышленности идет на удовлетворение потребительских нужд населения или экспортируется.

Развитие территории описывается динамической моделью [4], представляющей собой систему трех нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка:

$$\begin{cases} \frac{dX}{dt} = a_1(a_2Y - a_3X), \\ \frac{dY}{dt} = c_1(c_2X - c_3Y) - c_4XZ, \\ \frac{dZ}{dt} = d_1XY - d_2Z, \end{cases} \quad (1)$$

Где a_i, c_j, d_k — положительные числа. Модель содержит девять параметров:

$$i + j + k = 9, i = \overline{1,3}; j = \overline{1,4}; k = \overline{1,2}.$$

Коэффициент a_2 характеризует номинированный на душу населения спрос на продукцию, производимую на рассматриваемой территории. Параметр a_3 интерпретируется как уровень предложения продукции внутри территории. В соответствии с принятыми определениями a_2Y отображает общий спрос жителей на выпускаемую продукцию, a_3X — общий поток произведенной продукции на рынок рассматриваемой территории. Таким образом, первое уравнение системы (1) показывает, что скорость изменения производства продукции пропорциональна избытку спроса; если спрос превышает предложение, то производство имеет тенденцию к расширению, и наоборот. Параметр a_1 имеет смысл скорости установления. Цена на жилье в данной модели не влияет на уровень производства.

Второе уравнение модели описывает изменение численности населения территории. Коэффициент c_2 интерпретируется как спрос на труд со стороны фирм для производства единицы продукции. Следовательно, c_2X — это общий спрос на данный ресурс на рынке труда рассматриваемой территории. Параметр c_3 задает отношение численности жителей, занятых в экономике территории или находящихся в поиске работы, к общей численности населения территории. Слагаемое c_3Y характеризует общую величину предложения на рынке труда рассматриваемой территории, а разность $c_2X - c_3Y$ описывает избыток спроса на труд, и, следовательно, определяет направление миграции. На уровень миграции влияет также уровень цен на жилье, так как люди стараются выбирать для проживания местность с невысокой стоимостью жилья. Член c_4XZ описывает это условие.

Третье уравнение системы (1) построено с учетом предположения о том, что на скорость изменения цены на жилье положительно влияют объем производимой на территории продукции и численность населения, и отрицательно влияет текущая величина цены на жилье. То есть при высоком уровне цен на рынке жилья дальнейшее увеличение цены затруднительно, а при низком уровне дальнейшее снижение цены сдерживается.

Интерпретация результатов моделирования на основе реальных данных

Для демонстрации возможностей рассмотренной модели применим описанный подход к анализу реальной ситуации, характерной для социально-экономического развития Республики Беларусь с 2009—2012 гг.

В качестве переменных модели рассматриваем следующие социально-экономические показатели, публикуемые Национальным статистическим комитетом Республики Беларусь [6]: X — объем валового внутреннего продукта, Y — численность населения, Z — средние цены на первичном рынке жилья.

Методика построения модели, описывающей социально-экономическое развитие Беларуси включает в себя следующие этапы:

1. Вычисление производных в уравнениях модели.

Для начала определяем временной период, за который будет производиться анализ системы, так для Республики Беларусь в дальнейшем будет рассматриваться период 2009—2012 г. г

Далее для нахождения производных $\frac{dX}{dt}, \frac{dY}{dt}, \frac{dZ}{dt}$, в уравнениях модели строим приближающую функцию 2-ой степени

для динамики переменных X, Y, Z , минимизируя отклонения от реальных значений, зафиксированных Национальным статистическим комитетом Республики Беларусь, методом наименьших квадратов. Затем в каждой точке, соответствующей рассматриваемым годам периода, вычисляем производную построенной функции. Данные вычисления производим на основе вычислительной системы Mathcad, распечатка представлена в Приложении 2.

2. Расчет коэффициентов модели.

- 2.1. Расчет коэффициентов, однозначно определяющихся из уравнений модели.

Опишем расчет таких коэффициентов, которые могут быть однозначно определены из уравнений модели.

Для первого уравнения в качестве члена a_2Y будем рассматривать ВВП страны, в качестве a_3X — значение фактического конечного потребления домашних хозяйств на территории страны (КПДХ). Таким образом, разница между ними будет показывать, насколько регион производит больше, чем потребляет. И эта разница определяет тенденцию к расширению производства. Чем она больше, тем выше скорость увеличения производства, и наоборот — чем меньше, тем ниже скорость.

Оба члена определяются по соответствующим показателям, публикуемым Национальным статистическим комитетом Республики Беларусь. Поэтому коэффициенты a_2 и a_3 рассчитываются по формулам ниже:

$$a_2 = \frac{ВВП}{Y}, a_3 = \frac{КПДХ}{X},$$

Параметр a_1 , имеющий смысл скорости установления объема ВВП, определяем исходя из ранее определенных значений коэффициентов a_2 и a_3 , и значения производной $\frac{dX}{dt}$, расчет которой был представлен в пункте 1:

$$a_1 = \frac{dX/dt}{a_2Y - a_3X}$$

Рассмотрим второе уравнение, описывающее динамику изменения численности населения. В качестве члена c_2X , определяющего спрос на труд, будем рассматривать сумму экономически активного населения, занятого в экономике (работающие), и числа заявленных вакансий в органы службы занятости. В качестве c_3Y , выражающего предложение труда, — сумму работающего населения и числа безработных, зарегистрированных органами службы занятости. Значения перечисленных показателей публикуются Национальным статистическим комитетом Республики Беларусь. Таким образом, мы можем рассчитать коэффициенты c_2 и c_3 :

$$c_2 = \frac{\text{Эк. акт. нас., занятое в эк.} + \text{Заявл. вакансии}}{X},$$

$$c_3 = \frac{\text{Эк. активн. нас., занятое в эк.} + \text{Число безработных}}{Y}$$

2.2. Расчет коэффициентов, не определяющихся однозначно из уравнений модели.

Во втором уравнении такими коэффициентами являются c_1 и c_4 , в третьем — d_1 и d_2 . Данные коэффициенты определяют влияние членов уравнения на скорость изменения переменных модели и не могут быть однозначно определены из уравнений по статистическим данным.

Поэтому будем использовать следующий алгоритм их расчета. Так как наша динамическая модель предполагает, что с течением времени значения коэффициентов постоянны, то будем их находить из условия минимизации отклонений между ними на всем временном интервале. Поставленную задачу минимизации решаем с помощью вычислительной системы Mathcad.

3. Нахождение итоговых коэффициентов модели

Таким образом, на предыдущем этапе были определены значения всех коэффициентов модели за каждый год рассматриваемого периода. На данном шаге мы вычисляем среднее значение каждого коэффициента за весь период. Эти усредненные коэффициенты и будут определять модель для анализа социально-экономического развития страны.

4. Анализ построенной модели

Полученная модель с коэффициентами, рассчитанными на третьем этапе, определяет динамику развития страны по основным социально-экономическим показателям. Далее строим решение модели на всем рассматриваемом периоде, беря за начальные значения переменных — данные Национального статистического комитета Республики Беларусь на начало периода. После чего мы можем вычислить погрешность модели, сравнивая за каждый год полученное решение согласно модели и реальные значения переменных.

Применим теперь описанную методику к моделированию ситуации, характерной для социально-экономического развития Республики Беларусь за 2009–2012 гг.

Для определения производных по реальным данным за рассматриваемый период методом наименьших квадратов были построены приближающие функции:

$$X(t) = 39340t^2 - 140600t + 240200$$

$$Y(t) = 2.071t^2 - 25.929t + 9540$$

$$Z(t) = 651.964t^2 - 2496t + 4452$$

Вычисляем производные за каждый год и коэффициенты модели, рассчитанные согласно методике на период 2009–2012 гг.

Как итог, находим средние значения коэффициентов модели (1), которые и будут определять динамику развития Республики Беларусь:

$$a_1 = 1,117427237$$

$$a_2 = 29,73409384$$

$$a_3 = 0,609681009$$

$$c_1 = 0,0001$$

$$c_2 = 0,231300968$$

$$c_3 = 0,492817797$$

$$c_4 = 0,0000000280$$

$$d_1 = 0,0000022812$$

$$d_2 = 0,89628659$$

Погрешность модели при этом составляет для переменной X — 6,39%, для переменной Y — 0,026%, для переменной Z — 10,518%. То есть в среднем по модели по всем переменным 5,645%.

Таким образом, мы показали, что рассмотренная нами модель и ее интерпретация, включающая разработанную методику определения коэффициентов, являются адекватными и хорошо воспроизводят реальные процессы в социально-экономическом развитии Беларуси и может быть использована для дальнейшего прогнозирования.

В частности, были проведены прогнозы численности населения на 2015 год. Численность населения составила 8435,688135 тыс. человек. Однако в долгосрочной перспективе прогноз численности населения не представляется возможным, так как на показатель влияет ряд внешних факторов, чье влияние в модели не учитывается.

Вывод

Таким образом, выполненное в данной работе математическое моделирование процесса миграции с учетом дополнительных факторов, характеризующих экономическое развитие страны, подтвердило возможность изучения процесса с помощью детерминированной динамической системы. Разработанная методика для интерпретации уравнений использованной модели в контексте проблем миграции населения и производства продукции позволяет применить полученные результаты для объяснения феномена развития страны.

Литература:

1. Андронов, А. А., Леонтович Е. А., Гордон И. И., Майер А. Г. Качественная теория динамических систем второго порядка. — М.: Наука, 1966.
2. Валентей, Д. И., Кваша А. Я. Основы демографии — М.: «Экономика», 1989.
3. Зайончковская, Ж. Методология и методы изучения миграционных процессов/Под ред. Зайончковской Ж., Молодиковой И., Мукомеля В. — М., 2007.
4. Занг, В. Б. Синергетическая экономика. — М.: Мир, 1999.
5. Зиновский, В. И. Регионы Республики Беларусь. Социально-экономические показатели — Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2014
6. Зиновский, В. И. Статистический ежегодник Республики Беларусь — Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2014
7. Калиткин, Н. Н. Численные методы/Под ред. Самарского А. А. — М.: Наука, 1978.
8. Плис, А. И., Кливина Н. А. MathCAD: Математический практикум для экономистов и инженеров. — М.: Финансы и Статистика, 1999.
9. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2020 г.

Многочлены от одной переменной над булевым кольцом

Феклистов Сергей Викторович, студент

Арзамасский филиал Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского

В данной статье ставится и решается задача о нахождении корней многочлена над булевым кольцом. Представлен алгоритм решения уравнений и систем уравнений от одной переменной над алгеброй множеств. А также рассмотрено применение изложенного материала при оценке мощности множества.

Ключевые слова: булево кольцо, булева алгебра, многочлен, алгебра множеств, мощность множества, кольцо многочленов

Polynomials in one variable over a Boolean ring

Feklistov Sergey Viktorovich, student

Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod (Arzamas Branch)

This article is formulated and solved the problem of finding the roots of a polynomial over a Boolean ring. An algorithm for solving equations and systems of equations in one variable over an algebra of sets. And also considered the use of the material in the assessment of the power set.

Keywords: Boolean ring, Boolean algebra, polynomial algebra of sets, cardinality, the ring of polynomials

Как известно, над любым коммутативным кольцом с единицей можно построить кольцо многочленов. В данной статье ставится и решается задача о нахождении корней многочлена над булевым кольцом. В частности рассматривается случай, когда носителем кольца является булеан. При нахождении корней многочлена применяется теорема, связывающая булево кольцо с соответствующей булевой алгеброй; на основе этой теоремы доказывается еще ряд предложений. Также будет представлен алгоритм решения уравнений и систем уравнений от одной переменной над алгеброй множеств, который вытекает из решения основной задачи. В конце статьи рассмотрено применение изложенного материала при оценке мощностей множеств.

Булевым кольцом $\mathbf{X} = (X, +, \cdot, \mathbf{0}, \mathbf{e})$ называется ассоциативное коммутативное кольцо с единицей \mathbf{e} , в котором все элементы идемпотентны, то есть $\forall x \in \mathbf{X}: x \cdot x = x$. Причем бинарная операция сложения обладает следующим свойством: $\forall x \in \mathbf{X}: x + x = \mathbf{0}$, то есть каждый элемент является симметричным самому себе относительно операции сложения [1 с.75].

Рассмотрим булево кольцо $\mathbf{W} = (P(W), +, \cdot, \emptyset, W)$, где $P(W)$ — множество всех подмножеств некоторого множества W (булеан). Операция сложения — симметрическая разность множеств (по определению $A + B = (A \cap \neg B) \cup (\neg A \cap B)$, где \neg — операция дополнения до множества W), умножение — операция пересечения множеств. Кольцом многочленов $\mathbf{W}[X]$, полученное присоединением к кольцу \mathbf{W} переменной X , содержит многочлены вида $A + B \cdot X$, где $A, B \in \mathbf{W}$. Вообще, данное кольцо содержит многочлены вида $A_0 + A_1X + \dots + A_nX^n$, но так как кольцо идемпотентно, то $A_0 + A_1X + \dots + A_nX^n = A_0 + (A_1 + \dots + A_n)X$.

Задача. Найти общее решение уравнения $A + B \cdot X = \emptyset$ над кольцом \mathbf{W} , где $A \neq \emptyset, W$; $B \neq \emptyset, W$.

Можно записать это уравнение иначе: $B \cdot X = A$ (прибавить к обеим частям A). Так как кольцо \mathbf{W} не является полем и при этом оно имеет характеристику равную 2 (порядок единицы \mathbf{e} в аддитивной группе кольца равен 2), то решить такое уравнение не так уж и просто.

Для решения поставленной задачи необходимо сформулировать ряд определений и предложений.

Булевой алгеброй $\mathfrak{B} = \langle B, \sqcup, \sqcap, ', o, e \rangle$ называется множество B , содержащее, по крайней мере, два элемента — нуль (o) и единица (e), с заданным на нем некоторыми бинарными операциями (\sqcup), (\sqcap) и унарной операцией ($'$). При этом для любых $x, y, z \in B$ выполняются следующие аксиомы булевой алгебры свойства:

- 1) $x \sqcup y = y \sqcup x, x \sqcap y = y \sqcap x$ — законы коммутативности
- 2) $(x \sqcup y) \sqcap z = (x \sqcap z) \sqcup (y \sqcap z), (x \sqcap y) \sqcup z = (x \sqcup z) \sqcap (y \sqcup z)$ — законы дистрибутивности
- 3) $(x \sqcup y) \sqcup z = x \sqcup (y \sqcup z), (x \sqcap y) \sqcap z = x \sqcap (y \sqcap z)$ — законы ассоциативности
- 4) $x \sqcup x = x, x \sqcap x = x$ — законы идемпотентности
- 5) $x \sqcap (x \sqcup y) = x, x \sqcup (x \sqcap y) = x$ — законы поглощения
- 6) $(x \sqcup y)' = x' \sqcap y', (x \sqcap y)' = x' \sqcup y'$ — законы де Моргана
- 7) $(x')' = x$ — закон инволюции
- 8) $x \sqcup x' = e, x \sqcap x' = o$ — законы полноты и обособленности дополнения [2 с. 4].

Свойства:

- 1) $e' = o, o' = e$
- 2) $x \sqcup o = x, x \sqcap e = x$
- 3) $x \sqcup e = e, x \sqcap o = o$ [2].

Теорема. Всякая булева алгебра является булевым кольцом относительно операций $+$ и \cdot , определенных равенствами: $x + y = (x \sqcap y') \sqcup (x' \sqcap y)$; $x \cdot y = x \sqcap y$. При этом нуль и единица булева кольца совпадают с нулем и единицей булевой алгебры. Обратно, всякое булево кольцо является булевой алгеброй относительно операций $\sqcup, \sqcap, '$, определенных равенствами: $x \sqcup y = x + y + x \cdot y$; $x \sqcap y = x \cdot y$; $x' = e + x$ [1 с.75].

На носителе булевой алгебры можно ввести некоторый частичный порядок \preceq (например, это может быть \subseteq или \leq , в зависимости от носителя), следующим образом: $x \preceq y$ тогда и только тогда, когда $x \sqcap y = x$ [1]. Рассмотрим алгебру множеств $\mathfrak{B} = \langle P(W), \cup, \cap, \neg, \emptyset, W \rangle$. На носителе алгебры множеств можно ввести частичный порядок «включение» \subseteq .

Предложение 1. В булевой алгебре имеет место: $A \sqcap B = o \Leftrightarrow A \preceq B', \forall A, B \in \mathfrak{B}$

Доказательство.

Необходимость.

Пусть $A \sqcap B = o$. Рассмотрим выражение $A \sqcap B' = X$, тогда $(A \sqcap B) \sqcup (A \sqcap B') = X \Rightarrow (A \sqcap B) \sqcup (A \sqcap B') = A \sqcap (B \sqcup B') = X = A \Rightarrow A \sqcap B' = A \Rightarrow A \preceq B'$

Достаточность.

Пусть $A \preceq B'$, тогда $A \sqcap B' = A$. Рассмотрим выражение $A \sqcap B = X$, тогда $(A \sqcap B) \sqcup (A \sqcap B') = X \sqcup A \Rightarrow X \sqcup A = A \Rightarrow X = o \Rightarrow A \sqcap B = o$

На носителе булева кольца также можно ввести некоторый частичный порядок \preceq следующим образом: $x \preceq y$ тогда и только тогда, когда $x \cdot y = x$ [1]. Если рассмотреть булево кольцо $\mathfrak{W} = \langle P(W), +, \cdot, \emptyset, W \rangle$, то на его носителе можно ввести частичный порядок «включение» \subseteq .

Предложение 2. В булевом кольце имеет место: $A \cdot B = o \Leftrightarrow A \preceq W + B, \forall A, B \in \mathfrak{W}$

Доказательство. Вытекает из теоремы и предложения 1.

По теореме булево кольцо $\langle P(W), +, \cdot, \emptyset, W \rangle$ является алгеброй множеств $\langle P(W), \cup, \cap, \neg, \emptyset, W \rangle$, и наоборот.

Вернемся к основной задаче. В соответствии с теоремой можно уравнение $A + B \cdot X = \emptyset$ преобразовать к виду $(A \cap (\neg B \cup \neg X)) \cup (\neg A \cap B \cap X) = \emptyset; (A \cap \neg B) \cup (A \cap \neg X) \cup (\neg A \cap B \cap X) = \emptyset$. Далее, из законов алгебры множеств известно, что объединение совокупности множеств равно пустому множеству тогда и только тогда, когда каждое из множеств данной совокупности пустое, поэтому можно составить следующую систему:

$$\begin{cases} \neg A \cap B \cap X = \emptyset \\ A \cap \neg X = \emptyset \\ A \cap \neg B = \emptyset \end{cases}, \text{ по предложению 1: } \begin{cases} X \subseteq A \cup \neg B \\ A \subseteq X \\ A \subseteq B \end{cases}. \text{ Таким образом, } A \subseteq X \subseteq A \cup \neg B, \text{ причем } A \subseteq B.$$

В соответствии с теоремой, получим, что решение уравнения $A + B \cdot X = \emptyset$ имеет вид: $A \subseteq X \subseteq W + B + A, A \subseteq B$ (действительно, $A \cup \neg B = A + W + B + A(W + B) = A + W + B + AW + AB$, так как

$A \subseteq B \subseteq W$, то очевидно, что $AB = AW = A$, тогда $A \cup \neg B = W + B + A$. Таким образом, любой многочлен от одной переменной над булевым кольцом имеет такой вид решения.

Можно указать способ решения уравнений над алгеброй множеств. Пусть дано некоторое уравнение над алгеброй множеств $A(X) = B(X)$. Оно равносильно уравнению $A(X) + B(X) = \emptyset$. Далее, уравнение $A(X) + B(X) = \emptyset$ необходимо привести к виду $A + B \cdot X = \emptyset$, и тогда решение можно записать в следующем виде: $A \subseteq X \subseteq W + B + A, A \subseteq B$, или в виде: $A \subseteq X \subseteq A \cup \neg B, A \subseteq B$.

Пример 1. Решить уравнение над алгеброй множеств $A \cap B \cap X = C$.

Применяя теорему, получим $A \cdot B \cdot X + C = \emptyset$. Тогда решение будет иметь вид $C \subseteq X \subseteq W + A \cdot B + C, C \subseteq A \cdot B$. Можно данное решение записать и в следующем виде: $C \subseteq X \subseteq \neg(A \cap B) \cup C, C \subseteq A \cap B$.

Алгоритм получения решения уравнений над алгеброй множеств:

- 1) привести уравнение $A(X) + B(X) = \emptyset$ к виду $A + B \cdot X = \emptyset$;
- 2) записать решение в виде $A \subseteq X \subseteq W + B + A, A \subseteq B$ или в виде $A \subseteq X \subseteq A \cup \neg B, A \subseteq B$.

Рассмотрим решение системы уравнений над алгеброй множеств.

Пусть дана система двух уравнений с одной переменной:
$$\begin{cases} A(X) = B(X) \\ C(X) = D(X) \end{cases}$$

Приводим каждое уравнение к виду $A + B \cdot X = \emptyset$ и, решая каждое в отдельности, получим:

$$\begin{cases} A(X) + B(X) = \emptyset \\ C(X) + D(X) = \emptyset \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} A + B \cdot X = \emptyset \\ C + D \cdot X = \emptyset \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} A \subseteq X \subseteq W + B + A, A \subseteq B \\ C \subseteq X \subseteq W + D + C, C \subseteq D \end{cases} \text{ или } \begin{cases} A \subseteq X \subseteq A \cup \neg B, A \subseteq B \\ C \subseteq X \subseteq C \cup \neg D, C \subseteq D \end{cases}$$

Для нахождения общего решения системы сформулируем предложение и докажем его.

Предложение 3. $\begin{cases} A \subseteq X \subseteq B \\ C \subseteq X \subseteq D \end{cases} \Leftrightarrow A \cup C \subseteq X \subseteq B \cap D$

Доказательство.

Необходимость и достаточность (« \Leftrightarrow »):

$$\begin{cases} A \subseteq X \subseteq B \\ C \subseteq X \subseteq D \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} A \subseteq X \\ X \subseteq B \\ C \subseteq X \\ X \subseteq D \end{cases} \Leftrightarrow \text{по предложению 1: } \begin{cases} A \cap \neg X = \emptyset \\ X \cap \neg B = \emptyset \\ C \cap \neg X = \emptyset \\ X \cap \neg D = \emptyset \end{cases} \Leftrightarrow$$

можно записать следующим образом: $\begin{cases} (A \cap \neg X) \cup (C \cap \neg X) = \emptyset \\ (X \cap \neg B) \cup (X \cap \neg D) = \emptyset \end{cases} \Leftrightarrow$

$$\begin{cases} \neg X \cap (A \cup C) = \emptyset \\ X \cap (\neg B \cup \neg D) = \emptyset \end{cases} \Leftrightarrow \text{по предложению 1: } \begin{cases} (A \cup C) \subseteq X \\ X \subseteq (B \cap D) \end{cases} \Leftrightarrow A \cup C \subseteq X \subseteq B \cap D$$

Таким образом, на основании предложения 3 заключаем, что общее решение системы $\begin{cases} A(X) = B(X) \\ C(X) = D(X) \end{cases}$ имеет вид:

$$A \cup C \subseteq X \subseteq (A \cup \neg B) \cap (C \cup \neg D), A \subseteq B, C \subseteq D, \text{ или: } AC + A + C \subseteq X \subseteq (W + B + A)(W + D + C), A \subseteq B, C \subseteq D.$$

Следствие.
$$\begin{cases} A_1 \subseteq X \subseteq B_1 \\ A_2 \subseteq X \subseteq B_2 \\ \dots \dots \dots \\ A_n \subseteq X \subseteq B_n \end{cases} \Leftrightarrow \bigcup_{i=1}^n A_i \subseteq X \subseteq \bigcap_{i=1}^n B_i$$

Доказательство. На основании предложения 3.

Пример 2. Решить систему уравнений $\begin{cases} A \cap B \cap X = C \\ X \setminus A = B \end{cases}$.

Приводим обе системы к виду $A + B \cdot X = \emptyset$:

$$\begin{cases} A \cap B \cap X + C = \emptyset \\ X \cap \neg A + B = \emptyset \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} A \cdot B \cdot X + C = \emptyset \\ X \cdot (W + A) + B = \emptyset \end{cases}$$

Далее запишем решение каждого из уравнения: $\begin{cases} C \subseteq X \subseteq W + A \cdot B + C, C \subseteq A \cdot B \\ B \subseteq X \subseteq A + B, B \subseteq A + W \end{cases}$. Тогда общее решение имеет вид:

$B \cdot C + B + C \subseteq X \subseteq (W + A \cdot B + C)(A + B), C \subseteq A \cdot B, B \subseteq A + W$, но так как $B \subseteq A + W$, то $A \cdot B = \emptyset$, значит $C = \emptyset$, поэтому $B \subseteq X \subseteq A + B, A \cdot B = \emptyset, C = \emptyset$.

Или:

$$B \subseteq X \subseteq A \cup B, A \cap B = \emptyset, C = \emptyset.$$

Алгоритм получения решения системы уравнений над алгеброй множеств:

- 1) решить в отдельности каждое из уравнений системы, применяя алгоритм для одного уравнения;
- 2) найти общее решение, применяя предложение 3 или его следствие.

Рассмотрим булево кольцо $\mathbf{W} = \langle P(W), +, \cdot, \emptyset, W \rangle$, где $|W| = n$, тогда $|P(W)| = 2^n$. Пусть дано некоторое выражение $A(X) = B(X)$. Приведем его к виду $A + B \cdot X = \emptyset$, и пусть известны мощности множеств A, B . Задача состоит в оценке мощности множества X .

Очевидно, что $\forall A, B \in P(W) (A \subseteq B \Rightarrow |A| \leq |B|)$, где $|P(W)| = 2^n$. (*)

Для оценки мощности множества можно в некоторых случаях использовать формулу включения-исключения:

$$|\cup_{i=1}^k A_i| = \sum_{i=1}^k (-1)^{i-1} \cdot S_i,$$

$$\text{где } S_1 = \sum_{i=1}^k |A_i|, S_2 = \sum_{i,j} |A_i \cap A_j|, S_3 = \sum_{i,j,t} |A_i \cap A_j \cap A_t|, \dots, S_k = |\cap_{i=1}^k A_i| [3]. (**)$$

Решение уравнения $A + B \cdot X = \emptyset$ имеет вид: $A \subseteq X \subseteq W + B + A, A \subseteq B$. Тогда, на основании (*), получаем следующую оценку для мощности множества X : $|A| \leq |X| \leq |W + B + A|, |A| \leq |B|$. Можно ли упростить выражение $|W + B + A|$?

Предложение 5. $|\sum_{i=1}^k A_i| = \sum_{i=1}^k (-2)^{i-1} \cdot S_i$

Доказательство. Доказательство проведем методом математической индукции по числу k .

База индукции. Если $k = 1$, то $|A_1| = S_1$. Если $k = 2$, то докажем, что $|A_1 + A_2| = S_1 - 2S_2$.

Построим диаграмму Эйлера-Венна в общем виде.

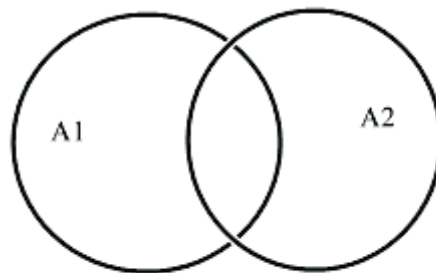


Рис. 1

Из рисунка 1 видно, что $|A_1 + A_2| = |A_1| + |A_2| - 2|A_1 \cap A_2| = S_1 - 2S_2$.

Шаг индукции. Пусть предложение истинно для всех $k \leq n$. Докажем, что предложение имеет место для $k = n + 1$.

Имеем, что $|\sum_{i=1}^n A_i| = \sum_{i=1}^n (-2)^{i-1} \cdot S_i$. Тогда $|\sum_{i=1}^{n+1} A_i| = |\sum_{i=1}^n A_i + A_{n+1}|$. Из базы индукции известно, что $|A_1 + A_2| = |A_1| + |A_2| - 2|A_1 \cap A_2|$, тогда

$$|\sum_{i=1}^n A_i + A_{n+1}| = |\sum_{i=1}^n A_i| + |A_{n+1}| - 2|\sum_{i=1}^n A_i \cap A_{n+1}| = \sum_{i=1}^n (-2)^{i-1} \cdot S_i + |A_{n+1}| - 2|\sum_{i=1}^n (A_i \cap A_{n+1})| \quad (1)$$

Далее, преобразуем выражение

$$|\sum_{i=1}^n (A_i \cap A_{n+1})| = \sum_{i=1}^n (-2)^{i-1} \cdot S'_i = \sum_{i=1}^n |A_i \cap A_{n+1}| - 2 \sum_{i,j} |A_i \cap A_j \cap A_{n+1}| + \dots + (-2)^{n-1} |\cap_{i=1}^n A_i \cap A_{n+1}| \quad (2)$$

В итоге, подставляя (2) в (1), получим:

$$|\sum_{i=1}^n A_i + A_{n+1}| = \sum_{i=1}^n (-2)^{i-1} \cdot S_i + |A_{n+1}| - 2|\sum_{i=1}^n (A_i \cap A_{n+1})| = \sum_{i=1}^n (-2)^{i-1} \cdot S_i + |A_{n+1}| - 2 \sum_{i=1}^n |A_i \cap A_{n+1}| + 4 \sum_{i,j} |A_i \cap A_j \cap A_{n+1}| + \dots + (-2)^n |\cap_{i=1}^n A_i \cap A_{n+1}| = \sum_{i=1}^{n+1} (-2)^{i-1} \cdot S_i$$

Вывод индукции: предложение истинно для любых натуральных k .

Таким образом, в соответствии с предложением 5,

$$|W + B + A| = |W| + |B| + |A| - 2(|WA| + |WB| + |AB|) + 4|WAB|. \text{ Так как } A \subseteq B \subseteq W, \text{ то}$$

$$|W + B + A| = |W| + |B| + |A| - 2|A| - 2|B| - 2|A| + 4|A| = |W| + |A| - |B|.$$

Таким образом, оценка мощности множества X имеет вид: $|A| \leq |X| \leq |W| + |A| - |B|$, $|A| \leq |B|$.

Если множества A, B представляют собой сложные выражения, то для вычисления их мощностей можно воспользоваться формулой включения-исключения (**), при этом необходимо знать мощности всевозможных пересечений простых множеств, составляющих сложные выражения A, B .

Пример 3. Оценить мощность множества X , если известно, что $A \cap B \cap X = C$, при этом

$$|C| = 5, |W| = 20, |A \cap B| = 10.$$

Решение данного уравнения имеет вид $C \subseteq X \subseteq W + A \cdot B + C$, $C \subseteq A \cdot B$, тогда

$$|C| \leq |X| \leq |W| - |A \cdot B| + |C|, |C| \leq |A \cdot B|. \text{ Таким образом, } 5 \leq |X| \leq 15.$$

Нетрудно заметить, что если построить кольцо многочленов от n переменных над булевым кольцом с тривиальным носителем (\emptyset, W) (то есть над кольцом $(\{\emptyset, W\}, +, \cdot, \emptyset, W)$), то полученное кольцо многочленов от n переменных будет изоморфно кольцу многочленов от n переменных над \mathbb{Z}_2 (в силу изоморфизма колец $(\{\emptyset, W\}, +, \cdot, \emptyset, W)$ и \mathbb{Z}_2 , которые являются полями). Такое кольцо называют *кольцом булевых многочленов (или полиномов Жегалкина)*.

Таким образом, в статье исследована одна из основных задач теории многочленов — нахождение корней многочленов над некоторым кольцом, в частности над булевым кольцом. Было показано, что, не смотря на свою кажущуюся простоту, уравнение вида $A + B \cdot X = \emptyset$ над кольцом $(P(W), +, \cdot, \emptyset, W)$, где $A \neq \emptyset, W$; $B \neq \emptyset, W$, имеет не тривиальное решение в этом кольце. Это обусловлено необычными свойствами данного кольца (по сравнению, например, с кольцом целых чисел). Приведены алгоритмы решения данного уравнения и системы уравнений, основанные на теореме, связывающей булево кольцо с соответствующей булевой алгеброй. А также решена задача об оценке мощности множества, для которого задано уравнение $A + B \cdot X = \emptyset$ над булевым кольцом с носителем конечной мощности. В дальнейшем планируется исследование многочленов в кольце $\mathbb{W}[X, Y]$, а также и в кольце $\mathbb{W}[X_1, \dots, X_n]$.

Литература:

1. Владимиров, Д. А. Булевы алгебры — М.: Наука, 1969. — 320 с.
2. Гуров, С. И. Упорядоченные множества и универсальная алгебра (вводный курс). — М.: Издательский отдел ф-та ВМиК МГУ, 2005. — 83 с.
3. Елисеев, Е. М., Елисеев М. Е. Элементы дискретной математики: Учебное пособие — Арзамас: АГПИ, 2003. — 98 с.
4. Куликов, Л. Я. Алгебра и теория чисел: Учебное пособие для педагогических институтов — М.: Высшая школа, 1979. — 559 с.
5. Сангалова, М. Е. Курс лекций по математической логике: Учебное пособие — Арзамас: АГПИ, 2006. — 98 с.

ФИЗИКА

Демонстрация зависимости интерференционной картины от расстояния между двумя источниками волн с помощью компьютерной модели

Данилов Олег Евгеньевич, кандидат педагогических наук, доцент
Глазовский государственный педагогический институт имени В.Г. Короленко (Удмуртская Республика)

В статье показано, как с помощью компьютерной модели интерференции волн от двух точечных источников, предлагаемой автором, обучающимся демонстрируют изменение интерференционной картины при изменении расстояния между источниками когерентных волн.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, модель, учебная компьютерная модель, интерференция, когерентные волны, опыт Юнга, обучение физике.

Эта статья является продолжением наших статей, опубликованных ранее [1; 2; 3; 4; 7; 8; 10]. В ней также показано, как с помощью компьютерного моделирования можно визуализировать интерференционную картину, описываемую математическими соотношениями, для успешного изучения явления интерференции обучающимися [1; 2; 5, с. 13–18; 8].

В учебной теории интерференции волн от двух точечных источников приводится формула для расчета ширины максимумов интерференционной картины [1]:

$$\Delta x = x_{k+1} - x_k = y\lambda/d,$$

где k — номер интерференционного максимума, y — расстояние от отрезка, соединяющего источники волн, до наблюдаемой картины распределения интенсивности вдоль прямой; λ — длина волн, испускаемых источниками; d — расстояние между этими источниками. Как правило, это выражение выводится в учебниках аналитическим способом, при этом считается, что $y \gg d$. По этой причине на теоретическом графике зависимости интенсивности интерферируемой волны $I(x)$ максимумы интенсивности имеют одинаковую ширину (рис. 1). Анализируя формулу, обучающиеся могут сделать вывод, согласно которому при приближении источников друг к другу (при неизменном расстоянии до линии, вдоль которой рассматривается распределение интенсивности) ширина интерференционных максимумов увеличивается (рис. 1). Если расстояние уменьшится в n раз, то ширина максимумов увеличится в n раз (в том приближении, о котором говорилось выше).

Если продемонстрировать обучающимся приведенную выше приближенную формулу для расчета ширины интерференционных максимумов и соответствующие ей графические иллюстрации, представленные на рис. 1, это

не будет достаточным для формирования у обучающихся правильных и полных представлений о картине распределения интенсивности интерферируемой волны.

Для того чтобы эти представления стали более полными, мы предлагаем использовать учебную компьютерную модель интерференции, достаточно подробное описание которой было приведено нами в предыдущих статьях [2; 3; 8]. Компьютерная программа, реализующая эту модель, демонстрирует обучающимся два вида распределения интенсивности интерферируемой волны: распределение вдоль отрезка прямой и распределение на плоскости (рис. 2). Первое представляет собой график зависимости $I(x)$, второе распределение $I(x, y)$ фактически представляет собой распределение интенсивности I на плоскости xOy , визуализированное с помощью следующего приема — каждому значению интенсивности в данной точке плоскости сопоставлены точки одного цвета, но разной яркости (чем больше значение, тем больше яркость).

Программа позволяет осуществить визуализацию интерференционной картины и продемонстрировать изменение интерференционной картины при уменьшении (или увеличении) расстояния между источниками волн. Сначала обучающимся демонстрируется интерференционная картина, представленная на рис. 2, а затем — та, которая представлена на рис. 3. Анализировать результаты такого численного эксперимента значительно проще, чем результаты умозрительного эксперимента, который каждый из обучающихся должен провести, опираясь на фрагменты теории интерференции, о которых было сказано в начале этой статьи [6]. Кроме того, учащиеся видят, что максимумы не одинаковы по ширине. Картина распределения на плоскости позволяет говорить о том, что множества точек, со-

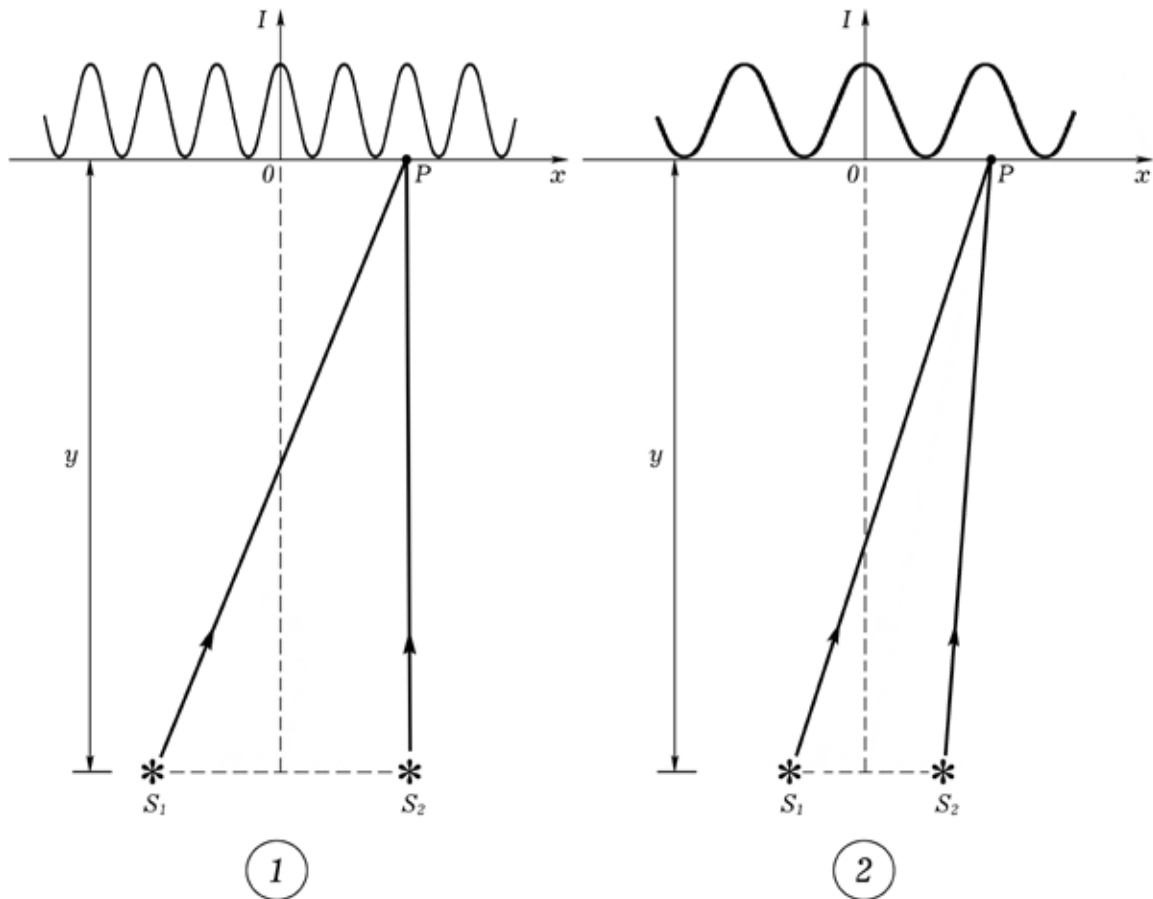


Рис. 1. Схема опыта Юнга, используемая для расчета приближенной интерференционной картины

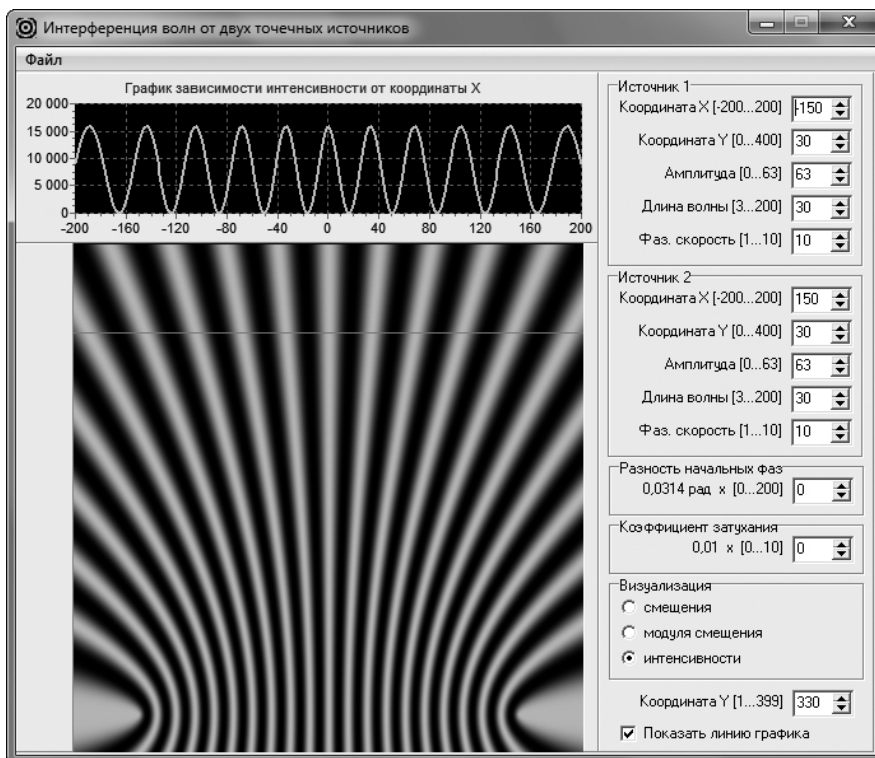


Рис. 2. Распределения интенсивности интерферируемой волны вдоль прямой и на плоскости

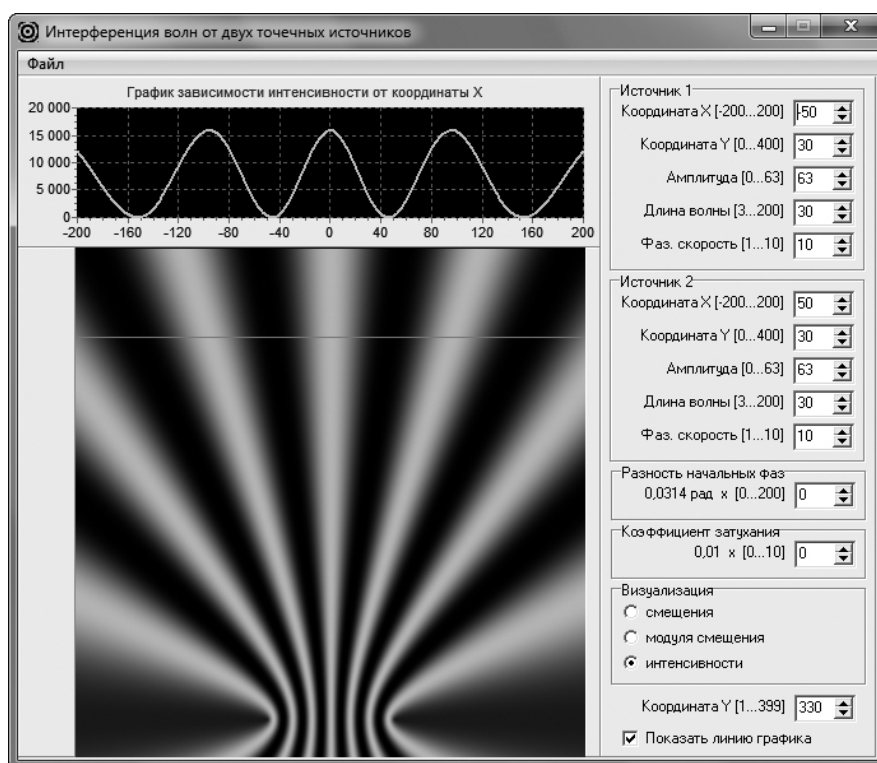


Рис. 3. Изменение вида распределений интенсивности интерферируемой волны вдоль прямой и на плоскости в случае приближения источников волн друг к другу

ответствующие максимумам интенсивности, представляют собой двуполостные гиперболоиды вращения. Вряд ли преподавателю удастся об этом убедительно и доказательно рассказать, если он в своем рассуждении, предназначенном для обучающихся, будет опираться только на существенно упрощенную математическую модель, о которой

говорилось в начале статьи. Отметим также, что учебный физический эксперимент, визуализирующий аналогичные рассмотренным картины распределений интенсивности при интерференции волн, довольно сложен в плане его постановки и получения наглядных экспериментальных результатов [9, с. 103–112; 10].

Литература:

1. Данилов, О.Е. Демонстрация зависимости распределения интенсивности интерферируемой волны вдоль прямой от расстояния между этой прямой и отрезком, соединяющим точечные источники когерентных волн, с помощью компьютерной модели/О.Е. Данилов // Молодой ученый. — 2014. — № 16. — с. 15–19.
2. Данилов, О.Е. Демонстрация явления интерференции волн от двух точечных источников с помощью компьютерной модели/О.Е. Данилов // Молодой ученый. — 2014. — № 13. — с. 5–10.
3. Данилов, О.Е. Изучение интерференции с помощью компьютерного моделирования/О.Е. Данилов // Дистанционное и виртуальное обучение. — 2013. — №9. — с. 50–58.
4. Данилов, О.Е. Компьютерная модель интерференции от двух точечных источников/О.Е. Данилов // Информатика: проблемы, методология, технологии: Материалы XI Международной научно-практической конференции, Воронеж, 10–11 февраля 2011 г.: в 3 т. Т. 3. Школа-конференция «Информатика в образовании». — Воронеж: Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2011. — с. 87–89.
5. Данилов, О.Е. Компьютерное моделирование: Волновое уравнение. Численные методы решения физических задач. Borland Pascal. Учебно-методическое пособие/О.Е. Данилов. — Глазов: ГГПИ, 2009. — 24 с.
6. Данилов, О.Е. Применение имитационного моделирования механических взаимодействий при обучении физике/О.Е. Данилов // Дистанционное и виртуальное обучение. — 2014. — №5. — с. 97–103.
7. Данилов, О.Е. Формирование умения проводить теоретическое исследование при изучении распределения физической величины в пространстве с помощью компьютерной модели/О.Е. Данилов // Дистанционное и виртуальное обучение. — 2013. — №7. — с. 84–94.

8. Компьютерная модель интерференции/О. Е. Данилов. — Электрон. дан. — Сайты Google, 2011. — Режим доступа: <https://sites.google.com/site/intercommmod/>. — Загл. с экрана.
9. Профессиональное образование: модернизационные аспекты: коллективная монография. В 9 т. Т. 4./Р. М. Абдулгалимов, Н. А. Артеменко, С. В. Белоусов, Т. Е. Беньковская, О. М. Бородулина, О. Е. Данилов, С. И. Моднов, Т. К. Ивашковская, А. Г. Маланов, М. В. Пац, Н. В. Попова, Н. Е. Попова, Е. И. Черкашина; под ред. О. П. Чигишевой. — Ростов-н/Д: Издательство Международного исследовательского центра «Научное сотрудничество», 2014. — 267 с.
10. Danilov, O. Particular didactic principles on the use of computer visualization of the fields of physical quantities in the educational process/O. Danilov // Young Scientist USA: Education. — Lulu, 2014. — P. 29–32.

Моделирование синхронного явнополюсного линейного двигателя ($Z_1 = 6$) с трехфазной обмоткой индуктора с нулевым проводом

Емельянов Александр Александрович, доцент;
 Козлов Алексей Максимович, студент;
 Бескеткин Виктор Викторович, студент;
 Авдеев Александр Сергеевич, студент;
 Киряков Георгий Анатольевич, студент;
 Чернов Михаил Владимирович, студент;
 Габзалилов Эльвир Фиргатович, студент;
 Фуртиков Кирилл Алексеевич, студент;
 Реутов Александр Янович, студент;
 Боброва Светлана Дмитриевна, студент;
 Андреева Екатерина Дмитриевна, студент;
 Карлова Мария Валерьевна, студент

Российский государственный профессионально-педагогический университет (г. Екатеринбург)

В данной работе приведен результат математического моделирования синхронного явнополюсного линейного двигателя (СЯЛД) с помощью магнитных и электрических схем замещения [1]. В пазах индуктора ($Z_1 = 6$) расположена классическая трехфазная обмотка с нулевым проводом [2]. Всё пространство подвижного элемента (ротора) разбито на 12 частей, соответствующих зубцовому делению индуктора, как показано на рис. 2. Ширина полюса в данной работе принята равной ширине междуполюсного пространства с обмотками постоянного тока.

Так как работа адресована студентам, то для лучшего овладения материалом выводы математических формул даны без сокращений.

Запишем основные уравнения для « n »-ого участка схемы замещения (рис. 1).

Баланс магнитных напряжений магнитной цепи

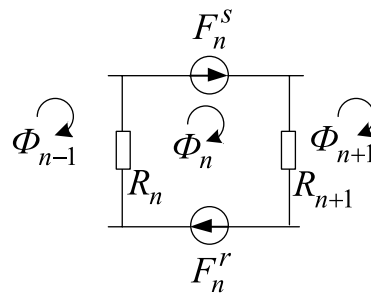


Рис. 1. Магнитная схема замещения « n »-го участка

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

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

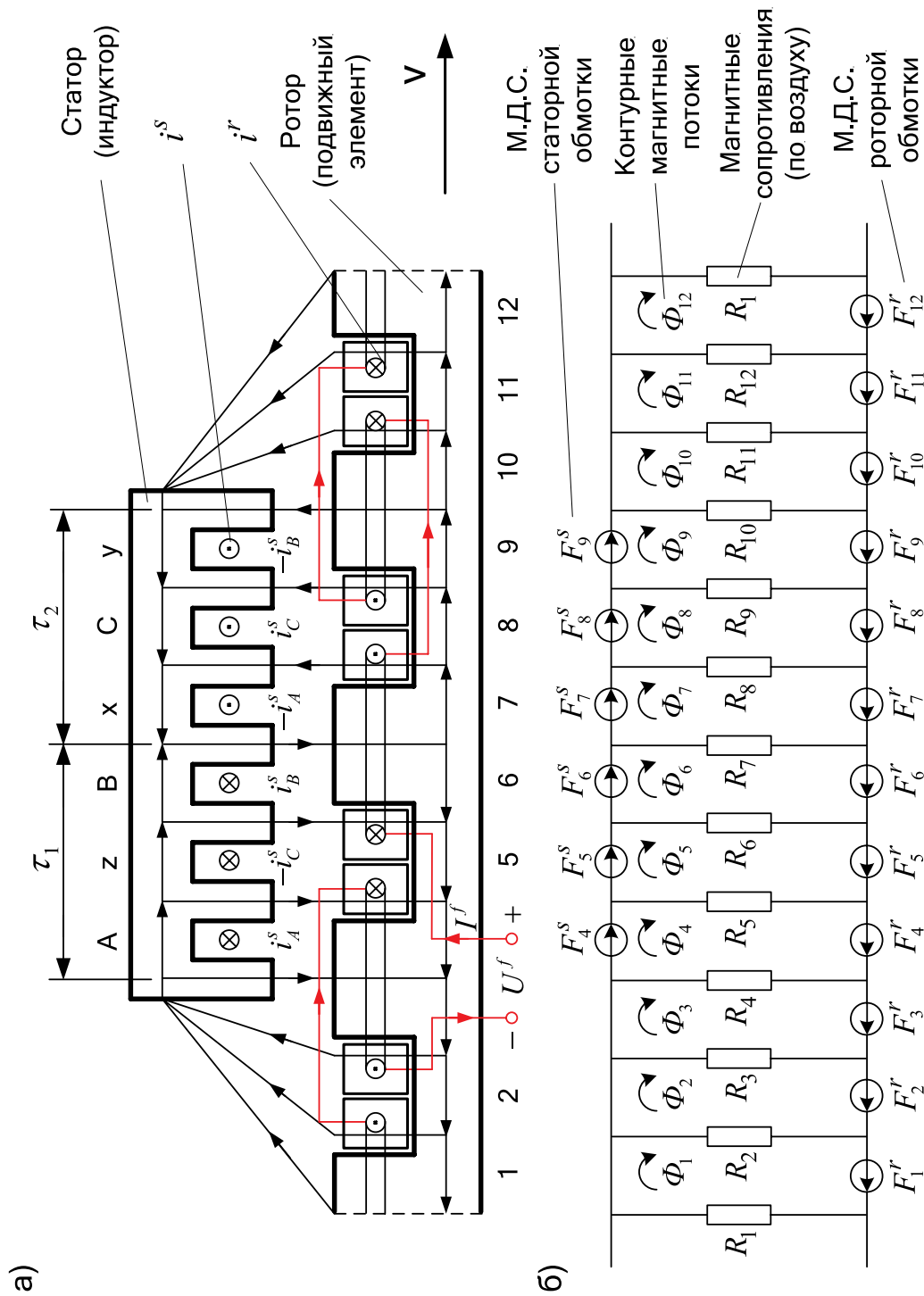


Рис. 2. а) Синхронный явнополюсный линейный двигатель ($2p = 2, Z_1 = 6$); б) Магнитная схема замещения

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

$F_n^r = \omega_n^r \cdot i_n^r + \omega_n^r \cdot I_n^f$ – М.Д.С. тока в обмотке подвижного элемента (ротора);

$F_n^S = 0$ – в шунтирующих зонах.

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

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

где $F_n^r = F_n^r_{асинхр.} + F_n^f_{синхр.} = \underbrace{\omega_n^r \cdot i_n^r}_{асинхр.} + \underbrace{\omega_n^r \cdot I_n^f}_{синхр.}$.

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

Ток i_n^r условно назовем асинхронной составляющей полного тока в роторной обмотке. Этот ток создается от Э.Д.С. трансформации, Э.Д.С. движения, от изменяющегося потока во времени или от движущего потока в пространстве [4], [5], ..., [11].

Вторая составляющая М.Д.С. (условно назовем синхронная составляющая $F_n^f_{синхр.}$) представляет собой бегущую в пространстве ступенчатую фигуру в соответствии с дискретным расположением роторной обмотки.

В данной работе синхронную составляющую выразим 1-й гармоникой бегущей волны:

$$F_n^f_{синхр.} = \omega_n^r \cdot I_M^f \cdot \sin\left(\omega R \cdot k \cdot dt - \frac{\pi}{\tau} \cdot t_z \cdot (n - 0,5)\right),$$

где $\tau = 3 \cdot t_z$ – полюсное деление;

$$\omega R = \frac{\pi}{\tau} \cdot v_0;$$

v_0 – линейная скорость ($v_0 = v_{k-1}$).

Отсюда асинхронная составляющая тока в обмотке ротора определится по следующему выражению:

$$i_{n,k}^r = -\frac{\omega_n^S}{\omega_n^r} \cdot i_{n,k}^S - \frac{R_n}{\omega_n^r} \cdot \Phi_{n-1,k} + \frac{R_n + R_{n+1}}{\omega_n^r} \cdot \Phi_{n,k} - \frac{R_{n+1}}{\omega_n^r} \cdot \Phi_{n+1,k} - I_{n,k}^f. \quad (1)$$

Уравнение баланса напряжений электрической цепи ротора для асинхронной составляющей тока ротора

$$r^r \cdot i_n^r + L^r \cdot \frac{\partial i_n^r}{\partial t} + L^r \cdot v_{k-1} \cdot \frac{\partial i_n^r}{\partial x} = -\omega_n^r \cdot \frac{\partial \Phi_n}{\partial t} - \omega_n^r \cdot v_{k-1} \cdot \frac{\partial \Phi_n}{\partial x}. \quad (2)$$

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) линейную скорость ротора принимаем равной $v = v_{k-1}$ 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:

$$\begin{aligned} r^r \cdot i_{n,k}^r + L^r \cdot \frac{i_{n,k}^r - i_{n,k-1}^r}{\Delta t} + L^r \cdot v_{k-1} \cdot \frac{i_{n+1,k}^r - i_{n-1,k}^r}{2 \cdot t_z} = \\ = -\omega_n^r \cdot \frac{\Phi_{n,k} - \Phi_{n,k-1}}{\Delta t} - \omega_n^r \cdot v_{k-1} \cdot \frac{\Phi_{n+1,k} - \Phi_{n-1,k}}{2 \cdot t_z}. \end{aligned} \quad (3)$$

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

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

Это уравнение может быть реализовано при произведении матрицы **A**, элементы которой записаны в квадратных скобках, на матрицу-столбец **X**, состоящей из потоков (Φ) и токов статорной обмотки. Правая часть уравнения (4) формирует первые двенадцать элементов матрицы-столбца свободных членов **S** в $(k-1)$ момент времени. Элементы 13, 14 и 15 строк матрицы **A** и соответствующие элементы s_{13} , s_{14} и s_{15} будут сформированы из баланса напряжений статорной обмотки.

Наконец, последние элементы матриц **A** и **S** определяются из баланса токов в трехфазной обмотке соединенной в звезду с нулевым проводом. Матрица-столбец **X** сформирована из первых двенадцати элементов, соответствующих потокам Φ_1, \dots, Φ_{12} , а остальные – токам статорной обмотки i_A^s, i_C^s, i_B^s и i_0^s .

Общий вид матриц при числе полюсов $2p = 2$ и общем числе пазов индуктора (статора) $Z_1 = 6$ приведен на рис. 3.

Введем следующие обозначения:

$$N1 = \frac{L^r \cdot v_{k-1}}{\omega_n^r \cdot 2t_z}; \quad N2 = \frac{1}{\omega_n^r} \cdot \left(r^r + \frac{L^r}{\Delta t} \right); \quad N3 = \frac{\omega_n^r}{\Delta t}; \quad N4 = \frac{L^r}{\omega_n^r \cdot \Delta t}; \quad N5 = \frac{(\omega_n^r)^2}{L^r}.$$

– Магнитные сопротивления в шунтирующих зонах:

$$R_1 = 500 \cdot R_\delta;$$

$$R_2 = R_{12} = 50 \cdot R_\delta;$$

$$R_3 = R_{11} = 5 \cdot R_\delta.$$

– Магнитные сопротивления в индукторной зоне:

$$R_4 = R_5 = \dots = R_{10} = 1,2 \cdot R_\sigma - 0,2 \cdot R_\sigma \cdot \cos \left(\omega R \cdot k \cdot dt + \frac{2\pi}{\tau} \cdot t_z \cdot n - w12 \cdot \frac{\pi}{12} \right).$$

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

$$B_n = (R_{n+1} + R_n) \cdot N2 + (R_n - R_{n+1}) \cdot N1 + N3;$$

$$C_n = (-R_{n+1}) \cdot N2 + (R_{n+2} + R_{n+1} + N5) \cdot N1;$$

$$D_n = R_{n-1} \cdot N1.$$

$$E_n = -R_n \cdot N2 - (R_n + R_{n-1} + N5) \cdot N1;$$

$$G_n = -R_{n+2} \cdot N1.$$

– Элементы матрицы **A**, перемножаемые на токи матрицы **X**:

$$T = -\omega_n^S \cdot N1;$$

$$Y = -\omega_n^S \cdot N2;$$

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

$$W1 = -\omega_n^S \cdot N4;$$

$$P_n = -R_n \cdot N4;$$

$$P1_n = -R_{n+1} \cdot N4;$$

$$Q_n = (R_{n+1} + R_n) \cdot N4 + N3;$$

С учетом вышеприведенных обозначений ($N1, N2, \dots, N5, T, Y, W1, P, P1, Q$) уравнение 4 приобретет следующий вид:

$$\begin{aligned} & \underbrace{\left[\omega_n^S \cdot N1 \right]}_{-T} \cdot i_{n-1,k}^S + \underbrace{\left[-\omega_n^S \cdot N2 \right]}_Y \cdot i_{n,k}^S + \underbrace{\left[-\omega_n^S \cdot N1 \right]}_T \cdot i_{n+1,k}^S + \underbrace{\left[R_{n-1} \cdot N1 \right]}_{D_1, \dots, D_{12}} \cdot \Phi_{n-2,k} + \\ & + \underbrace{\left[-R_n \cdot N2 - ((R_n + R_{n-1}) + N5) \cdot N1 \right]}_{E_1, \dots, E_{12}} \cdot \Phi_{n-1,k} + \\ & + \underbrace{\left[(R_{n+1} + R_n) \cdot N2 + (R_n - R_{n+1}) \cdot N1 + N3 \right]}_{B_1, \dots, B_{12}} \cdot \Phi_{n,k} + \\ & + \underbrace{\left[-R_{n+1} \cdot N2 + ((R_{n+2} + R_{n+1}) + N5) \cdot N1 \right]}_{C_1, \dots, C_{12}} \cdot \Phi_{n+1,k} + \underbrace{\left[-R_{n+2} \cdot N1 \right]}_{G_1, \dots, G_{12}} \cdot \Phi_{n+2,k} = \\ & = \underbrace{\left(-\omega_n^S \cdot N4 \right)}_{W1} \cdot i_{n,k-1}^S + \underbrace{\left(-R_n \cdot N4 \right)}_{P_1, \dots, P_{12}} \cdot \Phi_{n-1,k-1} + \underbrace{\left((R_{n+1} + R_n) \cdot N4 + N3 \right)}_{Q_1, \dots, Q_{12}} \cdot \Phi_{n,k-1} + \\ & + \underbrace{\left(-R_{n+1} \cdot N4 \right)}_{P1_1, \dots, P1_{12}} \cdot \Phi_{n+1,k-1} - \left(\omega_n^r \cdot N1 \right) \cdot I_{n-1,k}^f + \left(\omega_n^r \cdot N2 \right) \cdot I_{n,k}^f + \\ & + \left(\omega_n^r \cdot N1 \right) \cdot I_{n+1,k}^f + \left(-\omega_n^r \cdot N4 \right) \cdot I_{n,k-1}^f. \end{aligned} \tag{4'}$$

После подстановки в (4') выражений ($T, Y, D_n, E_n, B_n, C_n, G_n$) получаем простое выражение удобное для программирования:

$$\begin{aligned} & \left[-T \right] \cdot i_{n-1,k}^S + \left[Y \right] \cdot i_{n,k}^S + \left[T \right] \cdot i_{n+1,k}^S + \left[D_n \right] \cdot \Phi_{n-2,k} + \left[E_n \right] \cdot \Phi_{n-1,k} + \left[B_n \right] \cdot \Phi_{n,k} + \left[C_n \right] \cdot \Phi_{n+1,k} + \\ & + \left[G_n \right] \cdot \Phi_{n+2,k} = W1 \cdot i_{n,k-1}^S + P_n \cdot \Phi_{n-1,k-1} + Q_n \cdot \Phi_{n,k-1} + P1_n \cdot \Phi_{n+1,k-1} - \\ & - \left(\omega_n^r \cdot N1 \right) \cdot I_{n-1,k}^f + \left(\omega_n^r \cdot N2 \right) \cdot I_{n,k}^f + \left(\omega_n^r \cdot N1 \right) \cdot I_{n+1,k}^f + \left(-\omega_n^r \cdot N4 \right) \cdot I_{n,k-1}^f. \end{aligned} \tag{4''}$$

Линейная токовая нагрузка в роторной обмотке в k и $k-1$ моменты времени:

$$\begin{aligned} I_{n,k}^f &= I_{\max}^f \cdot \sin \left(\omega R \cdot (k \cdot dt) + \frac{\pi}{\tau} \cdot t_Z \cdot (n - 0,5) - w12 \cdot \frac{\pi}{12} \right); \\ I_{n,k-1}^f &= I_{\max}^f \cdot \sin \left(\omega R \cdot ((k - 1) \cdot dt) + \frac{\pi}{\tau} \cdot t_Z \cdot (n - 0,5) - w12 \cdot \frac{\pi}{12} \right). \end{aligned}$$

Уравнение (4) позволит определить для первых двенадцати строк элементы матрицы **A** и с первый по двенадцатый элементы матрицы-столбца **S**, для этого последовательно зададимся n :

$$n = 1.$$

$$\begin{aligned} & \underbrace{\left[B_1 \right]}_{a_{1,1}} \cdot \underbrace{\Phi_{1,k}}_{x_1} + \underbrace{\left[C_1 \right]}_{a_{1,2}} \cdot \underbrace{\Phi_{2,k}}_{x_2} + \underbrace{\left[G_1 \right]}_{a_{1,3}} \cdot \underbrace{\Phi_{3,k}}_{x_3} = \\ & = \underbrace{Q_1 \cdot \Phi_{1,k-1} + P1_1 \cdot \Phi_{2,k-1} + \omega_n^r \cdot \left(N2 \cdot I_{1,k}^f + N1 \cdot \left(I_{2,k}^f - I_{12,k}^f \right) - N4 \cdot I_{1,k-1}^f \right)}_{S_1}. \end{aligned}$$

Запишем элементы матрицы **A**:

$$a_{1,1} = B_1; \quad a_{1,2} = C_1; \quad a_{1,3} = G_1.$$

В правой части сформирован элемент S_1 матрицы-столбца S :

$$s_1 = Q_1 \cdot x_{1,k-1} + P_1 \cdot x_{2,k-1} + \omega_n^r \cdot \left(N2 \cdot I_{1,k}^f + N1 \cdot (I_{2,k}^f - I_{12,k}^f) - N4 \cdot I_{1,k-1}^f \right).$$

Примечание: вначале матрица A предстанет «пустой» и после каждой операции $n = \dots$ определятся постепенно элементы для каждой строки и только в конце всех операций матрица A предстанет перед читателем в том виде как она дана на рис. 3. Но эта «пустая» матрица A уже должна быть подготовлена. Эта «пустая» форма направляет, выступает «организующим началом» по поиску элементов в каждой строке.

При $n = 1$, как было показано выше, определились элементы первой строки. Найденные коэффициенты вписываем в матрицу A . В дальнейшем становится понятным алгоритм заполнения матрицы.

$$n = 2.$$

$$\begin{aligned} & \underbrace{\left[\begin{array}{c} E_2 \\ a_{2,1} \end{array} \right]} \cdot \underbrace{\left[\begin{array}{c} \Phi_{1,k} \\ x_1 \end{array} \right]} + \underbrace{\left[\begin{array}{c} B_2 \\ a_{2,2} \end{array} \right]} \cdot \underbrace{\left[\begin{array}{c} \Phi_{2,k} \\ x_2 \end{array} \right]} + \underbrace{\left[\begin{array}{c} C_2 \\ a_{2,3} \end{array} \right]} \cdot \underbrace{\left[\begin{array}{c} \Phi_{3,k} \\ x_3 \end{array} \right]} + \underbrace{\left[\begin{array}{c} G_2 \\ a_{2,4} \end{array} \right]} \cdot \underbrace{\left[\begin{array}{c} \Phi_{4,k} \\ x_4 \end{array} \right]} = \\ & \underbrace{P_2 \cdot \Phi_{1,k-1} + Q_2 \cdot \Phi_{2,k-1} + P_1 \cdot \Phi_{3,k-1} + \omega_n^r \cdot \left(N2 \cdot I_{2,k}^f + N1 \cdot (I_{3,k}^f - I_{1,k}^f) - N4 \cdot I_{2,k-1}^f \right)}_{S_2}. \end{aligned}$$

$$a_{2,1} = E_2; \quad a_{2,2} = B_2; \quad a_{2,3} = C_2; \quad a_{2,4} = G_2.$$

$$s_2 = P_2 \cdot x_{1,k-1} + Q_2 \cdot x_{2,k-1} + P_1 \cdot x_{3,k-1} + \omega_n^r \cdot \left(N2 \cdot I_{2,k}^f + N1 \cdot (I_{3,k}^f - I_{1,k}^f) - N4 \cdot I_{2,k-1}^f \right).$$

$$n = 3.$$

$$\begin{aligned} & \underbrace{\left[\begin{array}{c} T \\ a_{3,13} \end{array} \right]} \cdot \underbrace{\left[\begin{array}{c} i_{A,k}^s \\ x_{13} \end{array} \right]} + \underbrace{\left[\begin{array}{c} D_3 \\ a_{3,1} \end{array} \right]} \cdot \underbrace{\left[\begin{array}{c} \Phi_{1,k} \\ x_1 \end{array} \right]} + \underbrace{\left[\begin{array}{c} E_3 \\ a_{3,2} \end{array} \right]} \cdot \underbrace{\left[\begin{array}{c} \Phi_{2,k} \\ x_2 \end{array} \right]} + \underbrace{\left[\begin{array}{c} B_3 \\ a_{3,3} \end{array} \right]} \cdot \underbrace{\left[\begin{array}{c} \Phi_{3,k} \\ x_3 \end{array} \right]} + \underbrace{\left[\begin{array}{c} C_3 \\ a_{3,4} \end{array} \right]} \cdot \underbrace{\left[\begin{array}{c} \Phi_{4,k} \\ x_4 \end{array} \right]} + \underbrace{\left[\begin{array}{c} G_3 \\ a_{3,5} \end{array} \right]} \cdot \underbrace{\left[\begin{array}{c} \Phi_{5,k} \\ x_5 \end{array} \right]} = \\ & \underbrace{P_3 \cdot \Phi_{2,k-1} + Q_3 \cdot \Phi_{3,k-1} + P_1 \cdot \Phi_{4,k-1} + \omega_n^r \cdot \left(N2 \cdot I_{3,k}^f + N1 \cdot (I_{4,k}^f - I_{2,k}^f) - N4 \cdot I_{3,k-1}^f \right)}_{S_3}. \end{aligned}$$

$$a_{3,1} = D_3; \quad a_{3,2} = E_3; \quad a_{3,3} = B_3; \quad a_{3,4} = C_3; \quad a_{3,5} = G_3; \quad a_{3,13} = T.$$

$$s_3 = P_3 \cdot x_{2,k-1} + Q_3 \cdot x_{3,k-1} + P_1 \cdot x_{4,k-1} + \omega_n^r \cdot \left(N2 \cdot I_{3,k}^f + N1 \cdot (I_{4,k}^f - I_{2,k}^f) - N4 \cdot I_{3,k-1}^f \right).$$

Примечание: при подстановке в уравнение (4) $n = 4$, мы увидим в соответствии с рис. 1, что войдет ток i_C^S с отрицательным знаком, в то же время в матрице-столбце X нет знака «-», поэтому его необходимо учесть в соответствующем элементе матрицы A .

Аналогично для других фаз, в концах обмоток x, y, z условно принимаем знак «-» и этот знак вводим в соответствующие элементы матрицы A .

$$n = 4.$$

$$\begin{aligned} & \underbrace{\left[\begin{array}{c} Y \\ a_{4,13} \end{array} \right]} \cdot \underbrace{\left[\begin{array}{c} i_{A,k}^s \\ x_{13} \end{array} \right]} + \underbrace{\left[\begin{array}{c} -T \\ a_{4,14} \end{array} \right]} \cdot \underbrace{\left[\begin{array}{c} i_{C,k}^s \\ x_{14} \end{array} \right]} + \underbrace{\left[\begin{array}{c} D_4 \\ a_{4,2} \end{array} \right]} \cdot \underbrace{\left[\begin{array}{c} \Phi_{2,k} \\ x_2 \end{array} \right]} + \underbrace{\left[\begin{array}{c} E_4 \\ a_{4,3} \end{array} \right]} \cdot \underbrace{\left[\begin{array}{c} \Phi_{3,k} \\ x_3 \end{array} \right]} + \underbrace{\left[\begin{array}{c} B_4 \\ a_{4,4} \end{array} \right]} \cdot \underbrace{\left[\begin{array}{c} \Phi_{4,k} \\ x_4 \end{array} \right]} + \underbrace{\left[\begin{array}{c} C_4 \\ a_{4,5} \end{array} \right]} \cdot \underbrace{\left[\begin{array}{c} \Phi_{5,k} \\ x_5 \end{array} \right]} + \underbrace{\left[\begin{array}{c} G_4 \\ a_{4,6} \end{array} \right]} \cdot \underbrace{\left[\begin{array}{c} \Phi_{6,k} \\ x_6 \end{array} \right]} = \\ & \underbrace{W1 \cdot i_{A,k-1}^s + P_4 \cdot \Phi_{3,k-1} + Q_4 \cdot \Phi_{4,k-1} + P_1 \cdot \Phi_{5,k-1} + \omega_n^r \cdot \left(N2 \cdot I_{4,k}^f + N1 \cdot (I_{5,k}^f - I_{3,k}^f) - N4 \cdot I_{4,k-1}^f \right)}_{S_4}. \end{aligned}$$

$$a_{4,2} = D_4; \quad a_{4,3} = E_4; \quad a_{4,4} = B_4; \quad a_{4,5} = C_4; \quad a_{4,6} = G_4; \quad a_{4,13} = Y; \quad a_{4,14} = T \cdot (-1) = -T.$$

$$s_4 = W1 \cdot x_{13,k-1} + P_4 \cdot x_{3,k-1} + Q_4 \cdot x_{4,k-1} + P_1 \cdot x_{5,k-1} + \omega_n^r \cdot \left(N2 \cdot I_{4,k}^f + N1 \cdot (I_{5,k}^f - I_{3,k}^f) - N4 \cdot I_{4,k-1}^f \right).$$

$$n = 5.$$

$$\begin{aligned} & \underbrace{\left[\begin{array}{c} -T \\ a_{5,13} \end{array} \right]} \cdot \underbrace{\left[\begin{array}{c} i_{A,k}^s \\ x_{13} \end{array} \right]} + \underbrace{\left[\begin{array}{c} -Y \\ a_{5,14} \end{array} \right]} \cdot \underbrace{\left[\begin{array}{c} i_{C,k}^s \\ x_{14} \end{array} \right]} + \underbrace{\left[\begin{array}{c} T \\ a_{5,15} \end{array} \right]} \cdot \underbrace{\left[\begin{array}{c} i_{B,k}^s \\ x_{15} \end{array} \right]} + \underbrace{\left[\begin{array}{c} D_5 \\ a_{5,3} \end{array} \right]} \cdot \underbrace{\left[\begin{array}{c} \Phi_{3,k} \\ x_3 \end{array} \right]} + \underbrace{\left[\begin{array}{c} E_5 \\ a_{5,4} \end{array} \right]} \cdot \underbrace{\left[\begin{array}{c} \Phi_{4,k} \\ x_4 \end{array} \right]} + \underbrace{\left[\begin{array}{c} B_5 \\ a_{5,5} \end{array} \right]} \cdot \underbrace{\left[\begin{array}{c} \Phi_{5,k} \\ x_5 \end{array} \right]} + \underbrace{\left[\begin{array}{c} C_5 \\ a_{5,6} \end{array} \right]} \cdot \underbrace{\left[\begin{array}{c} \Phi_{6,k} \\ x_6 \end{array} \right]} + \underbrace{\left[\begin{array}{c} G_5 \\ a_{5,7} \end{array} \right]} \cdot \underbrace{\left[\begin{array}{c} \Phi_{7,k} \\ x_7 \end{array} \right]} = \\ & \underbrace{-W1 \cdot i_{C,k-1}^s + P_5 \cdot \Phi_{4,k-1} + Q_5 \cdot \Phi_{5,k-1} + P_1 \cdot \Phi_{6,k-1} + \omega_n^r \cdot \left(N2 \cdot I_{5,k}^f + N1 \cdot (I_{6,k}^f - I_{4,k}^f) - N4 \cdot I_{5,k-1}^f \right)}_{S_5}. \end{aligned}$$

Матрица А																X	S
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
$a_{1,1}$	$a_{1,2}$	$a_{1,3}$														$x_1 = \Phi_1$	s_1
$a_{2,1}$	$a_{2,2}$	$a_{2,3}$	$a_{2,4}$													$x_2 = \Phi_2$	s_2
$a_{3,1}$	$a_{3,2}$	$a_{3,3}$	$a_{3,4}$	$a_{3,5}$								$a_{3,13}$				$x_3 = \Phi_3$	s_3
	$a_{4,2}$	$a_{4,3}$	$a_{4,4}$	$a_{4,5}$	$a_{4,6}$							$a_{4,13}$	$a_{4,14}$			$x_4 = \Phi_4$	s_4
		$a_{5,3}$	$a_{5,4}$	$a_{5,5}$	$a_{5,6}$	$a_{5,7}$						$a_{5,13}$	$a_{5,14}$	$a_{5,15}$		$x_5 = \Phi_5$	s_5
			$a_{6,4}$	$a_{6,5}$	$a_{6,6}$	$a_{6,7}$	$a_{6,8}$					$a_{6,13}$	$a_{6,14}$	$a_{6,15}$		$x_6 = \Phi_6$	s_6
				$a_{7,5}$	$a_{7,6}$	$a_{7,7}$	$a_{7,8}$	$a_{7,9}$				$a_{7,13}$	$a_{7,14}$	$a_{7,15}$		$x_7 = \Phi_7$	s_7
					$a_{8,6}$	$a_{8,7}$	$a_{8,8}$	$a_{8,9}$	$a_{8,10}$			$a_{8,13}$	$a_{8,14}$	$a_{8,15}$		$x_8 = \Phi_8$	s_8
						$a_{9,7}$	$a_{9,8}$	$a_{9,9}$	$a_{9,10}$	$a_{9,11}$			$a_{9,14}$	$a_{9,15}$		$x_9 = \Phi_9$	s_9
							$a_{10,8}$	$a_{10,9}$	$a_{10,10}$	$a_{10,11}$	$a_{10,12}$			$a_{10,15}$		$x_{10} = \Phi_{10}$	s_{10}
								$a_{11,9}$	$a_{11,10}$	$a_{11,11}$	$a_{11,12}$					$x_{11} = \Phi_{11}$	s_{11}
									$a_{12,10}$	$a_{12,11}$	$a_{12,12}$					$x_{12} = \Phi_{12}$	s_{12}
			$a_{13,4}$			$a_{13,7}$						$a_{13,13}$				$x_{13} = i_A S$	s_{13}
					$a_{14,6}$			$a_{14,9}$						$a_{14,15}$		$x_{14} = i_C S$	s_{14}
				$a_{15,5}$			$a_{15,8}$						$a_{15,14}$			$x_{15} = i_B S$	s_{15}
												$a_{16,13}$	$a_{16,14}$	$a_{16,15}$	$a_{16,16}$	$x_{16} = i_0 S$	s_{16}

=

×

Рис. 3. Общий вид матриц А, Х и S.

$$a_{5,3} = D_5; a_{5,4} = E_5; a_{5,5} = B_5; a_{5,6} = C_5; a_{5,7} = G_5; a_{5,13} = -T;$$

$$a_{5,14} = Y \cdot (-1) = -Y; a_{5,15} = T.$$

$$s_5 = -W1 \cdot x_{14,k-1} + P_5 \cdot x_{4,k-1} + Q_5 \cdot x_{5,k-1} + P1_5 \cdot x_{6,k-1} + \omega_n^r \cdot \left(N2 \cdot I_{5,k}^f + N1 \cdot (I_{6,k}^f - I_{4,k}^f) - N4 \cdot I_{5,k-1}^f \right).$$

$n = 6.$

$$\underbrace{\left[\begin{matrix} [T] \cdot i_{C,k}^s & + & [Y] \cdot i_{B,k}^s & + & [-T] \cdot i_{A,k}^s & + & [D_6] \cdot \Phi_{4,k} & + & [E_6] \cdot \Phi_{5,k} & + & [B_6] \cdot \Phi_{6,k} & + & [C_6] \cdot \Phi_{7,k} & + & [G_6] \cdot \Phi_{8,k} \\ a_{6,14} & x_{14} & a_{6,15} & x_{15} & a_{6,13} & x_{13} & a_{6,4} & x_4 & a_{6,5} & x_5 & a_{6,6} & x_6 & a_{6,7} & x_7 & a_{6,8} & x_8 \end{matrix} \right]}_{S_6} =$$

$$= W1 \cdot i_{B,k-1}^s + P_6 \cdot \Phi_{5,k-1} + Q_6 \cdot \Phi_{6,k-1} + P1_6 \cdot \Phi_{7,k-1} + \omega_n^r \cdot \left(N2 \cdot I_{6,k}^f + N1 \cdot (I_{7,k}^f - I_{5,k}^f) - N4 \cdot I_{6,k-1}^f \right). a_{6,4} = D_6;$$

$$a_{6,5} = E_6; a_{6,6} = B_6; a_{6,7} = C_6; a_{6,8} = G_6; a_{6,13} = T \cdot (-1) = -T;$$

$$a_{6,14} = -T \cdot (-1) = T; a_{6,15} = Y.$$

$$s_6 = W1 \cdot x_{15,k-1} + P_6 \cdot x_{5,k-1} + Q_6 \cdot x_{6,k-1} + P1_6 \cdot x_{7,k-1} + \omega_n^r \cdot \left(N2 \cdot I_{6,k}^f + N1 \cdot (I_{7,k}^f - I_{5,k}^f) - N4 \cdot I_{6,k-1}^f \right).$$

$n = 7.$

$$\underbrace{\left[\begin{matrix} [-T] \cdot i_{B,k}^s & + & [-Y] \cdot i_{A,k}^s & + & [T] \cdot i_{C,k}^s & + & [D_7] \cdot \Phi_{5,k} & + & [E_7] \cdot \Phi_{6,k} & + & [B_7] \cdot \Phi_{7,k} & + & [C_7] \cdot \Phi_{8,k} & + & [G_7] \cdot \Phi_{9,k} \\ a_{7,15} & x_{15} & a_{7,13} & x_{13} & a_{7,14} & x_{14} & a_{7,5} & x_5 & a_{7,6} & x_6 & a_{7,7} & x_7 & a_{7,8} & x_8 & a_{7,9} & x_9 \end{matrix} \right]}_{S_7} =$$

$$= -W1 \cdot i_{A,k-1}^s + P_7 \cdot \Phi_{6,k-1} + Q_7 \cdot \Phi_{7,k-1} + P1_7 \cdot \Phi_{8,k-1} + \omega_n^r \cdot \left(N2 \cdot I_{7,k}^f + N1 \cdot (I_{8,k}^f - I_{6,k}^f) - N4 \cdot I_{7,k-1}^f \right). a_{7,5} = D_7;$$

$$a_{7,6} = E_7; a_{7,7} = B_7; a_{7,8} = C_7; a_{7,9} = G_7; a_{7,13} = Y \cdot (-1) = -Y;$$

$$a_{7,14} = T; a_{7,15} = -T.$$

$$s_7 = -W1 \cdot x_{13,k-1} + P_7 \cdot x_{6,k-1} + Q_7 \cdot x_{7,k-1} + P1_7 \cdot x_{8,k-1} + \omega_n^r \cdot \left(N2 \cdot I_{7,k}^f + N1 \cdot (I_{8,k}^f - I_{6,k}^f) - N4 \cdot I_{7,k-1}^f \right).$$

$n = 8.$

$$\underbrace{\left[\begin{matrix} [T] \cdot i_{A,k}^s & + & [Y] \cdot i_{C,k}^s & + & [-T] \cdot i_{B,k}^s & + & [D_8] \cdot \Phi_{6,k} & + & [E_8] \cdot \Phi_{7,k} & + & [B_8] \cdot \Phi_{8,k} & + & [C_8] \cdot \Phi_{9,k} & + & [G_8] \cdot \Phi_{10,k} \\ a_{8,13} & x_{13} & a_{8,14} & x_{14} & a_{8,15} & x_{15} & a_{8,6} & x_6 & a_{8,7} & x_7 & a_{8,8} & x_8 & a_{8,9} & x_9 & a_{8,10} & x_{10} \end{matrix} \right]}_{S_8} =$$

$$= W1 \cdot i_{C,k-1}^s + P_8 \cdot \Phi_{7,k-1} + Q_8 \cdot \Phi_{8,k-1} + P1_8 \cdot \Phi_{9,k-1} + \omega_n^r \cdot \left(N2 \cdot I_{8,k}^f + N1 \cdot (I_{9,k}^f - I_{7,k}^f) - N4 \cdot I_{8,k-1}^f \right).$$

$$a_{8,6} = D_8; a_{8,7} = E_8; a_{8,8} = B_8; a_{8,9} = C_8; a_{8,10} = G_8; a_{8,13} = -T \cdot (-1) = T;$$

$$a_{8,14} = Y; a_{8,15} = T \cdot (-1) = -T.$$

$$s_8 = W1 \cdot x_{14,k-1} + P_8 \cdot x_{7,k-1} + Q_8 \cdot x_{8,k-1} + P1_8 \cdot x_{9,k-1} + \omega_n^r \cdot \left(N2 \cdot I_{8,k}^f + N1 \cdot (I_{9,k}^f - I_{7,k}^f) - N4 \cdot I_{8,k-1}^f \right).$$

$n = 9.$

$$\underbrace{\left[\begin{matrix} [-T] \cdot i_{C,k}^s & + & [-Y] \cdot i_{B,k}^s & + & [D_9] \cdot \Phi_{7,k} & + & [E_9] \cdot \Phi_{8,k} & + & [B_9] \cdot \Phi_{9,k} & + & [C_9] \cdot \Phi_{10,k} & + & [G_9] \cdot \Phi_{11,k} \\ a_{9,14} & x_{14} & a_{9,15} & x_{15} & a_{9,7} & x_7 & a_{9,8} & x_8 & a_{9,9} & x_9 & a_{9,10} & x_{10} & a_{9,11} & x_{11} \end{matrix} \right]}_{S_9} =$$

$$= -W1 \cdot i_{B,k-1}^s + P_9 \cdot \Phi_{8,k-1} + Q_9 \cdot \Phi_{9,k-1} + P1_9 \cdot \Phi_{10,k-1} + \omega_n^r \cdot \left(N2 \cdot I_{9,k}^f + N1 \cdot (I_{10,k}^f - I_{8,k}^f) - N4 \cdot I_{9,k-1}^f \right). a_{9,7} = D_9;$$

$$a_{9,8} = E_9; a_{9,9} = B_9; a_{9,10} = C_9; a_{9,11} = G_9; a_{9,14} = -T; a_{9,15} = Y \cdot (-1) = -Y.$$

$$s_9 = -W1 \cdot x_{15,k-1} + P_9 \cdot x_{8,k-1} + Q_9 \cdot x_{9,k-1} + P1_9 \cdot x_{10,k-1} + \omega_n^r \cdot \left(N2 \cdot I_{9,k}^f + N1 \cdot (I_{10,k}^f - I_{8,k}^f) - N4 \cdot I_{9,k-1}^f \right).$$

$n = 10$

$$\underbrace{\begin{aligned} & \left[\begin{matrix} T \\ a_{10,15} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{i_{B,k}^s}_{x_{15}} + \left[\begin{matrix} D_{10} \\ a_{10,8} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{8,k}}_{x_8} + \left[\begin{matrix} E_{10} \\ a_{10,9} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{9,k}}_{x_9} + \left[\begin{matrix} B_{10} \\ a_{10,10} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{10,k}}_{x_{10}} + \left[\begin{matrix} C_{10} \\ a_{10,11} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{11,k}}_{x_{11}} + \left[\begin{matrix} G_{10} \\ a_{10,12} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{12,k}}_{x_{12}} = \\ & = P_{10} \cdot \Phi_{9,k-1} + Q_{10} \cdot \Phi_{10,k-1} + P_{10} \cdot \Phi_{11,k-1} + \omega_n^r \cdot \left(N2 \cdot I_{10,k}^f + N1 \cdot (I_{11,k}^f - I_{9,k}^f) - N4 \cdot I_{10,k-1}^f \right). \end{aligned}}_{S_{10}}$$

$$a_{10,8} = D_{10}; a_{10,9} = E_{10}; a_{10,10} = B_{10}; a_{10,11} = C_{10}; a_{10,12} = G_{10}; a_{10,15} = -T \cdot (-1) = T.$$

$$S_{10} = P_{10} \cdot x_{9,k-1} + Q_{10} \cdot x_{10,k-1} + P_{10} \cdot x_{11,k-1} + \omega_n^r \cdot \left(N2 \cdot I_{10,k}^f + N1 \cdot (I_{11,k}^f - I_{9,k}^f) - N4 \cdot I_{10,k-1}^f \right).$$

$n = 11.$

$$\underbrace{\begin{aligned} & \left[\begin{matrix} D_{11} \\ a_{11,9} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{9,k}}_{x_9} + \left[\begin{matrix} E_{11} \\ a_{11,10} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{10,k}}_{x_{10}} + \left[\begin{matrix} B_{11} \\ a_{11,11} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{11,k}}_{x_{11}} + \left[\begin{matrix} C_{11} \\ a_{11,12} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{12,k}}_{x_{12}} = \\ & = P_{11} \cdot \Phi_{10,k-1} + Q_{11} \cdot \Phi_{11,k-1} + P_{11} \cdot \Phi_{12,k-1} + \omega_n^r \cdot \left(N2 \cdot I_{11,k}^f + N1 \cdot (I_{12,k}^f - I_{10,k}^f) - N4 \cdot I_{11,k-1}^f \right). \end{aligned}}_{S_{11}}$$

$$a_{11,9} = D_{11}; a_{11,10} = E_{11}; a_{11,11} = B_{11}; a_{11,12} = C_{11}.$$

$$S_{11} = P_{11} \cdot x_{10,k-1} + Q_{11} \cdot x_{11,k-1} + P_{11} \cdot x_{12,k-1} + \omega_n^r \cdot \left(N2 \cdot I_{11,k}^f + N1 \cdot (I_{12,k}^f - I_{10,k}^f) - N4 \cdot I_{11,k-1}^f \right).$$

$n = 12.$

$$\underbrace{\begin{aligned} & \left[\begin{matrix} D_{12} \\ a_{12,10} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{10,k}}_{x_{10}} + \left[\begin{matrix} E_{12} \\ a_{12,11} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{11,k}}_{x_{11}} + \left[\begin{matrix} B_{12} \\ a_{12,12} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{12,k}}_{x_{12}} = \\ & = P_{12} \cdot \Phi_{11,k-1} + Q_{12} \cdot \Phi_{12,k-1} + \omega_n^r \cdot \left(N2 \cdot I_{12,k}^f + N1 \cdot (I_{1,k}^f - I_{11,k}^f) - N4 \cdot I_{12,k-1}^f \right). \end{aligned}}_{S_{12}}$$

$$a_{12,10} = D_{12}; a_{12,11} = E_{12}; a_{12,12} = B_{12}.$$

$$S_{12} = P_{12} \cdot x_{11,k-1} + Q_{12} \cdot x_{12,k-1} + \omega_n^r \cdot \left(N2 \cdot I_{12,k}^f + N1 \cdot (I_{1,k}^f - I_{11,k}^f) - N4 \cdot I_{12,k-1}^f \right).$$

Элементы строк 13 и 14 и 15 матрицы **A** и соответствующие элементы матрицы-столбца **S** определяются из **баланса электрических напряжений обмоток статора**.

$$\begin{cases} U_A = \omega_n^s \cdot \frac{d}{dt} \cdot (\Phi_4 - \Phi_7) + r^s \cdot i_A^s + L_A^s \cdot \frac{di_A^s}{dt}; \\ U_B = \omega_n^s \cdot \frac{d}{dt} \cdot (\Phi_6 - \Phi_9) + r^s \cdot i_B^s + L_B^s \cdot \frac{di_B^s}{dt}; \\ U_C = \omega_n^s \cdot \frac{d}{dt} \cdot (\Phi_8 - \Phi_5) + r^s \cdot i_C^s + L_C^s \cdot \frac{di_C^s}{dt}, \end{cases} \quad (5)$$

где $U_A = U_M \cdot \cos(\omega \cdot t)$;

$$U_B = U_M \cdot \cos((\omega \cdot t) - 2\pi / 3); \quad (6)$$

$$U_C = U_M \cdot \cos((\omega \cdot t) - 4\pi / 3).$$

С учетом шага по времени Δt в k -ый момент времени:

$$\begin{cases} U_{A,k} = U_M \cdot \cos[\omega \cdot (k-1) \cdot \Delta t]; \\ U_{B,k} = U_M \cdot \cos[\omega \cdot (k-1) \cdot \Delta t - 2\pi / 3]; \\ U_{C,k} = U_M \cdot \cos[\omega \cdot (k-1) \cdot \Delta t - 4\pi / 3]. \end{cases} \quad (7)$$

$n = 13.$

Выразим производные тока i_A^s , потоков Φ_4 и Φ_7 через конечные разности:

$$\frac{di_A^s}{dt} = \frac{i_{A,k}^s - i_{A,k-1}^s}{\Delta t}; \quad \frac{d\Phi_4}{dt} = \frac{\Phi_{4,k} - \Phi_{4,k-1}}{\Delta t}; \quad \frac{d\Phi_7}{dt} = \frac{\Phi_{7,k} - \Phi_{7,k-1}}{\Delta t}.$$

$$U_{A,k} = \frac{\omega_n}{\Delta t} \cdot \Phi_{4,k} - \frac{\omega_n}{\Delta t} \cdot \Phi_{4,k-1} - \frac{\omega_n}{\Delta t} \cdot \Phi_{7,k} + \frac{\omega_n}{\Delta t} \cdot \Phi_{7,k-1} + r^s \cdot i_{A,k}^s + \frac{L_A^s}{\Delta t} \cdot i_{A,k}^s - \frac{L_A^s}{\Delta t} \cdot i_{A,k-1}^s.$$

$$\underbrace{\frac{\omega_n}{\Delta t}}_{a_{13,4}} \cdot \underbrace{\Phi_{4,k}}_{x_4} + \underbrace{\left(-\frac{\omega_n}{\Delta t}\right)}_{a_{13,7}} \cdot \underbrace{\Phi_{7,k}}_{x_7} + \underbrace{\left(r^s + \frac{L_A^s}{\Delta t}\right)}_{a_{13,13}} \cdot \underbrace{i_{A,k}^s}_{x_{13}} = \underbrace{\frac{\omega_n}{\Delta t} \cdot (\Phi_{4,k-1} - \Phi_{7,k-1}) + \frac{L_A^s}{\Delta t} \cdot i_{A,k-1}^s + U_{A,k}}_{s_{13}}.$$

Обозначим $\frac{\omega_n}{\Delta t} = U$; $r^s + \frac{L_A^s}{\Delta t} = A_S$;

$$a_{13,4} = U; \quad a_{13,7} = -U; \quad s_{13} = U \cdot (x_{4,k-1} - x_{7,k-1}) + \frac{L_A^s}{\Delta t} \cdot x_{13,k-1} + U_{A,k}.$$

Аналогично для строк 14 и 15:

$n = 14$.

$$\underbrace{[U]}_{a_{14,6}} \cdot \underbrace{\Phi_{6,k-1}}_{x_6} + \underbrace{[-U]}_{a_{14,9}} \cdot \underbrace{\Phi_{9,k-1}}_{x_9} + \underbrace{\left(r^s + \frac{L_B^s}{\Delta t}\right)}_{a_{14,15}} \cdot \underbrace{i_{B,k-1}^s}_{x_{15}} = \underbrace{U \cdot (\Phi_{6,k-1} - \Phi_{9,k-1}) + \frac{L_B^s}{\Delta t} \cdot i_{B,k-1}^s + U_{B,k}}_{s_{14}}.$$

$$a_{14,6} = U; \quad a_{14,9} = -U; \quad a_{14,15} = r^s + \frac{L_B^s}{\Delta t} = B_S; \quad s_{14} = U \cdot (x_{6,k-1} - x_{9,k-1}) + \frac{L_B^s}{\Delta t} \cdot x_{15,k-1} + U_{B,k}.$$

$n = 15$.

$$\underbrace{[U]}_{a_{15,8}} \cdot \underbrace{\Phi_{8,k-1}}_{x_8} + \underbrace{[-U]}_{a_{15,5}} \cdot \underbrace{\Phi_{5,k-1}}_{x_5} + \underbrace{\left(r^s + \frac{L_C^s}{\Delta t}\right)}_{a_{15,14}} \cdot \underbrace{i_{C,k-1}^s}_{x_{14}} = \underbrace{U \cdot (\Phi_{8,k-1} - \Phi_{5,k-1}) + \frac{L_C^s}{\Delta t} \cdot i_{C,k-1}^s + U_{C,k}}_{s_{15}}.$$

$$a_{15,8} = U; \quad a_{15,5} = -U; \quad a_{15,14} = r^s + \frac{L_C^s}{\Delta t} = C_S; \quad s_{15} = U \cdot (x_{8,k-1} - x_{5,k-1}) + \frac{L_C^s}{\Delta t} \cdot x_{15,k-1} + U_{C,k}.$$

$n = 16$.

Наконец, сумма токов определяет элементы шестнадцатой строки матрицы **A** и элемент s_{16} матрицы-столбца **S**.

$$\underbrace{[1]}_{a_{16,13}} \cdot \underbrace{i_{A,k}^s}_{x_{13}} + \underbrace{[1]}_{a_{16,15}} \cdot \underbrace{i_{B,k}^s}_{x_{15}} + \underbrace{[1]}_{a_{16,14}} \cdot \underbrace{i_{C,k}^s}_{x_{14}} + \underbrace{[-1]}_{a_{16,16}} \cdot \underbrace{i_{0,k}^s}_{x_{16}} = \underbrace{0}_{s_{16}}.$$

Окончательно, матрица **A** примет следующий вид, удобный для программирования в MATLAB (рис. 4).

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

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

Далее, подставляя в уравнение (1) $n = 1...12$, определяем суммарные токи (М.Д.С.) в роторе:

$$IR_1 = \left(i_1^r + I_{1,k}^f\right) \cdot \omega_n^r = \underbrace{\Phi_1}_{x_1} \cdot (R_1 + R_2) - \underbrace{\Phi_2}_{x_2} \cdot R_2;$$

$$IR_2 = \left(i_2^r + I_{2,k}^f\right) \cdot \omega_n^r = -\underbrace{\Phi_1}_{x_1} \cdot R_2 + \underbrace{\Phi_2}_{x_2} \cdot (R_2 + R_3) - \underbrace{\Phi_3}_{x_3} \cdot R_3;$$

$$IR_3 = \left(i_3^r + I_{3,k}^f\right) \cdot \omega_n^r = -\underbrace{\Phi_2}_{x_2} \cdot R_3 + \underbrace{\Phi_3}_{x_3} \cdot (R_3 + R_4) - \underbrace{\Phi_4}_{x_4} \cdot R_4;$$

$$IR_4 = \left(i_4^r + I_{4,k}^f\right) \cdot \omega_n^r = -\omega_n^s \cdot \underbrace{i_{A,k}^s}_{x_{13}} - \underbrace{\Phi_3}_{x_3} \cdot R_4 + \underbrace{\Phi_4}_{x_4} \cdot (R_4 + R_5) - \underbrace{\Phi_5}_{x_5} \cdot R_5 =$$

$$= -\omega_n^s \cdot x_{13} - R_4 \cdot x_3 + (R_4 + R_5) \cdot x_4 - R_5 \cdot x_5;$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	B ₁	C ₁	G ₁													
2	E ₂	B ₂	C ₂	G ₂												
3	D ₃	E ₃	B ₃	C ₃	G ₃								T			
4		D ₄	E ₄	B ₄	C ₄	G ₄							Y	-T		
5			D ₅	E ₅	B ₅	C ₅	G ₅						-T	-Y	T	
6				D ₆	E ₆	B ₆	C ₆	G ₆					-T	T	Y	
7					D ₇	E ₇	B ₇	C ₇	G ₇				-Y	T	-T	
8						D ₈	E ₈	B ₈	C ₈	G ₈			T	Y	-T	
9							D ₉	E ₉	B ₉	C ₉	G ₉			-T	-Y	
10								D ₁₀	E ₁₀	B ₁₀	C ₁₀	G ₁₀				T
11									D ₁₁	E ₁₁	B ₁₁	C ₁₁				
12										D ₁₂	E ₁₂	B ₁₂				
13				U				-U					A _S			
14						U				-U					B _S	
15					-U			U						C _S		
16													1	1	1	-1

Рис. 4

$$IR_5 = (i_5^r + I_{5,k}^f) \cdot \omega_n^r = -\omega_n^s \cdot (-1) \cdot x_{14} - R_5 \cdot x_4 + (R_5 + R_6) \cdot x_5 - R_6 \cdot x_6;$$

$$IR_6 = (i_6^r + I_{6,k}^f) \cdot \omega_n^r = -\omega_n^s \cdot x_{15} - R_6 \cdot x_5 + (R_6 + R_7) \cdot x_6 - R_7 \cdot x_7;$$

$$IR_7 = (i_7^r + I_{7,k}^f) \cdot \omega_n^r = -\omega_n^s \cdot (-1) \cdot x_{13} - R_7 \cdot x_6 + (R_7 + R_8) \cdot x_7 - R_8 \cdot x_8;$$

$$IR_8 = (i_8^r + I_{8,k}^f) \cdot \omega_n^r = -\omega_n^s \cdot x_{14} - R_8 \cdot x_7 + (R_8 + R_9) \cdot x_8 - R_9 \cdot x_9;$$

$$IR_9 = (i_9^r + I_{9,k}^f) \cdot \omega_n^r = -\omega_n^s \cdot (-1) \cdot x_{15} - R_9 \cdot x_8 + (R_9 + R_{10}) \cdot x_9 - R_{10} \cdot x_{10};$$

$$IR_{10} = (i_{10}^r + I_{10,k}^f) \cdot \omega_n^r = -R_{10} \cdot x_9 + (R_{10} + R_{11}) \cdot x_{10} - R_{11} \cdot x_{11};$$

$$IR_{11} = (i_{11}^r + I_{11,k}^f) \cdot \omega_n^r = -R_{11} \cdot x_{10} + (R_{11} + R_{12}) \cdot x_{11} - R_{12} \cdot x_{12};$$

$$IR_{12} = (i_{12}^r + I_{12,k}^f) \cdot \omega_n^r = -R_{12} \cdot x_{11} + R_{12} \cdot x_{12};$$

Электромагнитные усилия на зубцовом делении определяются по следующим формулам:

$$F_1 = \frac{x_2}{2t_z} \cdot (i_1^r + I_{1,k}^f) \cdot \omega_n^r;$$

$$F_2 = \frac{x_3 - x_1}{2t_z} \cdot (i_2^r + I_{2,k}^f) \cdot \omega_n^r;$$

$$F_3 = \frac{x_4 - x_2}{2t_z} \cdot (i_3^r + I_{3,k}^f) \cdot \omega_n^r;$$

$$F_4 = \frac{x_5 - x_3}{2t_z} \cdot (i_4^r + I_{4,k}^f) \cdot \omega_n^r;$$

$$F_5 = \frac{x_6 - x_4}{2t_z} \cdot (i_5^r + I_{5,k}^f) \cdot \omega_n^r;$$

$$F_6 = \frac{x_7 - x_5}{2t_z} \cdot (i_6^r + I_{6,k}^f) \cdot \omega_n^r;$$

$$F_7 = \frac{x_8 - x_6}{2t_z} \cdot (i_7^r + I_{7,k}^f) \cdot \omega_n^r;$$

$$F_8 = \frac{x_9 - x_7}{2t_z} \cdot (i_8^r + I_{8,k}^f) \cdot \omega_n^r;$$

$$F_9 = \frac{x_{10} - x_8}{2t_z} \cdot (i_9^r + I_{9,k}^f) \cdot \omega_n^r;$$

$$F_{10} = \frac{x_{11} - x_9}{2t_z} \cdot (i_{10}^r + I_{10,k}^f) \cdot \omega_n^r;$$

$$F_{11} = \frac{x_{12} - x_{10}}{2t_z} \cdot (i_{11}^r + I_{11,k}^f) \cdot \omega_n^r;$$

$$F_{12} = \frac{-x_{11}}{2t_z} \cdot (i_{12}^r + I_{12,k}^f) \cdot \omega_n^r.$$

Суммарное усилие: $F_{\Sigma} = \sum_{n=1}^{12} F_n.$

Линейная скорость ротора в k -й момент времени: $v_k = v_{k-1} + \frac{F_\Sigma - F_c}{m} \cdot \Delta t$.

Математическая модель синхронного явнополюсного линейного двигателя реализована в программном пакете MATLAB методом Гаусса-Жордана. Ниже приведен пример расчета.

```
% Математическая модель СЯЛД с укладкой статорной обмотки классическим
% способом (z=6) с нулевым проводом
% function SLD_z6_zero
% Исходные данные синхронного двигателя
Rb=0.1003*10^7;
rs=4.94;
LsA=0.111;
LsB=0.114;
LsC=0.105;
rr=27;
Lr=0.074;
dt=0.001;
As=rs+LsA/dt;
Bs=rs+LsB/dt;
Cs=rs+LsC/dt;
tz=9.769*10^-3;
tau=3*tz;
m=95;
v0=0;
wns=200;
wnr=2000;
UA=wns/dt;
X=zeros(16,1);
F=0;
w12=2;
mass_Um=0;
mass_f=0;
mass_t=0;
Ukon=400;
Unach=8;
tk=8;

K=input('Длительность цикла k=');
for k=1:(K+1)
    if ((k*dt >= 0) && (k*dt <= tk))
        fc=k*dt*40/tk;
        vs=2*tau*fc;
        w=2*pi*vs/(2*tau);
        eps=0.1;
        if (vs-v0)>eps
            ss=(vs-v0)/vs;
            wR=2*pi*v0/(2*tau);
        else
            wR=w;
        end;
        Um=Unach+((Ukon-Unach)*(k*dt)^1)/((tk)^1);
    end;
    if (k*dt > tk)
        fc=40+2*((tanh(k*dt-1)^0.6))*0;
        vs=2*tau*fc;
        w=2*pi*vs/(2*tau);
    end;
end;
```

```

        eps=0.1;
    if (vs-v0)>eps
        ss=(vs-v0)/vs;
        wR=2*pi*v0/(2*tau);
    else
        wR=w;
    end;
    Um=Ukon+10*((tanh(k*dt-1)^0.6))*0;
end;
if ((k*dt >= 0) && (k*dt <= 4))
    Fc=2;
end;
if (k*dt > 4)
    Fc=10;
end;
if ((k*dt >= 0) && (k*dt <= 1.5))
    Ufm=k*dt*2/1.5;
    Ifm=Ufm/rr;
end;
if (k*dt > 1.5)
    Ufm=2;
    Ifm=Ufm/rr;
end;

v(1,k)=v0;          %Создание вектор-строки для графика скорости
f(1,k)=sum(F)-Fc;   %Создание вектор-строки для графика усилия

Ua=Um*cos(w*(k-1)*dt);
Ub=Um*cos(w*(k-1)*dt-2*pi/3);
Uc=Um*cos(w*(k-1)*dt-4*pi/3);

i0(1,k)=X(16);
i_a(1,k)=X(13);
i_b(1,k)=X(15);
i_c(1,k)=X(14);

% Формирование матрицы A
A=zeros(16);

N1=Lr*v0/(wnr*2*tz);
N2=(rr+Lr/dt)/wnr;
N3=wnr/dt;
N4=Lr/(wnr*dt);
N5=(wnr^2)/Lr;

R(1)=500*Rb;
R(2)=50*Rb;
R(3)=5*Rb;
for n=4:10
    R(n)=1.2*Rb-0.2*Rb*cos(wR*k*dt+(2*pi*tz*n)/tau-wl2*pi/12);
end;
R(11)=5*Rb;
R(12)=50*Rb;
R(13)=500*Rb;
R(14)=50*Rb;

```

```

    A(12,12)=(R(12)*N2+N1*(R(12))+N3); %B
for n=1:11
    A(n,n)=(R(n)+R(n+1))*N2+N1*(R(n)-R(n+1))+N3; %B
end;

for n=2:12
    A(n,n-1)=-R(n)*N2-N1*(R(n-1)+R(n)+N5); %E
end;

    A(11,12)=-R(12)*N2+N1*(R(12)+N5); %C
for n=1:10
    A(n,n+1)=-R(n+1)*N2+N1*(R(n+1)+R(n+2)+N5); %C
end;

for n=3:12
    A(n,n-2)=R(n-1)*N1;% D
end;

for n=1:10
    A(n,n+2)=-R(n+2)*N1; %G
end;

    W1=-wns*N4;
    T=-wns*N1;
    Y=-wns*N2;

for n=1:12
    If(n)=Ifm*sin(wR*k*dt+(pi/3)*(n-0.5)-w12*pi/12);
    If1(n)=Ifm*sin(wR*(k-1)*dt+(pi/3)*(n-0.5)-w12*pi/12);
end;

for n=1:3
    A(n+2,n+12)=(-1)^(n+1)*T;
    A(n+3,n+12)=(-1)^(n+1)*Y;
    A(n+4,n+12)=(-1)^n*T;
    A(n+5,n+12)=(-1)^n*T;
    A(n+6,n+12)=(-1)^n*Y;
    A(n+7,n+12)=(-1)^(n+1)*T;
end;

for n=1:3
    A(16,n+12)=1;%hh
end;
    A(16,16)=-1;%jgj

    A(13,4)=UA;
    A(14,6)=UA;
    A(15,8)=UA;
    A(13,7)=-UA;
    A(14,9)=-UA;
    A(15,5)=-UA;
    A(13,13)=As;
    A(14,15)=Bs;
    A(15,14)=Cs;

```

% Матрица свободных членов

```

S=[
    ((R(1)+R(2))*N4+N3)*X(1)-N4*(R(2)*X(2))-
    N1*wnr*If(12)+N2*wnr*If(1)+N1*wnr*If(2)-N4*wnr*If1(1); %1
    ((R(2)+R(3))*N4+N3)*X(2)-N4*(R(2)*X(1)+R(3)*X(3))-
    N1*wnr*If(1)+N2*wnr*If(2)+N1*wnr*If(3)-N4*wnr*If1(2); %2
    ((R(3)+R(4))*N4+N3)*X(3)-N4*(R(3)*X(2)+R(4)*X(4))-
    N1*wnr*If(2)+N2*wnr*If(3)+N1*wnr*If(4)-N4*wnr*If1(3); %3
    W1*X(13)+((R(4)+R(5))*N4+N3)*X(4)-N4*(R(4)*X(3)+R(5)*X(5))-N1*wnr*If(3)+N2*wnr
    *If(4)+N1*wnr*If(5)-N4*wnr*If1(4); %4
    (-1)*W1*X(14)+((R(5)+R(6))*N4+N3)*X(5)-N4*(R(5)*X(4)+R(6)*X(6))-N1*wnr*If(4)+N2*wnr
    *If(5)+N1*wnr*If(6)-N4*wnr*If1(5); %5
    W1*X(15)+((R(6)+R(7))*N4+N3)*X(6)-N4*(R(6)*X(5)+R(7)*X(7))-N1*wnr*If(5)+N2*wnr
    *If(6)+N1*wnr*If(7)-N4*wnr*If1(6); %6
    (-1)*W1*X(13)+((R(7)+R(8))*N4+N3)*X(7)-N4*(R(7)*X(6)+R(8)*X(8))-N1*wnr*If(6)+N2*wnr
    *If(7)+N1*wnr*If(8)-N4*wnr*If1(7); %7
    W1*X(14)+((R(8)+R(9))*N4+N3)*X(8)-N4*(R(8)*X(7)+R(9)*X(9))-N1*wnr*If(7)+N2*wnr
    *If(8)+N1*wnr*If(9)-N4*wnr*If1(8); %8
    (-1)*W1*X(15)+((R(9)+R(10))*N4+N3)*X(9)-N4*(R(9)*X(8)+R(10)*X(10))-N1*wnr*If(8)+N2*
    wnr*If(9)+N1*wnr*If(10)-N4*wnr*If1(9); %9
    ((R(10)+R(11))*N4+N3)*X(10)-N4*(R(10)*X(9)+R(11)*X(11))-N1*wnr*If(9)+
    N2*wnr*If(10)+N1*wnr*If(11)-N4*wnr*If1(10); %10
    ((R(11)+R(12))*N4+N3)*X(11)-N4*(R(11)*X(10)+R(12)*X(12))-N1*wnr*If(10
    )+N2*wnr*If(11)+N1*wnr*If(12)-N4*wnr*If1(11); %11
    ((R(12))*N4+N3)*X(12)-N4*(R(12)*X(11))-N1*wnr*If(11)+N2*wnr*If(12)+N1
    *wnr*If(1)-N4*wnr*If1(12); %12
    UA*(X(4)-X(7))+(LsA/dt)*X(13)+Ua; %13
    UA*(X(6)-X(9))+(LsB/dt)*X(15)+Ub; %14
    UA*(X(8)-X(5))+(LsC/dt)*X(14)+Uc; %15
    0]; %16

```

% Решение методом Гаусса-Жордана

```

Z=rref([A S]); %Приведение расширенной матрицы к треугольному виду
X=Z(1:16,17:17); %Выделение последнего столбца из матрицы

```

% Ток в роторе

```

IR=[
    (R(1)+R(2))*X(1)-R(2)*X(2); %1
    (R(2)+R(3))*X(2)-R(3)*X(3)-R(2)*X(1); %2
    (R(3)+R(4))*X(3)-R(4)*X(4)-R(3)*X(2); %3
    -wns*X(13)+(R(4)+R(5))*X(4)-R(5)*X(5)-R(4)*X(3); %4
    wns*X(14)+(R(5)+R(6))*X(5)-R(6)*X(6)-R(5)*X(4); %5
    -wns*X(15)+(R(6)+R(7))*X(6)-R(7)*X(7)-R(6)*X(5); %6
    wns*X(13)+(R(7)+R(8))*X(7)-R(8)*X(8)-R(7)*X(6); %7
    -wns*X(14)+(R(8)+R(9))*X(8)-R(9)*X(9)-R(8)*X(7); %8
    wns*X(15)+(R(9)+R(10))*X(9)-R(10)*X(10)-R(9)*X(8); %9
    (R(10)+R(11))*X(10)-R(11)*X(11)-R(10)*X(9); %10
    (R(11)+R(12))*X(11)-R(12)*X(12)-R(11)*X(10); %11
    R(12)*X(12)-R(12)*X(11)]; %12

```

% Электромагнитное усилие

```

F(1)=(X(2)*IR(1))/(2*tz);
for n=1:10
    F(n+1)=(X(n+2)-X(n))*(IR(n+1))/(2*tz);
end;
F(12)=(-X(11)*IR(12))/(2*tz);

```

% Скорость

```

v0=v0+((sum(F)-Fc)/m)*dt;

```

```

mass_Um(k)=Um;
mass_fc(k)=fc;
mass_t(k)=k*dt;
end;

% Построение графиков
figure(1);
plot(mass_t,mass_Um,'r',mass_t,mass_fc,'b');
grid on;
axis([0 5 0 250]);
figure(2);
k=0:K;
subplot(2,1,1);
plot(k*dt,v);
title('Скорость');
xlabel('t,c');
ylabel('v,м/с');
grid on;
subplot(2,1,2);
plot(k*dt,f);
title('Сила');
xlabel('t,c');
ylabel('F,Н');
grid on;
%end

```

Временные зависимости скорости и электромагнитного усилия синхронного явнополюсного линейного двигателя в режиме частотного пуска представлены на рис. 5.

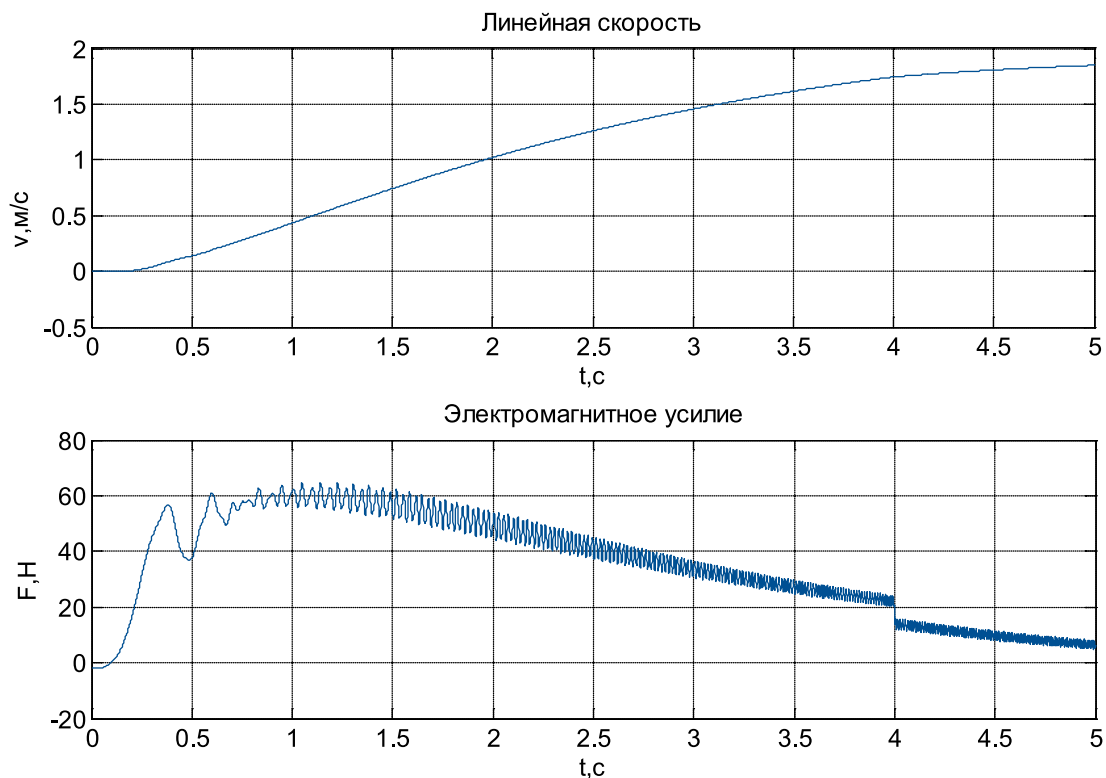


Рис. 5. Результат моделирования синхронного явнополюсного линейного двигателя в режиме частотного пуска с набросом нагрузки при $t = 4$ с

Зависимости токов i_A^s , i_B^s , i_C^s и i_0^s даны на рис. 6.

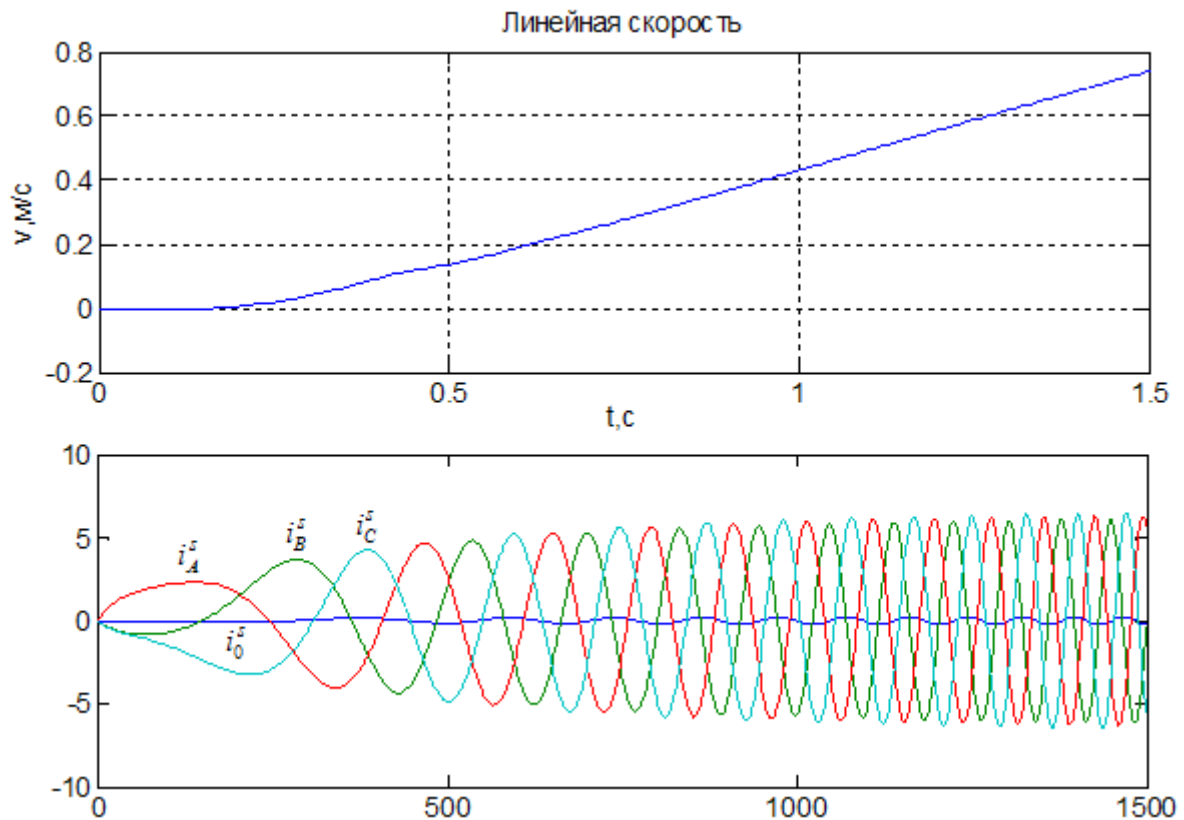


Рис. 6. Временные зависимости i_A^s , i_B^s , i_C^s и i_0^s при $k = 1500$

Литература:

1. Веселовский, О.Н. и др. Линейные асинхронные двигатели/Веселовский О.Н., Коняев А.Ю., Са-
рапулов Ф.Н. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 256 с.
2. Емельянов, А.А., Козлов А.М., Бесклеткин В.В., Авдеев А.С., Киряков Г.А., Чернов М.В., Габзалилов Э.Ф.,
Фуртиков К.А., Реутов А.Я., Боброва С.Д., Андреева Е.Д., Карлова М.В. Программирование синхронного яв-
нополюсного дугостаторного двигателя ($Z1 = 6$) с трехфазной обмоткой индуктора с нулевым проводом. // Мо-
лодой ученый. — 2014. — №20 (79, декабрь). — с. 3–20.
3. Емельянов, А.А., Кобзев А.В., Козлов А.М., Бесклеткин В.В., Авдеев А.С., Киряков Г.А., Чернов М.В., Габза-
лилов Э.Ф. Математическая модель синхронного неявнополюсного дугостаторного двигателя ($Z1/Z2 = 6/12$)
с трехфазной обмоткой индуктора с нулевым проводом // Молодой ученый. — 2014. — № 15 (74, сентябрь).
4. Емельянов, А.А., Богатов Е.А., Клишин А.В., Медведев А.В., Симонович В.Г. Математическая модель линей-
ного асинхронного двигателя на основе магнитных схем замещения // Молодой ученый. — 2010. — №5. —
с. 14–22.
5. 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.
6. Емельянов, А.А., Медведев А.В., Кобзев А.В., Козлов А.М., Бесклеткин В.В., Авдеев А.С., Киряков Г.А.,
Чернов М.В., Габзалилов Э.Ф., Иванин А.Ю. Программирование линейного асинхронного двигателя с числом
пазов в индукторе равно шесть // Молодой ученый. — 2013. — №10 — с. 23–38.
7. Емельянов, А.А., Медведев А.В., Кобзев А.В., Козлов А.М., Бесклеткин В.В., Авдеев А.С., Киряков Г.А.,
Чернов М.В., Габзалилов Э.Ф., Иванин А.Ю. Моделирование линейного асинхронного двигателя с укладкой
обмотки индуктора ($Z1=6$) через спинку ярма // Молодой ученый. — 2013. — №10 — с. 39–54.
8. Емельянов, А.А., Кобзев А.В., Козлов А.М., Бесклеткин В.В., Бочкарев Ю.П., Авдеев А.С., Киряков Г.А.,
Чернов М.В., Габзалилов Э.Ф., Иванин А.Ю. Программирование линейного асинхронного двигателя ($Z1 =$
 6) с трехфазной обмоткой индуктора с нулевым проводом // Молодой ученый. — 2014. — №2. — с. 36–51.

9. Емельянов, А. А., Кобзев А. В., Козлов А. М., Бесклеткин В. В., Авдеев А. С., Чернов М. В., Габзалилов Э. Ф., Киряков Г. А. Моделирование системы АИН ШИМ — линейный асинхронный двигатель ($Z1 = 6$) с классическим типом обмотки с нулевым проводом // Молодой ученый. — 2014. — №6 (65, май). — с. 24–43.
10. Емельянов, А. А., Козлов А. М., Бесклеткин В. В., Авдеев А. С., Киряков Г. А., Чернов М. В., Габзалилов Э. Ф. Программирование синхронного неявнополюсного дугостаторного двигателя ($Z1 = 6$) с трехфазной обмоткой индуктора с нулевым проводом // Молодой ученый. — 2014. — №16 (75, октябрь). — с. 19–39.
11. Емельянов, А. А., Козлов А. М., Бесклеткин В. В., Авдеев А. С., Киряков Г. А., Чернов М. В., Габзалилов Э. Ф., Фуртиков К. А., Реутов А. Я., Боброва С. Д., Андреева Е. Д. Программирование синхронного неявнополюсного дугостаторного двигателя ($Z1/Z2 = 12/24$) с трехфазной обмоткой индуктора с нулевым проводом. // Молодой ученый. — 2014. — №18 (77, ноябрь). — с. 24–47.

ИНФОРМАТИКА

Анализ методов защиты беспроводной сети Wi-Fi от известных способов взлома злоумышленником

Варлатая Светлана Климентьевна, кандидат технических наук, профессор, доцент;

Рогова Олеся Сергеевна, магистр;

Юрьев Дмитрий Русланович, аспирант

Дальневосточный федеральный университет (г. Владивосток)

В наше время бурно развиваются беспроводные технологии в области информатизации, так как не всегда удобен, а иногда даже не возможен монтаж проводных линий связи. Но насколько безопасна передача информации по такому виду связи, какие способы хищения и защиты существуют на сегодняшний день, всё это весьма актуально на сегодняшний день. В данной работе проведён анализ беспроводных сетей Wi-Fi открытого и закрытого типа. Показаны, какие факторы влияют на надёжность передаваемой информации в открытой сети. Описаны технологии сетей закрытого типа, как правило, использующие шифрование для защиты пакетов данных в канале передачи информации. Показана защита от такого вида уязвимости, как обнаружение ключа для проверки целостности.

Ключевые слова: беспроводные сети, защита беспроводных сетей, защита информации, методы защиты, источники угроз, открытые и закрытые беспроводные сети, шифрование пакетов данных, злой двойник, уязвимость протокола.

С развитием беспроводных технологий, наиболее востребованным способом доступа в глобальную сеть интернет и к локальным вычислительным сетям является технология Wi-Fi. Её использование, начинается с появлением ноутбуков, персональных компьютеров, мобильных устройств и заканчивается «умной» бытовой техникой. Данный вид связи значительно упростил доступ к сети пользователям и открыл возможности, недоступные при использовании проводных видов связи, однако не каждый знает, сколько опасности поджидает каждого пользователя при неграмотной настройке использования Wi-Fi.

Беспроводные сети Wi-Fi делятся на два типа — открытые и закрытые.

Сети открытого типа (OPEN), как правило, не используют защиту для подключения к самому устройству или используют удалённую защиту доступа к сети, когда аутентификация пользователя происходит не на самом устройстве, а на удалённом сервере. Однако ни один из вышенаписанных способов не защищает пользователей, подключённых к самой Wi-Fi сети от атак типа MITM (человек посередине), это когда вся информация в сети проходит через злоумышленника, что негативно сказывается на надёжности передаваемой информации в открытой сети. Такой вид сети не рекомендуется для использования

с точки зрения защиты информации, когда есть необходимость использования данного вида сети для передачи конфиденциальной информации, то рекомендуется использовать VPN (виртуальная частная сеть) для защиты самого канала передачи данных, а также использовать HTTPS (расширенный протокол HTTP использующий шифрование SSL для скрытия запросов от клиента к серверу). Эта технология позволяет просмотреть передаваемые пакеты данных при их перехвате, что повышает надёжность передачи информации в сети Wi-Fi.

Другой вид беспроводной сети — сети закрытого типа, как правило, используют шифрование для защиты пакетов данных в канале передачи информации. Для них используются наиболее популярные технологии защиты такие, как: Wired Equivalent Privacy (WEP — устаревшая технология для обеспечения безопасности беспроводной Wi-Fi сети), Wi-Fi Protected Access (WPA и WPA2 — представляет собой обновлённую технологию защиты устройств беспроводной связи, и Wi-Fi Protected Setup/Quick Security Setup (WPS/QSS — защищённая установка, использующаяся в WPA/WPA2). Надо отметить, что у сети закрытого типа тоже есть уязвимости, но при правильной конфигурации, риски можно минимизировать.

Технология WEP одна из самых первых технологий защиты. В настоящее время крайне ненадёжная и не реко-

мендуется для использования. Проблема в том, что поток данных шифруется временным ключом, часть которого есть в каждом пакете. Следовательно, если перехватить необходимое число пакетов, появляется возможность получить ключ любой длины. Защита данной технологии нецелесообразна, так как время перехвата ключа зависит от объёма передаваемой информации по беспроводной сети, чем её больше передаётся, тем быстрее у злоумышленника появляется возможность перехвата ключа.

Технология WPA, которая является суммой протоколов EAP, MIC, TKIP, 802.1X позволяющая её использовать в коммерческом секторе. В отличие от WEP в WPA восстановление основного ключа невозможно, но есть способ узнать ключ, который необходим для проверки целостности, а также ключевой поток данных. Чтобы реализовать такой атаки злоумышленнику необходимо знать MAC адрес клиента, подключённого к Wi-Fi сети, для дальнейшей кражи этого адреса и подмены на своём устройстве, в уязвимой сети Wi-Fi должна быть поддержка WMM и QoS и смена временного ключа не ниже 3600 секунд. Самая простая защита от данного вида уязвимости, просто уменьшить значения временного ключа, что даст гарантию от второго вида взлома — это стандартный брутфорс, то есть, подбор всех возможных комбинаций обычным перебором. Защита от данного метода взлома, ежемесячная смена пароля.

Технология WPA2 дополненная версия технологии WPA. В ней устранена уязвимость с хищением и подменой ключевого потока, так же добавлен новый протокол AES/CCMP с совершенно новым алгоритмом шифрования основанном на AES256 с дополнительной защитой и проверкой на целостность. Данную технологию, возможно, взломать только с помощью брутфорса, защита от которого является ежемесячная смена ключа. WPA2 на сегодняшний день является самым надёжным способом защиты беспроводных сетей Wi-Fi.

Протокол WPS/QSS разработан для создания защищённой WPA2 сети, а так же простому подключению

к ней. В данном протоколе предусмотрено подключение по восьми значному PIN-коду. Уязвимость данного протокола заключается в следующем. Так как в PIN-коде используется восемь цифр — подбор PIN-кода составляет 10^8 вариантов. Последняя цифра является контрольной суммой, которая высчитывается по семи первым цифрам — следовательно, подбор PIN-кода составляет 10^7 . Однако в самом протоколе изначально есть уязвимость, которая позволяет разделить PIN-код на две части, 4 и 3, которые подбираются отдельно друг от друга в таком случаи подбор PIN-кода 10^4 и 10^3 составляет 11000 комбинаций. Данный протокол крайне уязвим, так как после получения PIN-кода, отсылается информация о ключе WPA2 клиенту, делавшему запрос на подключение, который впоследствии может быть использован. Однозначного решения проблемы нет, наиболее эффективно, использовать таймер «охлаждения» после неправильного ввода пароля. Рекомендуется отключать данный протокол в настройках сети, для предотвращения кражи ключа WPA2 и несанкционированного подключения к беспроводной сети.

Существует вид атаки под названием «злой двойник», который используется в многолюдных местах. Суть атаки заключается в копирование имени SSID беспроводной сети, и на основании его создаётся поддельная беспроводная сеть с более сильным сигналом излучения, чем у настоящей беспроводной сети. Для уменьшения риска от данной атаки, рекомендуется уменьшить время смены частоты радиоканалов, а также использовать шифрование при переда данных.

Таким образом, на основе проведенного анализа популярных технологий защиты беспроводной сети Wi-Fi, на сегодняшний день наиболее оптимальная технология защиты — это WPA2, внутри которой используется шифрование канала передачи данных. Это позволит пользователям беспроводной сети Wi-Fi защититься от взлома злоумышленников.

Литература:

1. Э. Таненбаум, Д. Уэзеролл «Компьютерные сети» 5-е издание. 2012 г.
2. www.ieee802.org/11/ — The Working Group for WLAN Standards.
3. <https://forum.antichat.ru/forum113.html> — Форум АНТИЧАТ > Безопасность и Уязвимости > Беспроводные технологии/Wi-Fi/Wardriving
4. Stefan Viehböck «Brute forcing Wi-Fi Protected Setup» 26.12.2011 Version 3
5. <http://www.webcitation.org/6DwMc0X27> — Evil Twins FAQ
6. <http://www.aircrack-ng.org/> — Advanced Wi-Fi Penetration Testing

Современные проблемы дизайна сайтов и вызовы нового времени

Горностаева Екатерина Айдимеровна, магистрант

Российский государственный педагогический университет имени А. И. Герцена (г. Санкт-Петербург)

В современной социокультурной среде, веб-инфраструктура является одним из наиболее важных источников информации, а также средств общения, посредством ресурсов, называемых веб — сайтами.

При этом развитие сети интернет, произошедшее за небольшое даже по современным меркам время, привело к бурной эволюции самих информационных ресурсов — узлов сети.

Если в начале своего развития, информация, размещаемая на страницах сайтов уже сама по себе, представляла ключевую ценность, то уже спустя совсем непродолжительное время, одной только информации, для успеха ресурса было недостаточно.

Причины этого лежали в развитии самой сети, а также в увеличении как пользователей сети, так и создателей информационного наполнения — контента. [1, с 17]

На начальном этапе, крайне ограниченное создателей и потребителей контента, вполне были удовлетворены, примитивным, текстовым интерфейсом, практически лишённым интерактивных элементов, поскольку уже эти возможности, позволяли им размещать и потреблять информацию в режиме реального времени, без трудоёмкого и затратного по времени традиционного размещения информации в бумажных изданиях.

Однако, с развитием сети, с увеличением пользователей, сменилась и сама парадигма информационного наполнения сети. Без сомнения, первоначальная идея, обмена научной информацией через сеть интернет — присутствует и поныне. Однако, было бы неверным, говорить, что это основное предназначение сети сегодня.

Современная парадигма сетевого обмена информацией в сети интернет является многогранной и чрезвычайно фрагментированной. [2, с 154]

Интернет находится в постоянной трансформации, как по причине развития самой инфраструктуры сети, обеспечивающей все большие скорости и объёмы обмена информацией, так и увеличивающей проникновение сети вовсе более бедные и отдалённые уголки планеты; так и по причине появления инновационных устройств создания и потребления контента. Так если, всего 5–6 лет назад, основная масса устройств, подключённых к сети интернет представляла собой стационарные компьютеры, то уже сегодня это место заняли разнообразные мобильные устройства.

Основные направления создания и потребления контента в сети Интернет подвержены моде. И развиваются по ее законам. Когда-то это были форумы, потом им на смену пришли блоги, сегодня это социальные сети.

Так же к числу основных контентных направлений можно отнести разнообразные новостные ресурсы,

а также ресурсы интернет-коммерции (различные магазины и торговые площадки — агрегаторы), а также поисковые ресурсы.

Вместе с тем, существуют и разнообразные нишевые направления, имеющие определенную аудиторию. Например, онлайн-библиотеки, игровые порталы, научные порталы и так далее.

Кроме того, не надо забывать о многочисленных ресурсах, имеющих место быть в корпоративных сетях (так называемых Интранет-ресурсах). [3, с. 36]

Первое, что объединяет все эти ресурсы — это необходимость постоянного добавления и обновления контента. Это является как правом, так и обязанностью распространителя контента. Правом, поскольку любое, изменение значимого для ресурса контекста, может быть отражено. Обязанность, заключается в необходимости поддержания ресурса в актуальном состоянии. Поскольку, только актуальные ресурсы в современном информационном мире посещаются и выигрывают в конкурентной борьбе за ресурсы пользователей.

Второе, это вопросы удобства использования информационных ресурсов, поскольку в наше время, даже застенелому физическому будет крайне непривычно использовать сайт с интерфейсом 20-ти летней давности.

Третье, это проблемы жизненного цикла ресурса, от его появления на свет, через развитие, к расцвету и увеличению числа пользователей.

Таким образом, современный сетевой информационный ресурс или веб-сайт, должен обладать набором характеристик, обеспечивающих ему необходимые и достаточные условия для существования и успешной работы. Другими словами, современный веб-сайт должен иметь профессиональный дизайн в широком смысле этого слова. Помимо внешней, интерфейсной части, которая обычно понимается под дизайном, включающей в себя, систему компоновки контента, и навигацию, дизайн информационной системы включает в себя и невидимую для пользователей, серверную инфраструктуру.

Современная парадигма дизайна информационных систем, подразумевает четкое разделение на три взаимодействующих составляющих: внешняя визуальная часть, предназначенная для взаимодействия с конечными пользователями (или в общем случае с внешними информационными системами), подсистему хранения данных, а также подсистему промежуточного слоя, призванную обеспечивать интерфейс между визуальной частью и хранимыми данными, собственно контентом. Эта часть представлена бизнес-логикой системы. Вышесказанная парадигма обозначается как MVC (Model-View-Controller).

Появление данной парадигмы, а затем активное внедрение в практику создания и эксплуатации информационных систем, в том числе и веб-ресурсов, было связано в первую очередь с необходимостью создания и поддержания в работоспособном состоянии высоконагруженных систем, с достаточно длительным сроком жизни. При этом подразумевается, что в течении жизненного цикла, система будет подвержена постоянным эволюционным изменениям. [5]

Рассмотрим типичный жизненный цикл веб-сайта:

1. Формирование идеи веб-сайта — на этом этапе происходит разработка концепции ресурса, определение аудитории, формируются общие принципы контентного наполнения

2. Разработка бета-версии (или прототипа веб-сайта). На этом этапе апробируются концепции и идеи первого этапа. Одной из наиболее важных задач данного этапа, является быстрое создание системы, выполняющей базовые и наиболее важные для разрабатываемого сайта функции. Предполагаемая, на этом этапе, нагрузка на систему — невысока, инвестиции на данном этапе так же скромные, поэтому, как правило используются бесплатные системы разработки, системы хранения данных и т. п.

3. Продвижение созданного веб-сайта (рекламные усилия, продвижение через социальные сети и т. п.). Нарращивание функционала, устранение существующих проблем и ошибок

4. Успех веб-сайта, резкое повышение нагрузки. Как следствие, редизайн системы хранения данных и доступа к данным, с сохранением пользовательских интерфейсов (модернизация подсистем хранения данных и подсистемы реализации бизнес — логики)

5. Модернизация визуальной подсистемы в соответствии с последними трендами. [8]

Все вышеперечисленные этапы в некоторой степени являются идеализированной моделью. В реальности, все три слоя дизайна развивающегося и популярного веб-сайта, находятся в постоянном развитии. При этом, разделение не три независимых функциональных части позволяет оптимальным образом разделять работы между различными группами разработчиков. Так, обычно разделяют разработчиков, занимающихся пользовательскими интерфейсами (front side) и разработкой серверной части — бизнес-логикой и хранением данных (server side). В наиболее нагруженных проектах, так же отдельно выделяются группы разработчиков ответственные за поддержание и оптимизацию баз данных.

Описанная выше модель дизайна веб-ресурсов сегодня используется повсеместно, как в коммерческих веб-проектах, так и в многочисленных решениях предназначенных для создания индивидуальных веб-ресурсов, например, таких, как система ведения блогов WordPress и многих других.

Вместе с тем, большинство пользователей веб-ресурсов сегодня даже не догадывается, о внутренних ме-

ханизмах работы используемых систем. Вся их практика сосредоточена на взаимодействии с визуальной подсистемой. И дизайн последней имеет огромное значение для успешности веб-ресурса. Поэтому следующая часть статьи, будет посвящена именно этому аспекту дизайна веб-сайтов. [9]

Современные проблемы визуального дизайна сайтов

Проблемам создания «идеального» визуального дизайна веб-интерфейсов, посвящено, множество статей. Поэтому в здесь мы не будем касаться данного аспекта.

Поскольку на наш взгляд, сегодня, на первое место выходит не проблема создания «правильного» визуального дизайна веб ресурса, а скорее проблема создания дизайна учитывающего новации пользовательского опыта доступа к веб-ресурсам с использованием множества новых устройств, таких как планшеты, смартфоны, смарт-телевизоры и другие устройства. Ключевой особенностью пользовательского опыта доступа в сеть интернет с этих устройств, является, то, что пользователи находятся в сети постоянно, в любое время суток. В пределе можно говорить о том, что они находятся в сети все 24 часа в сутки. Эта особенность коренным образом меняет пользовательское поведение, поскольку если раньше, активным пользователем сети интернет считался тот, кто, хотя бы раз в неделю проверял свою почту, то теперь это тот, кто проводит в сети все свободное время. Таким образом, визуальный дизайн современных успешных веб-ресурсов, в первую очередь должен быть ориентирован на инновационные устройства. И должен учитывать, как существующие ограничения (небольшой размер экрана, ограниченность устройств ввода информации), так и имеющиеся возможности (высокое разрешение экранов устройств, наличие фото и видеокамер высокого разрешения, наличие различных датчиков и т. п.). Таким образом, одно из ключевых требований к дизайну современных веб сайтов — размещение всей важной функциональности, в крайне ограниченном объеме, и максимально полная поддержка инновационных возможностей устройств. [4, с. 58]

При этом важно отметить, что сегодня в наличии у веб-разработчиков имеются подходящие инструментальные средства, позволяющие реализовывать предъявляемые к веб-ресурсам требования. Например, язык HTML 5 — позволяет реализовать все вышеперечисленное и к тому же является гибкой и расширяемой спецификацией, что гарантирует добавление новых возможностей, появляющихся вследствие развития технологий в сфере пользовательских устройств. [6]

Новые вызовы для дизайна веб-сайтов

Непрерывное развитие техники, ставит перед создателями веб-сайтов новые задачи. Так видится, что следующими за смартфонами и планшетами, массовыми

пользовательскими устройствами станут разнообразные системы виртуальной реальности (VR). Прототипами этих устройств сегодня являются очки Google Glass и прочие подобные проекты.

Основной особенностью данных устройств, является еще больший отход от современных парадигм ввода информации (клавиатуры и манипуляторы) в пользу речевого ввода информации, а также учет состояния различных датчиков (магнитометр, GPS датчик положения головы). [7]

Выводы

В современном информационном мире веб-ресурсы занимают все более важное место. Вследствие развития

пользовательского опыта и повышения важности веб-среды для общества в целом, инфраструктура сетевых ресурсов сети интернет находится в постоянном развитии. Это справедливо по отношению ко всем составляющим данной инфраструктуры. Вместе с тем, конечные пользователи веб-сайтов оказывают наибольшее влияние на развитие именно визуального дизайна веб-сайтов. Сегодня развитие веб дизайна в большей степени связано с бурным развитием инновационных пользовательских устройств, таких как планшеты и смартфоны. В дальнейшем, мир веб-дизайна ждет еще одно потрясение, когда в привычных обиход пользователей, войдут устройства виртуальной реальности, требующие качественного иного опыта взаимодействия пользователей с информационными ресурсами.

Литература:

1. Макдональд, М. HTML5. Недостающее руководство, БХВ-Петербург, 2012, 480 с.
2. Мойнейро, М. Дизайн-это работа, М, Манн, Иванов и Фербер, 2012, 176с
3. Нильсен, Я. Mobile Usability. Как создавать идеально удобные приложения для мобильных устройств, М., Эксмо, 2013, 256с
4. Уолтер, А. Эмоциональный веб-дизайн, М, Манн, Иванов и Фербер, 2012, 340с
5. Responsive Design Problems and Fixes, [Электронный ресурс]. — URL: <http://uxmag.com/articles/10-responsive-design-problems-and-fixes>. (дата обращения: 15.12.2014)
6. Front-End Dev guidelines, <http://tech.tmw.co.uk/code/TMW-frontend-guidelines/#section-css-preprocessors>
7. WHAT WEB DESIGNERS CAN LEARN FROM GOOGLE'S MATERIAL DESIGN, <http://www.webdesignerdepot.com/2014/10/what-web-designers-can-learn-from-googles-material-design/>
8. Дизайн под носимые устройства, <http://www.dejurka.ru/web-design/wearable-design/>
9. Как создать руководство по стилю для веб-дизайна, <http://www.dejurka.ru/articless/web-design-style-guide/>

Компьютерные технологии диагностики автомобиля

Польшакова Наталья Викторовна, кандидат экономических наук, доцент;

Доманов Сергей Сергеевич, магистрант

Орловский государственный аграрный университет

Надежность автомобиля — один из важнейших показателей качества транспортного средства. Данная статья посвящена вопросу применения компьютерных технологий в диагностике автомобиля. В статье рассматривается диагностика автомобиля на основе новейших компьютерных технологий, позволяющих точно определить неисправность, а так же сэкономить время на её поиск.

Ключевые слова: диагностика, система, информация, код ошибки, неисправность.

Автомобилей становится всё больше, а значит и технически они становятся сложнее, и рядовому обывателю, то есть счастливому обладателю автомобиля, порой не под силу разобраться с чем связана та или иная поломка.

Компьютерная диагностика автомобиля — это основа всех современных автомобилей, без которой в наше время нельзя обойтись при ремонте автомобиля. Она позволяет за короткий интервал времени найти скрытую неисправность в автомобиле и устранить её. Из этого сле-

дует, что при поломке автомобиля, прежде чем делать какие-либо выводы, нужно провести качественную диагностику и выявить причину его поломки.

Понятие компьютерной диагностики сравнительно новое для сегодняшнего российского автомобилиста, да и просто для любого человека, а поэтому и не совсем ясна цель проводимого компьютерного тестирования автомобиля, так как компьютерные технологии в диагностике автомобилей стали применяться в России относительно недавно.

Компьютерная диагностика автомобиля — это тестирование различных электронных систем и исполнительных механизмов автомобиля, влияющих на работу бортовых систем, а также выявление неисправностей, связанных с работой электронных систем автомобиля и составление диагностической карты неисправностей для последующего ремонта и устранения неполадок, связанных с автомобильным электрооборудованием и исполнительными системами. Все электронные бортовые системы автомобиля оснащены системами самодиагностики. Эти системы необходимы для управления исполнительными механизмами автомобиля, непрерывного тестирования в момент запуска и работы двигателя. Системы самодиагностики служат незаменимым помощником в снабжении водителя информацией о работе транспортного средства в целом, информируют о возможных дефектах, неисправностях узлов и агрегатов, а также отслеживают межсервисные интервалы, которые в свою очередь напоминают о необходимости своевременного пройти техническое обслуживание автомобиля. Не все выпускаемые у нас автомобили имеют необходимые бортовые средства самодиагностики и диагностические разъемы для подключения стационарной контрольно-измерительной и диагностической аппаратуры. В основе любого ремонта должна лежать правильная и точная диагностика, так как без определения истинных причин различного рода дефектов идеальный ремонт в принципе невозможен.

Плановая, регулярная компьютерная диагностика обязательна для автомобилиста. И чтобы не омрачать своё владение автомобилем бесконечными ремонтами и какими-то другими проблемами, необходимо проводить качественную диагностику. И в этом случае компьютерная диагностика в не конкуренции. Как правило, большинство дефектов можно выявить именно при осмотре. Основу правил диагностики составляет методика оценки качества и состояния автомобиля. Комплексная оценка технического уровня автомобиля возможно только с помощью компьютерной диагностики.

Говоря о компьютерной диагностике автомобиля, подразумевают следующее:

— На первом этапе — считывание всей информации при поиске неисправности.

— Второй этап — проверка реальности полученных данных. Затем эти данные будут использоваться профессионалами при оценке состояния автомобиля, а именно состояния электрических цепей и их соединений, напряжения бортовой сети, исправность датчиков.

— Третий этап предполагает доступ к данным в настоящем времени (функция Data Stream). Функция Data Stream используется для проверки элементов системы и датчиков в реальном времени.

— И только на следующем этапе все полученные результаты анализируются и делаются выводы о работе систем, о наличии и характере предполагаемых неисправностей.

Для этого специалисту по ремонту автомобилей требуются инженерные знания и понимание процессов, происходящих в автомобиле. К сожалению, не всегда имеется четкая и расписанная методика диагностирования конкретной неисправности. Здесь требуется знающий, хорошо разбирающийся в области компьютерной диагностики профессионал.

— В завершение, необходимо стереть из памяти коды возникших ошибок и повторно инициализировать систему.

В настоящее время средства, используемые для диагностирования автомобиля, классифицируются следующим образом:

— общие и локальные — по степени охвата объектов диагностирования автомобиля;

— диагностирование с универсальными и специализированными, встроенными и внешними устройствами — по характеру взаимодействия между объектом и средством диагностирования;

— автоматические, автоматизированные и ручные — по степени автоматизации.

Устранить неисправность труднее, чем провести вовремя грамотную диагностику, да и время уйдёт на это намного больше. Поэтому без точного совершенного диагностического оборудования просто не обойтись.

Для того чтобы удовлетворить потребности современных автомобилистов разрабатываются всё больше новых диагностических средств: бортовые (ими оснащены автомобили и они являются частью электронного блока управления) и небортовые.

Все эти диагностические системы можно подразделить на три категории, но говоря об этом делении, конечно же понимается, что это деление условно:

— стационарные или стендовые диагностические системы. Названные устройства не зависят от бортовой диагностической системы автомобиля, так как не подключаются к бортовому электронному блоку управления. Их называют ещё мотор-тестерами, они обычно диагностируют системы впрыска — зажигания. Автомобильная электроника с каждым годом становится сложнее, вместе с этим расширяются и функциональные возможности стационарных систем, так как в настоящее время диагностика требуется не только для контроля управления двигателем, но и для тормозных систем, активной подвески и т. д.;

— индексировать дефекты в работе автомобиля соответствующими кодами позволяет бортовое диагностическое программное обеспечение, следующая категория диагностических систем.

Программное обеспечение электронного блока управления содержит процессы, которые записывают в память регистратора коды неисправностей. Если диагностическая система обнаруживает неисправности, то на приборном щитке включается и выключается в определенной последовательности световой индикатор. Специалисты, занимающиеся ремонтом автомобиля, без труда расшифровывают данный сигнал по справочным таблицам кодов неисправностей.

— бортовое диагностическое программное обеспечение, назначением которой является снижение вредных выбросов из выхлопной системы автомобиля. Доступ к данному обеспечению требует специальное диагностическое устройство. Этим устройством является сканер. Портативный диагностический тестер (сканер) подключается через специальный разъем на автомобиле к конкретному электронному блоку управления или всей электронной системе. Контролируемые параметры и коды неисправностей считываются непосредственно с электронным блоком управления и интерпретируются специалистами сервиса.

Рассмотрим более детально некоторые устройства для компьютерной диагностики:

— Стационарные мотор-тестеры — это многофункциональные устройства всесторонней автомобильной диагностики, в которых OBD—II-сканер присутствует как малая часть универсальной системы газоанализатора, измерения компрессии, давления топлива, разряжения во впускном коллекторе и многого другого.

— Специализированные дилерские сканеры (или так называемые универсальные дилерские приборы) — многофункциональные цифровые устройства, которые представляют собой комбинацию мультиметра, осциллографа и микрокомпьютера со специализированной базой на сменном картридже для конкретной модели транспортного средства. Цена таких устройств — где-то около 2000—3000 \$. без картриджа и кабелей-переходников под различные модели автомобилей (картриджи сами по себе стоят примерно 500 \$. и к тому же имеют узкую специализацию по марке, модели и модификации автомобиля).

Компьютерные тестовые системы, которые представляют собой обычный персональный компьютер, ноутбук или карманный компьютер произвольной конфигурации с соответствующим программным обеспечением и специальным кабелем OBD—II-RS-232. В таком соединительном кабеле стоит программируемый микроконтроллер, имеющим защитные протоколы обмена, так что напрямую соединить систему OBD—II с ПК не удастся.

Остановимся немного на принципах диагностики при помощи компьютерного мульти-сканера. Данная диагностическая система предполагает следующее:

— На первой ступени используются все доступные средства компьютерной диагностики и считываются не только коды ошибок, но и все цифровые данные, прямо или косвенно относящиеся к возникшей проблеме. В данном случае очень важно понимать, что «говорит» сканер и насколько полно он интерпретирует найденные неисправности. Если специалист автосервиса правильно этим воспользуется, это поможет быстро перейти к решению проблемы с обнаруженным изъяном.

— На второй ступени все полученные данные необходимо дополнительно подвергнуть электрической (аналоговой) проверке. И, несомненно, сразу же необходимо тщательно провести проверку электрической системы ав-

томобиля (генератора, аккумулятора, проводов и контактов), чтобы точно убедиться в ее полной исправности. При отрицательном результате полученная цифровая информация недостоверна или сомнительна.

— На следующем этапе необходимо, чтобы сканер или софт установил коммуникацию с проверяемым контролером, то есть разрешил просмотр данных в режиме реального времени (эта функция обычно называется Data Stream — отображение потока данных). Данная функция может использоваться для проверки сигналов датчиков и других элементов систем управления в режиме реального времени. Итак, на дисплей сканера выводятся сигналы датчиков автомобиля и параметры системы впрыска топлива в течение некоторого времени в режимах холостого хода, а также увеличения и сброса скорости вращения вала двигателя. После этого необходимо провести анализ полученных результатов, и сделать выводы о правильности работы системы, наличии и характере дефектов. И наконец, следует удалить из памяти контроллера коды ошибок и провести повторную инициализацию системы.

С помощью подобных диагностических систем, возможно, эффективно свести к минимуму область поиска неисправности и определить характер этих дефектов, не прибегая к излишним, а зачастую и очень трудоемким операциям. Кроме того, при проведении плановой диагностики, результаты которой фиксируются и запоминаются, можно прогнозировать возможные неполадки в автомобиле, которые еще не возникли и не обратились в критическую фазу. Кроме специального оборудования поставляемого производителями автомобилей для собственных сервисных центров существует много программ для компьютерной диагностики автомобиля для настольного компьютера или ноутбука.

Все современные, электронные системы управления, разработанные для управления автомобилем, оборудованы системой самодиагностики, которая создана для того, что бы информировать водителя о неисправностях. Многие наверняка замечали индикатор Check-Engine, который загорается при повороте ключа в положение зажигания, и гаснет через секунду после пуска двигателя. Если системой самодиагностики будут обнаружены неисправности в работе автомобиля — индикатор продолжит гореть. При возникновении неисправности во время движения индикатор загорается, однако он может и погаснуть, если неисправность перестала себя проявлять. В этом случае информация о неисправности вызвавшей подачу сигнала, сигнал записывается в память, для возможности последующего считывания. В случае если при работе двигателя индикатор Check-Engine настойчиво продолжает гореть, лучшим советом будет незамедлительно обратиться к специалистам, для более детальной диагностики и устранения неисправности.

Даже на автомобилях одной марки системы управления и диагностики могут очень сильно отличаться, но принцип остаётся неизменным: в процессе работы дви-

гателя, на различных режимах (прогрев, запуск двигателя, холостой ход, разгон и торможение) непрерывно идёт считывание показаний нескольких десятков датчиков.

И вот — самое интересное. При возникновении сигнала об ошибке, система диагностики сохраняет код ошибки в долговременной памяти для дальнейшей расшифровки специалистом станции технического обслуживания, подаёт сигнал о возникновении внештатной ситуации в виде доступном для интуитивного понятия водителем и адаптируется к возникшей ситуации, выполняя действия предусмотренные программой блока управления (вплоть до симуляции работы повреждённого датчика).

Дальше начинается будничная работа мастера, который подключившись к имеющемуся на блоке управления разъёму, считывает имеющиеся ошибки и после расшифровки принимает решение о дальнейших действиях.

Стоит заметить, что автомобиль — это совокупность множества как простых, так и довольно сложных элементов. И хотя большинство ошибок возникает по причине соединений (разъёмов), которые просто забыли соединить при текущем ремонте или из-за повреждения электропроводки, иногда возникают ситуации, требующие детальной диагностики для установления точной причины возникновения той или иной ошибки, учитывая различные условия работы двигателя. В случае возникновения внезапных, непредвиденных ошибок (проводка, разъёмы, влажность), для возобновления нормальной работы двигателя часто достаточно очистить память, то есть сбросить имеющиеся ошибки. Но делать это самостоя-

тельно не желательно, отключая блок управления от питания или другими способами. Положитесь на профессионала, который проанализирует имеющиеся дефекты. Попытка исправить, сбросить ошибки самостоятельно, может привести к временному увеличению расхода топлива, но это в лучшем случае, а в худшем — скроет дефект и сделает невозможным диагностику автомобиля, ввиду потери данных о работе двигателя и ошибках. Ну а двигателем, который как бы работает исправно, ни кто не будет заниматься серьезно. Оптимальные настройки должны восстановиться через 50–60 километров пробега, но, как уже отмечалось, необходимые настройки будут относительно состояния автомобиля, который, в случае неисправности, по-прежнему останется неисправным.

Даже если учесть, что компьютерная диагностика вошла в нашу жизнь сравнительно недавно, мы можем с уверенностью сказать, что высокая надёжность современной компьютерной диагностики автомобиля привела к сокращению числа простых дефектов, которые легко выявляются опытными ремонтниками на станциях техобслуживания. С другой стороны, если наблюдается неисправность, можно указать много вероятных ее причин. Диагностирование сегодня значительно отличается, от того, что было 10–20 лет назад.

Автомобильный сервис старается идти в ногу с новыми технологиями и решениями в автомобильном мире и всегда готов прийти на помощь в трудных ситуациях.

Итак, подведём черту, что автодиагностика, а именно компьютерная диагностика — это 100% успеха в качественном ремонте автомобиля.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Исследования сосудов сердечно-сосудистой системы человека с помощью ИК-Фурье спектрометра и анализ инфракрасных спектров

Лиманская Анастасия Юрьевна, студент;
Аверин Игорь Александрович, доктор технических наук, профессор
Пензенский государственный университет

Ключевые слова: атеросклероз, аорта, плечевые артерии, бедренные артерии, ИК-Фурье спектроскопия.

Проблема атеросклероза существует уже более 100 лет, до сих пор не имеется точного обоснования этиологии развития данного заболевания.

Большое внимание в развитии данной патологии уделяется строению сосудистой стенки, в частности внутренней оболочки — *tunica intima*.

На современном этапе развития науки большинство в ней уделяется экспресс — методам анализа различных патологий. К таким методам можно отнести: ИК — Фурье спектроскопию, с помощью которой можно производить качественный и количественный анализы различных химических соединений в конкретных биологических тканях и жидкостях [1–3].

Подготовка биологического материала для исследования включала в себя несколько этапов:

- взятие материала размером $1 \times 1 \text{ см}^2$;
- погружение материала в изотонический (0,9%) раствор натрия хлорида;
- изготовление среза;
- термическая обработка образца (глубокое замораживание в жидком азоте);

— срезание слоя материала толщиной 15 мкм с помощью микротомата;

— погружение срезов в изотонический (0,9%) раствор натрия хлорида;

— фиксация полученного среза на окно CaF_2 ;

— сушка полученного образца для исследования в течение 10–15 минут при комнатной температуре.

После проведения всех этапов подготовки материала осуществлялась регистрация спектра с помощью ИК-Фурье спектрометра (ФСМ 1201, ООО «Инфраспек», Россия), с последующим анализом и оценкой полученных результатов [4–7].

На рисунке 1 представлен типичный ИК-спектр пропускания *tunica intima* сосудов человека, препарат которых был подготовлен по вышеизложенной методике.

Полосы поглощения, соответствующие частотам 1678, 1550, 1246 см^{-1} , относятся к амидным I, II и III колебаниям. Частота 1678 см^{-1} соответствует валентным $\text{C}=\text{O}$ колебаниям ($\nu_{\text{C}=\text{O}}$, амид I), частота 1550 см^{-1} — валентным CN и деформационным NH колебаниям ($\nu_{\text{CN}} + \delta_{\text{NH}}$, амид II), а частота 1246 см^{-1} — валентным CNH ко-

Таблица 1. Полосы пропускания типичного ИК-спектра *tunica intima* сосудов человека

Волновое число, см^{-1}	Типы колебаний	Основные соединения
3340	H_2O	вода
2932	$\nu_a \text{CH}_3$	жиры
2140	$\nu_{\text{C}=\text{C}}$	жиры
1678	Амид I ($\nu_{\text{C}=\text{O}}$)	белки (коллаген, эластин)
1550	Амид II ($\nu_{\text{CN}} + \delta_{\text{NH}}$)	белки (коллаген, эластин)
1454	δ	жиры
1246	Амид III (ν_{CNH})	белки (коллаген, эластин)

* условные обозначения колебаний: ν — валентные; δ — деформационные; s — симметричные; a — асимметричные; ρ — маятниковые

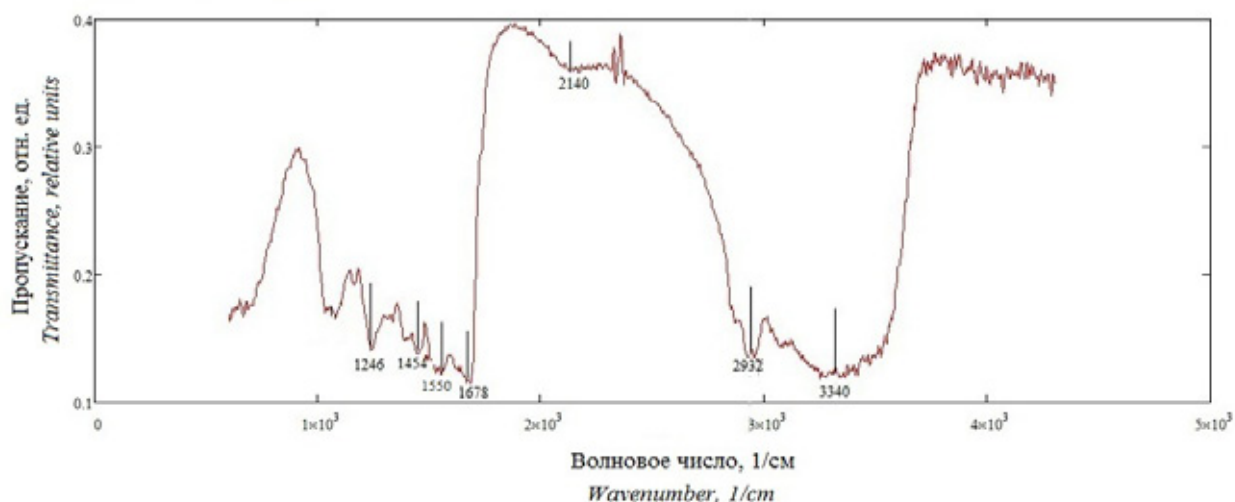


Рис. 1. Типичный ИК-спектр пропускания tunica intima сосудов человека (на примере аорты)

лебаниям (ν_{CNH} , амид III). Полоса поглощения 3340 см^{-1} соответствует H_2O — вода. Частота 2932 см^{-1} , 2140 см^{-1} , 1454 см^{-1} соответствует молекулам белков.

На рисунке 2 представлен типичный ИК-спектр пропускания tunica intima сосудов человека на примере бедренной артерии.

Таблица 2. Полосы пропускания типичного ИК-спектра tunica intima сосудов человека

Волновое число, см^{-1}	Типы колебаний	Основные соединения
3325	H_2O	вода
2943	$\nu_{\text{C}}\text{H}_3$	жиры
1666	Амид I ($\nu\text{C}=\text{O}$)	белки (коллаген, эластин)
1539	Амид II ($\nu\text{CN} + \delta\text{NH}$)	белки (коллаген, эластин)
1446	δ	жиры
1238	Амид III (ν_{CNH})	белки (коллаген, эластин)

* условные обозначения колебаний: ν — валентные; δ — деформационные; s — симметричные; a — асимметричные; ρ — маятниковые

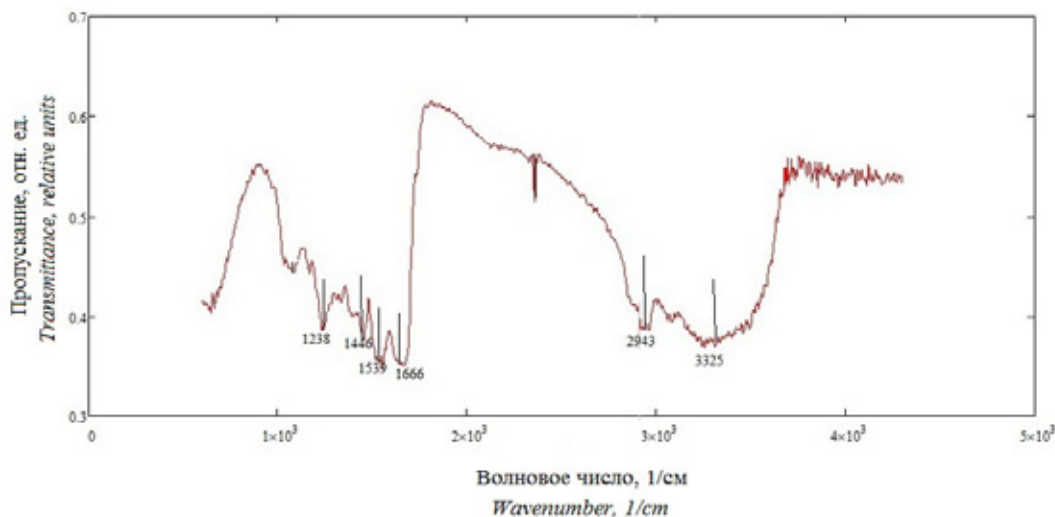


Рис. 2. Типичный ИК-спектр пропускания (на примере бедренной артерии)

Таблица 3. Полосы пропускания типичного ИК-спектра *tunica intima* сосудов человека

Волновое число, см ⁻¹	Типы колебаний	Основные соединения
3314	H ₂ O	вода
2932	ν_a CH ₃	жиры
1666	Амид I (ν C=O)	белки (коллаген, эластин)
1547	Амид II (ν CN + δ NH)	белки (коллаген, эластин)
1454	δ	жиры
1238	Амид III (ν CNH)	белки (коллаген, эластин)

* условные обозначения колебаний: ν — валентные; δ — деформационные; s — симметричные; a — асимметричные; ρ — маятниковые

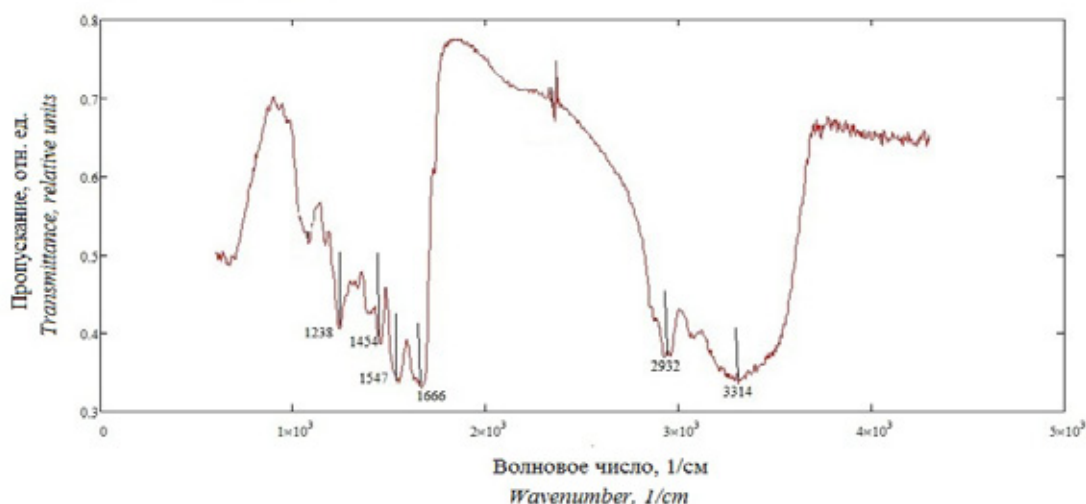


Рис. 3. Типичный ИК-спектр пропускания (на примере плечевой артерии)

Полосы поглощения, соответствующие частотам 1666, 1539, 1238 см⁻¹, относятся к амидным I, II и III колебаниям. Частота 1666 см⁻¹ соответствует валентным C=O колебаниям ($\nu_{C=O}$, амид I), частота 1539 см⁻¹ — валентным CN и деформационным NH колебаниям ($\nu_{CN} + \delta_{NH}$, амид II), а частота 1238 см⁻¹ — валентным CNH колебаниям (ν_{CNH} , амид III). Полоса поглощения 3325 см⁻¹ соответствует H₂O — вода. Частота 2943 см⁻¹, 1446 см⁻¹ соответствует молекулам белков.

На рисунке 3 представлен типичный ИК-спектр пропускания *tunica intima* сосудов человека на примере плечевой артерии.

Полосы поглощения, соответствующие частотам 1666, 1547, 1238 см⁻¹, относятся к амидным I, II и III колебаниям. Частота 1666 см⁻¹ соответствует валентным C=O колебаниям ($\nu_{C=O}$, амид I), частота 1547 см⁻¹ — валентным CN и деформационным NH колебаниям ($\nu_{CN} + \delta_{NH}$, амид II), а частота 1238 см⁻¹ — валентным CNH колебаниям (ν_{CNH} , амид III). Полоса поглощения 3314 см⁻¹ соответствует H₂O — вода. Частота 2932 см⁻¹, 1454 см⁻¹ соответствует молекулам белков.

Таким образом, с помощью ИК-Фурье спектроскопии исследованы особенности состава сосудов человека.

Литература:

1. Агейкин, А.В. Сравнительный анализ атеросклеротического поражения бедренной и плечевой артерий с помощью метода ИК-Фурье спектроскопии // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2014. №9. с. 344–346.
2. R. Manoharan, J. Baragac, R. Rava et al. Biochemical analysis and mapping of atherosclerotic human artery using FT-IR microspectroscopy // Atherosclerosis 103 (1993) 181–193.
3. Агейкин, А.В., Пронин И.А. Диагностика заболеваний желудочно-кишечного тракта человека по выдыхаемому воздуху с помощью массива полупроводниковых газовых сенсоров // Молодой ученый. 2014. № 12 (71). с. 383–384.

4. D. L. Wetzel, Biomedical Applications of Infrared Microspectroscopy and Imaging by Various Means, in Biomedical Vibrational Spectroscopy, eds. P. Lasch and J. Kniepp, Wiley, New York, 2008, Ch. 3, pp. 39–77.
5. Мельников, В.Л., Рыбалкин С.Б., Митрофанова Н.Н., Агейкин А.В. Некоторые клинико-эпидемиологические аспекты течения атопического дерматита на территории пензенской области // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 10–5. с. 936–940.
6. D. L. Wetzel, G. R. Post and R. A. Lodder, Synchrotron infrared microspectroscopic analysis of collagens I, III, and elastin on the shoulders of human thin-cap fibroatheromas, *Vib. Spectrosc.*, 2005, 38, 53–59.
7. Якушова, Н.Д. Модифицирование селективных и газочувствительных свойств сенсоров путем легирования // *Молодой ученый*. 2013. № 8. с. 32–34.

Исследование сухожилий человека с помощью ИК-Фурье спектрометра и анализ инфракрасного спектра

Лиманская Анастасия Юрьевна, студент;
 Аверин Игорь Александрович, доктор технических наук, профессор
 Пензенский государственный университет

Сухожилия состоят из параллельных пучков. Пучки первого порядка, окружены прослойками рыхлой соединительной ткани и составляют пучок второго порядка. Группа пучков второго порядка образует пучок третьего порядка. Сухожилия состоят из плотной волокнистой соединительной ткани, в них больше волокнистых элементов, чем клеточных.

Защитой сухожилий от разрыва при резких движениях и перенапряжениях служит продольная эластичность сухожильной ткани.

Сухожилия должны быть эластичными, потеря этого свойства приводит к смещению внутренних органов, изменению природных форм, образованию узлов и уплотнений. Чтобы выявить патологию сухожилий используют методы — пальпацию, термографию, ультразвуграфию, биопсию.

При поражении сухожилий внутри сустава эффективно применение артроскопии. Аномалии развития сухожилий являются последствием пороков развития опорно-двигательного аппарата, атипичного хода или необычного их крепления. Поэтому разработка новых типов экспресс-исследований качественного и количественного состава биологических тканей сухожилий представляет большой

практический интерес. Для исследования образцов нами был применен метод ИК-Фурье спектроскопии, как один из самых перспективных [1–4].

Подготовка биологического материала для исследования включала в себя несколько этапов [5]:

- взятие материала размером 1×1 см²;
- погружение материала в изотонический (0,9%) раствор натрия хлорида;
- изготовление среза;
- термическая обработка образца (глубокое замораживание в жидком азоте);
- срезание слоя материала толщиной 15 мкм с помощью микротомы;
- погружение срезов в изотонический (0,9%) раствор натрия хлорида;
- фиксация полученного среза на окно CaF₂;
- сушка полученного образца для исследования в течение 10–15 минут при комнатной температуре.

После проведения всех этапов подготовки материала осуществлялась регистрация спектра с помощью ИК-Фурье спектрометра (ФСМ 1201, ООО «Инфраспек», Россия), с последующим анализом и оценкой полученных результатов.

Таблица 1. Полосы пропускания типичного ИК-спектра tunica intima сухожилия человека

Волновое число, см ⁻¹	Типы колебаний	Основные соединения
3302	H ₂ O	вода
2936	ν _с CH ₃	жиры
2137	ν _{с=с}	жиры
1647	Амид I (ν _{с=о})	белки (коллаген, эластин)
1547	Амид II (ν _{сн} + δ _{нн})	белки (коллаген, эластин)
1246	Амид III (ν _{снн})	белки (коллаген, эластин)

* условные обозначения колебаний: ν — валентные; δ — деформационные; s — симметричные; a — асимметричные; ρ — маятниковые

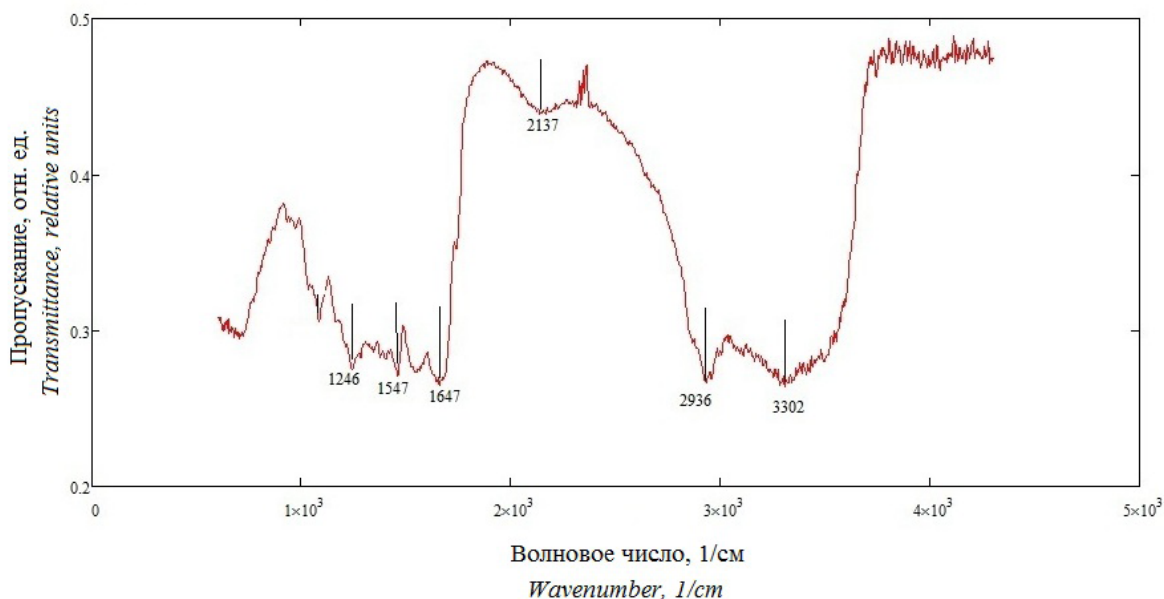


Рис. 1. Типичный ИК-спектр пропускания (на примере сухожилия)

На рисунке 1 представлен типичный ИК-спектр пропускания сухожилия человека, препарат которой был подготовлен по вышеизложенной методике.

Полосы поглощения, соответствующие частотам 1647, 1547, 1246 см⁻¹, относятся к амидным I, II и III колебаниям. Частота 1647 см⁻¹ соответствует валентным C=O колебаниям ($\nu_{C=O}$, амид I), частота 1547 см⁻¹ — ва-

лентным CN и деформационным NH колебаниям ($\nu_{CN} + \delta_{NH}$, амид II), а частота 1246 см⁻¹ — валентным CNH колебаниям (ν_{CNH} , амид III). Полоса поглощения 3302 см⁻¹ соответствует H₂O — вода. Частота 2936 см⁻¹, 2137 см⁻¹ соответствует молекулам белков.

Таким образом, предложена методика исследования сухожилий человека методом ИК-Фурье спектроскопии.

Литература:

1. Агейкин, А. В. Сравнительный анализ атеросклеротического поражения бедренной и плечевой артерий с помощью метода ИК-Фурье спектроскопии // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2014. №9. с. 344–346.
2. R. Manoharan, J. Baragac, R. Rava et al. Biochemical analysis and mapping of atherosclerotic human artery using FT-IR microspectroscopy // *Atherosclerosis* 103 (1993) 181–193.
3. Агейкин, А. В., Пронин И. А. Диагностика заболеваний желудочно-кишечного тракта человека по выдыхаемому воздуху с помощью массива полупроводниковых газовых сенсоров // Молодой ученый. 2014. №12 (71). с. 383–384.
4. Мельников, В. Л., Рыбалкин С. Б., Митрофанова Н. Н., Агейкин А. В. Некоторые клинико-эпидемиологические аспекты течения атопического дерматита на территории пензенской области // *Фундаментальные исследования*. 2014. №10–5. с. 936–940.
5. D. L. Wetzel, G. R. Post and R. A. Lodder, Synchrotron infrared microspectroscopic analysis of collagens I, III, and elastin on the shoulders of human thin-cap fibroatheromas, *Vib. Spectrosc.*, 2005, 38, 53–59.
6. Аверин, И. А., Карманов А. А., Пронин И. А., Печерская Р. М. Использование ИК-спектроскопии для анализа тонких стекловидных пленок, полученных золь-гель методом // В сборнике: УНИВЕРСИТЕТСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ Сборник статей XV Международной научно-методической конференции, посвященной 50-летию полета первого космонавта Ю. А. Гагарина. Под редакцией: В. И. Волчихина, Р. М. Печерской. 2011. с. 227–228.
7. Якушова, Н. Д. Модифицирование селективных и газочувствительных свойств сенсоров путем легирования // Молодой ученый. 2013. №8. с. 32–34.
8. Зверева, И. Ю., Аверин И. А., Карманов А. А., Пронин И. А. Влияние типа подложки на свойства тонких пленок ZnO, синтезированных золь-гель методом // В сборнике: УНИВЕРСИТЕТСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ XVIII Международная научно-методическая конференция, посвященная 200-летию со дня рождения М. Ю. Лермонтова. под ред. А. Д. Гулякова, Р. М. Печерской. Пенза, 2014. с. 286–288.

Система поиска сходства шаблонизированных строк

Агеева Светлана Полиектовна, магистрант
Вологодский государственный технический университет

С каждым годом увеличивается количество информации, хранящейся в электронном виде. Вводится электронный документооборот в организациях и на предприятиях, студенты в учебных заведениях сдают курсовые и дипломные работы в электронном виде. В связи с этим появляется необходимость в использовании удобных автоматизированных поисковых систем.

Автоматизированная поисковая система (АПС) — система, состоящая из персонала и комплекса средств автоматизации его деятельности, реализующая информационную технологию выполнения установленных функций [1].

Основная цель любой поисковой системы — поиск информации, удовлетворяющей запросу пользователя. Необходимо в результате поиска ничего не потерять, то есть найти все документы, относящиеся к запросу, и не найти ничего лишнего.

Примерами АПС являются системы поиска Google, Яндекс, Rambler, системы поиска плагиата. В основном данные системы рассчитаны на поиск файлов, документов, хранящихся в их базах данных. Кроме того, такие системы не раскрывают свои алгоритмы работы.

Проблема поиска сходства также встает при работе сайта частных объявлений. Жизнеспособность такого сайта зависит от количества размещенных на них объявлений. Поэтому, чтобы привлечь клиентов, вводится услуга бесплатных объявлений. Данные объявления можно подавать неограниченное количество с одного аккаунта сроком на двадцать восемь дней. Сообщения на вершине списка обладают большей популярностью, поэтому для продвижения своей услуги некоторые пользователи подают свое объявление в разные промежутки времени, удерживая его выше других. Это вредит как другим пользователям (по запросу они могут получить много одинаковых записей, что оттолкнет их к конкурентам), так и сайту (при потере клиентов он утратит свою жизнеспособность).

Поэтому поставлен вопрос о поиске дублирующихся объявлений, которые подаются на сайт частных объявлений. Дублирующееся объявление — это не только копия ранее поданного, но и объявление, отличающееся от исходного одним-двумя неключевыми словами. Данная задача преследует цель не заполнения базы данных повторяющейся информацией, и предоставление пользователям, которые ищут какую-либо услугу, разные объявления.

Решением на поставленный вопрос не может быть ни одна из приведенных выше АПС, так как, во-первых, область поиска каждой из них — своя база данных; во-вторых, алгоритмы работы скрыты и защищены; в-третьих, необходим поиск по строке, а не по тексту (то есть в данном случае имеют место разные параметры критериев поиска таких, как полнота, точность); в-четвертых, в случае поиска дублирующихся объявлений работа ведется с шаблонизированными строками, что, несомненно, необходимо использовать.

Поэтому целью исследования является определение и разработка механизма поиска сходства шаблонизированных строк, в основу работы которого заложены алгоритмы нечеткого поиска дубликатов

Для достижения поставленной цели были поставлены и решены следующие задачи:

1. Анализ существующих систем поиска
2. Анализ алгоритмов определения строк-дубликатов
3. Определение алгоритмов, подходящих для работы с шаблонизированными строками
4. Определение методов работы с алгоритмами
5. Построение автоматизированной системы поиска

Несмотря на повсеместное использование АПС, для локальной задачи поиска сходства строк решения не найдено: системы поиска плагиата — почти все являются платными продуктами со скрытым программным кодом, а такие общедоступные системы, как Google или Яндекс, сложно применить к частной задаче. И, конечно, алгоритм работы ни одна из широко используемых систем не разглашает.

Далее сформируем список алгоритмов нечеткого поиска, которые могут быть использованы в поиске строк-дубликатов: алгоритм шинглов и алгоритм Вагнера-Фишера.

Алгоритм шинглов — алгоритм, разработанный для поиска копий и дубликатов рассматриваемого текста в веб-документе, мощный инструмент, призванный бороться с проявлениями плагиата в интернете.

Уди Манбер в 1994 г. первым в мире выразил идею поиска дубликатов, а в 1997 г. Андрей Бродер оптимизировал и довел её до логического завершения, дав имя данной системе — «алгоритм шинглов».

Этапы, которые проходит текст, подвергшийся сравнению:

- канонизация текста;
- разбиение на шинглы;
- вычисление хэшей шинглов;

- случайная выборка 84 значений контрольных сумм;
- сравнение, определение результата.

Канонизация текста приводит оригинальный текст к единой нормальной форме. Текст очищается от предлогов, союзов, знаков препинания, HTML тегов, и прочего не нужного «мусора», который не должен участвовать в сравнении. В большинстве случаев так же предлагается удалять из текста прилагательные, так как они не несут смысловой нагрузки.

Шинглы (англ. чешуйки) — выделенные в тексте подпоследовательности слов. Необходимо из сравниваемых текстов выделить подпоследовательности слов, идущих друг за другом по 10 штук (длина шингла). Выборка происходит внахлест, а не встык. Таким образом, разбивая текст на подпоследовательности, получается набор шинглов в количестве равному количеству слов минус длина шингла плюс один ($\text{кол_во_слов} - \text{длина_шингла} + 1$).

Принцип алгоритма шинглов заключается в сравнении случайной выборки контрольных сумм шинглов (подпоследовательностей) двух текстов между собой.

Проблема алгоритма заключается в количестве сравнений, ведь это напрямую отражается на производительности. Увеличение количества шинглов для сравнения характеризуется экспоненциальным ростом операций, что критически отразится на производительности [2].

Алгоритм Вагнера-Фишера использует одну из наиболее часто применяемых метрик — расстояние Левенштейна. Расстояние Левенштейна (также редакционное расстояние или дистанция редактирования) между двумя строками в теории информации и компьютерной лингвистике — это минимальное количество операций вставки одного символа, удаления одного символа и замены одного символа на другой, необходимых для превращения одной строки в другую [3].

Впервые задачу упомянул в 1965 году советский математик Владимир Иосифович Левенштейн при изучении последовательностей 0–1. Впоследствии более общую задачу для произвольного алфавита связали с его именем. Большой вклад в изучение вопроса внес Дэн Гасфилд.

Расстояние Левенштейна и его обобщения активно применяется:

- для исправления ошибок в слове (в поисковых системах, базах данных, при вводе текста, при автоматическом распознавании отсканированного текста или речи).
- для сравнения текстовых файлов утилитой diff и ей подобными. Здесь роль «символов» играют строки, а роль «строк» — файлы.
- в биоинформатике для сравнения генов, хромосом и белков.

Алгоритм Вагнера-Фишера предложен Р. Вагнером и М. Фишером в 1974 году.

Для нахождения кратчайшего расстояния необходимо вычислить матрицу D , используя формулу:

Пусть $S1$ и $S2$ — две строки (длиной M и N соответственно) над некоторым алфавитом, тогда редакционное расстояние (расстояние Левенштейна) $d(S1, S2)$ можно подсчитать по следующей рекуррентной формуле

$d(S1, S2) = D(M, N)$, где

$$D(i, j) = \begin{cases} 0 & ; i = 0, j = 0 \\ i & ; j = 0, i > 0 \\ j & ; i = 0, j > 0 \\ \min \begin{pmatrix} D(i, j - 1) + 1, \\ D(i - 1, j) + 1 \\ D(i - 1, j - 1) + m(S1[i], S2[j]) \end{pmatrix} & ; j > 0, i > 0 \end{cases},$$

где $m(a, b)$ равно нулю, если $a = b$ и единице в противном случае; $\min(a, b, c)$ возвращает наименьший из аргументов [4].

Далее рассмотрим такое понятие как шаблонизированные строки.

Шаблонизированная строка — строка, атрибуты которой выбираются из списка возможных значений шаблона. Какой шаблон использовать, на сайте частных объявлений, определяется в зависимости от выбранной рубрики. Например, для рубрики «Транспорт» подтянется шаблон с такими атрибутами, как «Марка», «Модель», «Тип кузова» и др., а для рубрики «Работа» — «Должность», «Сфера деятельности», «Отрасль» и т. д. К каждому атрибуту шаблона привязан список всех возможных значений, при выборе которых и сформируется строка.

Исходя из того, что на сайте частных объявлений используются шаблонизированные строки применять алгоритм шинглов в описанной выше последовательности, считаю не совсем подходящим для поставленной задачи: строка объявления — это небольшой текст, который по размерам нельзя сравнить с текстом статьи или текстом html-странички. Поэтому в алгоритм предлагается внести некоторые изменения и реализовать три его вариации:

1. Метод основан на сравнении соответствующих шинглов двух строк. Сначала вычисляется множество 5-символьных шинглов (если в конце строки не хватает символов, берем их с начала). Затем сравниваются полученные шинглы, и по количеству совпавших определяется степень схожести.

2. Второй вариант алгоритма шинглов. Строка объявления — специфическая строка — она состоит из строго определенного набора слов (для объявления пользователь выбирает подходящие слова из предоставленного набора, самостоятельно набирает лишь дополнительную информацию). Для шинглов выбираются слова, соответствующие атрибуты которых участвуют в обеих строках.

3. Метод основан на «шинглировании» логарифмической выборки из исходного множества шинглов, такой, которая оставляет шинглы, делящиеся без остатка на степени небольшого числа. Сначала вычисляется множество всех 2-словных шинглов (слова в конце строки «заворачиваются» на начало). Затем из этого множества отбираются шинглы, делящиеся на степень числа 2.

Для алгоритма Вагнера-Фишера и его вариации отсечения Укконена также принято решение воспользоваться специфичностью строки-объявления: редакционное расстояние будет вычисляться не посимвольно, а поатрибутно.

Результаты исследования будут реализованы в виде модуля (рис. 1.).

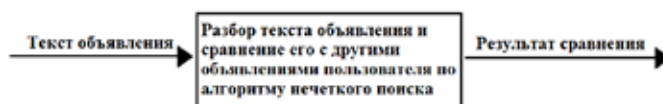


Рис. 1. Работа модуля поиска сходства

Работа сайта частных объявлений после внедрения модуля будет следующей (рис. 2.)



Рис. 2. Алгоритм работы сайта частных объявлений после внедрения модуля

Необходимо отметить, что одной из главных частей работы, является часть, в которой клиенту выдается на обозрение список объявлений, считающихся похожими, то есть ему не просто запретят подавать новое объявление, но покажут причину запрета. Далее клиенту можно предложить два варианта на выбор, либо он повторяет одно из ранее поданных объявлений, либо, если считает, что список неверен, передает свое новое объявление модератору, который уже сам решит дубликат объявление или нет.

В результате после внедрения модуля сайт приобретет проверку на похожесть подаваемого объявления с ранее поданными, это обеспечит не заполнение базы данных «лишними» строками, пользователи сайта будут видеть только уникальный контент, а те, кто подают объявления, получают удобный сервис по работе с повторяющимися объявлениями.

Литература:

1. Агеева, С.П. Автоматизированные поисковые системы // Современные тенденции развития науки и производства: Сб. материалов Международной научно-практической конференции (23–24 октября 2014 года) — в 4-х томах, Том 3, — Кемерово: ООО «ЗапСибНЦ», 2014—164 с. (Сборник)
2. Алгоритм шинглов // Википедия [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/Алгоритм_шинглов
3. Нечёткий поиск в тексте и словаре // Хабрахабр [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://habrahabr.ru/post/114997/>
4. Расстояние Ливенштейна // Википедия [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/Расстояние_Левенштейна

Анализ определения подлинности документа на различных этапах проверки

Адилжанова Айгуль Белгожакызы, магистрант

Научный руководитель: Ибраева Ж.. Е., кандидат химических наук, доцент

При изготовлении конкретного вида документа разрабатываются комплексы защит, обеспечивающих устойчивость документа от несанкционированного воспроизведения (частичной или полной подделки). Защитный комплекс позволяет определить подлинность документа на различных этапах проверки. Выбор защитного комплекса зависит от того, какой документ производится.

По видам защита подразделяется на:

- технологическую;
- графическую;
- химическую;
- физическую;
- комбинированную.

В свою очередь, каждый из указанных видов объединяет конкретную группу методов. Рассмотрим аппаратные средства контроля документов и методы расчета конкретных свойств создаваемого объекта, а также совокупность методов, основанных на использовании в качестве защиты форм, размерных характеристик, приемов расположения и сочетания элементов графического изображения и методы защиты, сущность которых основана на свойствах химических веществ.

Технологический вид объединяет методы, в основе которых лежит расчет конкретных свойств создаваемого объекта. К таким методам могут относиться:

- расчетный состав бумаги;
- заданный состав красящих веществ;
- поверхностная обработка бумажного полотна;
- водяной знак;
- заданный состав в бумажной массе цветных и люминесцирующих волокон либо других включений, например конфетти;
- заданная комбинация защитных включений;
- полиграфическая рельефная печать;

Кирр-эффект, характеризующий характер глубокой печати, распознаваемый при специальном освещении.

Графический вид защиты предопределяет совокупность методов, основанных на использовании в качестве защиты форм, размерных характеристик, приемов расположения и сочетания элементов графического изображения. При этом графическое изображение может быть как видимым, так и невидимым при обычном освещении и визуализироваться в ультрафиолетовых (УФ) и инфракрасных (ИК) лучах. К данным методам защиты могут относиться:

- псевдowodяной знак;
- гильоширные рамки;
- гильоширные розетки;
- микротекст;

- защитные сетки;
- нерегулярный растр;
- асьюре, корро;
- различные по форме и сочетанию шрифты;
- комбинированное растривание;
- комбинация различных по форме и виду защитных сеток;
- специально вынесенные на микроуровне дефекты графических элементов;
- псевдowodяная;
- несимметричное расположение графического изображения.

Химический вид защиты бланков ценных бумаг объединяет методы защиты, сущность которых основана на свойствах химических веществ вступают в химические реакции с другими соединениями с возможностью контроля результата:

- метод цветной реакции.

Физический вид защиты включает методы защиты, основанные на физических свойствах объектов и веществ. Методы данного вида разнообразны и могут определяться следующим:

- изменением формы поверхности элементов бланка ценных бумаг (конгревное тиснение);
- меточными элементами с голограммами и метограммами;
- усилением либо гашением люминесценции поверхности бланка ценной бумаги;
- люминесценцией веществ с различным квантовым выходом;
- комбинацией веществ люминесцирующих с различной цветовой гаммой;
- свечением веществ в ИК-, УФ- и СЗС-лучах;
- использованием веществ с различными магнитными свойствами.

Комбинированный вид защиты представляет собой использование различных видов защиты в сочетании:

с использованием метода пластической деформации поверхности объекта в сочетании с изображением (конгревное тиснение + гильоширная розетка);

с введением люминесцирующих веществ в красящее вещество сеток, гильоширных рамок, розеток и т. д.;

- с химолюминесценцией.

Аппаратурные средства контроля документов позволяют выявить перечисленные признаки подлинности документов и характерные признаки частичной или полной их подделки.

Полная подделка документа, при которой достигается полное сходство с подлинником, требует от преступника,

помимо определенного навыка, располагать необходимыми для этого материалами, шрифтами, аналогичными печатными устройствами и т. д. В силу этого подделка документов, изготовленных на полиграфическом предприятии с использованием современной техники и реализацией определенных средств защиты, представляется достаточно сложной задачей для отмеченной категории лиц. По этой причине полная подделка бланков документов, выполненная с воспроизведением всей системы защиты, встречается крайне редко. Более часты случаи воспроизведения бланков, в той или иной степени имитирующих подлинный бланк.

Основными наиболее часто имитируемыми элементами (средствами) защиты бланков документов являются водяной знак, полоса безопасности, волокна, элементы полиграфической защиты.

Частичная подделка заключается во внесении отдельных изменений в подлинный документ. Такие изменения вносятся путем:

- подчистки;
- химического травления текста;
- дописки, допечатки, исправления текста;
- замены частей документа (фотокарточки, листов в многостраничных документах);
- подделки подписей, оттисков печатей и штампов.

Аппаратурные средства контроля документов позволяют также восстанавливать изображения, случайно или умышленно скрытые под заливками красителей или под клееными листами документов. Известно, что по степени криминогенной пораженности лидерство в нашей стране устойчиво держит финансово-кредитная система. На ведущее место выходят преступления с использованием фиктивных банковских гарантий, поддельных векселей, аккредитивов и т. п. Зафиксированные правоохранительными органами масштабы использования поддельных документов подтверждают эффективность применения преступным сообществом современных технологий и вычислительных средств. Доступность приобретения таких средств, как компьютер со стандартным программным обеспечением, лазерный или струйный принтер, ксерокс или ризограф, значительно упрощает возможность фальсификации документов.

Изготовление фальшивых печатей носит в настоящее время массовый характер. Технология изготовления клише настолько проста, что их производство может быть

организовано на любой кухне. Подлинность документа устанавливается исключительно при проведении криминалистических исследований в процессе его идентификации. Данного рода исследования проводятся всегда в сравнении исследуемого документа с подлинником.

Существует следующий алгоритм проведения исследований:

- визуальный осмотр документа при дневном рассеянном свете;
- определение геометрических размеров, наличие и расположение элементов графического рисунка;
- исследование документа на просвет;
- исследование документа в косо падающем свете;
- изучение документа с использованием микроскопа, источника ультрафиолетового излучения, инфракрасного визуализатора, прибора для магнитооптического контроля (в определенных случаях могут использоваться лазерная техника и электронная микроскопия);
- если документ имеет химическую защиту, то на последнем этапе, так как это происходит в большинстве случаев с нарушением собственно документа или его части, проводятся химические исследования;
- в первую очередь проводится исследование документа на выявление комплекса защит, внесенных в него при изготовлении и выпуске в эксплуатацию.

В процессе изучения объекта в основном ищут различия, а не сходство.

Наиболее распространенный в настоящее время способ изготовления фальшивых денег — грубая подделка. Для изготовления банкнот используются цветные принтеры или копировальные аппараты. Купюры получаются откровенно плохого качества и рассчитаны на сбыт в темное время суток или в специально создаваемых ситуациях. Второй тип фальшивых купюр, выполненных с помощью полиграфического оборудования и компьютерной техники в мини-типографиях, относится к среднему качеству. Такие изделия имеют некоторые элементы защиты, например микротекст, а также грубую подделку ультрафиолетовой и инфракрасной защит.

Следующий способ — суперподделки. При их изготовлении воспроизводится технологический процесс, включая способ печати, состав бумаги, элементы защиты, водяные знаки и т. п. Эффективно решить проблему выявления фальшивок и подделок позволяют специальные опико-электронные системы — видеоконпараторы.

Литература:

1. Ключев, В. В., Соснин Ф. Р., Ковалев А. В. и др. Неразрушающий контроль и диагностика. 2-е изд., переработанное и дополненное. М.: Машиностроение, 2003.
2. Шорников, О. О. Исследование документов на подлинность. — Бизнес и безопасность в России, 2000.
3. Гусев, А. А. Как распознать подделку. — Частный сыск, охрана и безопасность, 1994, № 5 (15).
4. Стефанов, С. Подделка, копия или репродукция. www.aqualon.ru
5. Савин, А. Доллар «серой» сборки. — Известия, 1997.

Методика решения задач технологической подготовки в средних образовательных учреждениях

Бузинаев Данил Юрьевич, студент;

Филиппенко Николай Григорьевич, кандидат технических наук, доцент;

Попов Сергей Иванович, кандидат технических наук, доцент

Иркутский государственный университет путей сообщения

В статье рассматривается актуальность технологической подготовки специалистов машиностроительных специальностей и методика их обучения».

Ключевые слова: машиностроение, обучение, недостатки, методика.

Изучение предметов технологического направления в школе сосредоточено на решение следующих задач:

— стимулирование и развитие любознательности, интереса к технике, миру профессий, потребности познавать культурные традиции своего региона, России и других государств;

— формирование мотивации успеха и достижений, творческой самореализации, интереса к предметно-преобразующей, художественно-конструкторской деятельности;

— формирование первоначальных конструкторско-технологических знаний и умений;

— развитие знаково-символического и пространственного и творческого мышления;

формирование внутреннего плана деятельности на основе поэтапной отработки предметно-преобразовательных действий, включающих целеполагание, планирование (умение составлять план действий и применять его для решения учебных задач), прогнозирование (предвосхищение будущего результата при различных условиях выполнения действия), контроль, коррекцию и оценку. [1]

Личностными результатами изучения технологии являются воспитание и развитие социально и личностно значимых качеств, индивидуально-личностных позиций, ценностных установок, раскрывающих отношение к труду, систему норм и правил межличностного общения, обеспечивающую успешность совместной деятельности.

Металло-предметными результатами изучения технологии является освоение учащимися универсальных способов деятельности, применимых как в рамках образовательного процесса, так и в реальных жизненных ситуациях.

Предметными результатами изучения технологии являются доступные по возрасту начальные сведения о технике, технологиях и технологической стороне труда, об основах культуры труда, элементарные умения предметно-преобразовательной деятельности, знания о различных профессиях и умения ориентироваться в мире профессий, элементарный опыт творческой и проектной деятельности.

В сложных условиях современного этапа развития школы данные задачи не получили необходимого теорети-

ческого и методического обеспечения, что привело к стагнации и, в соответствии с законами развития открытых систем, постепенному разрушению интегративной структуры технологической подготовки школьников. От нее стали отделяться разделы экономических, информационных, художественно-графических, профориентационных и других технологий, в результате чего образовательная область «Технология» фактически сокращалась до исходного уровня ремесленного трудового обучения в 5–7 классах. Дальнейшее развитие событий в этом направлении может привести к выводу технологии из базисного учебного плана (БУП) школы и ее переводу на уровень национально-регионального или школьного компонентов обучения.

Распад системы технологической подготовки школьников в определенной степени объясняется противоборством интересов различных предметов БУП, которое особенно обострилось в связи с введением ЕГЭ. Дело в том, что сосредоточившись в основном на изучении достаточно узкого круга вопросов, не участвуя в реализации задач большей части учебных предметов базисного учебного плана, «Технология» сама постепенно утратила перспективы занять системообразующие позиции в базовой подготовке учащихся основной школы и профильном обучении старшеклассников.

На сегодняшний день, не оказывая помощи в осуществлении практического обучения школьников в иных, кроме бытовой сферах деятельности, технология передала реализацию этих функций другим дисциплинам. Эти предметы вынуждены в силу своих возможностей решать задачи модернизации образования на традиционных основах теоретического обучения, что фактически и наблюдается в современной школе, а «Технология» практически оказалась отодвинутой на обочину образования.

Мальчики городских школ занимаются в учебных мастерских в основном обработкой древесины. В некоторых школах, где есть необходимые условия, проводятся электротехнические работы. Девочки занимаются обслуживающим трудом на примере обработки тканей, кулинарии, ухода за домом. Трудовое обучение в сельской школе характерно изучением сельскохозяйственного и технического труда (мальчики), и сельскохозяйственного и обслуживающего труда (девочки) [2].

В последние годы из-за финансовых трудностей школьные мастерские практически не пополняются учебным оборудованием, инструментом, материалами. Распались связи и практически отсутствует взаимодействие педагогических коллективов с ВУЗами, предприятиями, хозяйствами в вопросах профориентации и профессиональной подготовки школьников

Существовавшая ранее система материально-технического обеспечения предмета «Трудовое и профессиональное обучение» с началом экономических реформ оказалась почти полностью разрушенной. Узаконенная Правительством страны в дореформенные годы шефская помощь школам от государственных предприятий и организаций фактически прекратилась.

Слабо решается одна из центральных задач внедрения образовательной области «Технология» — усиление влияния ее содержания на жизненные и профессиональные планы учащихся. Старшеклассники плохо осведомлены о возможностях региональных рынков труда, потребности в профессиональных кадрах, своей пригодности к выбранным профессиям. Подавляющее большинство выпускников ориентировано на получение высшего или среднего специального образования. Преимущественными направлениями в их выборе являются экономика, финансы и юриспруденция. Поступать в профессиональные училища намереваются лишь 5–10% из них [2].

Показательно, что профессиональные интересы и намерения учащихся сельских школ заметно отличаются от их городских сверстников. Более трети юношей и девушек на селе заинтересованы в получении сельскохозяйственной профессии, 30% хотели бы овладеть углубленными технологическими знаниями и умениями именно для эффективного ведения личного подсобного и возможно фермерского хозяйства.

Остается острой и проблема педагогических кадров для преподавания технологии. Число их в школах заметно сократилось. Это вызвано во многих случаях выходом из строя учебно-материальной базы мастерских, а также низким уровнем оплаты труда.

Негативным фактором для педагогов являются также сложности учебно-методического обеспечения процесса обучения технологиям. Малые тиражи учебной и методической литературы, высокая цена делают для большинства общеобразовательных учреждений и учителей недоступными научно-методические журналы, учебники и пособия.

В качестве доказательства вышеназванных проблемы авторами были проведены исследования состояния в одной из сельских школ Иркутской области.

На фотографиях (рис. 1, 2) видно, что состояние станков не соответствует возможностям нормальной организации процесса обучения. Отсутствие финансирования не позволяет произвести переоснащение станочного парка, обрести современное учебно-производственное оборудование. Занимаемые площади используются нерационально, оборудование размещено без учета современных требований планировки ремонтно-производственных учебных помещений.

Такое состояние дел привело к невозможности создания сколь-нибудь приемлемого методического обеспечения, т. к. практически отсутствует база для проведения занятий.

В связи с этим актуальной целью настоящей работы стала разработка методики организации процесса обучения технологическим предметам в средних школах.

Ряд ВУЗов г. Иркутска и Иркутской области, традиционно проводят обучение студентов машиностроительным специальностям.

Выпускаемые специалисты в подавляющем большинстве ориентированы на работу на промышленных предприятиях, при этом совершенно упускается из виду сложность освоения студентами теоретических знаний, не подкрепленных (по вышеназванным причинам) практическими навыками. Курсовые и дипломные работы, производственные практики студентов, направленные на закрепление теоретических знаний, полученных по курсам машиностроительных специальностей ВУЗа, также зачастую остаются на уровне академических знаний. В результате отрыв между теоретиче-



Рис. 1. Состояние учебного парка станков

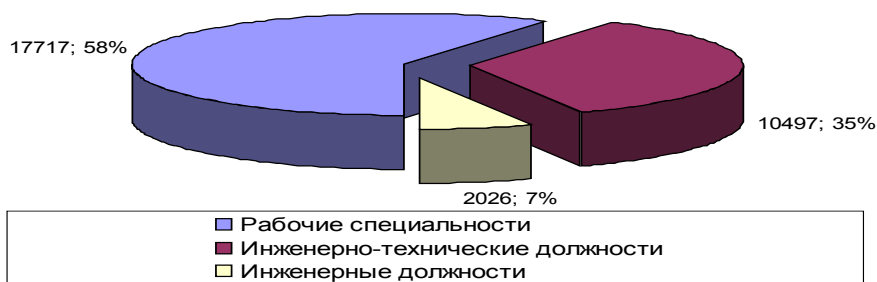


Рис. 2. Диаграмма востребованных специальностей Иркутской области по состоянию на 4 квартал 2104 года



Рис. 3. Изделия бытового назначения

скими знаниями и практическими навыками выпускников средних учебных заведений увеличивается при переходе их в систему высшего образования. Результатом такого обучения становится достаточно низкая квалификация выпускников ВУЗов и как результат — острая нехватка в стране работников инженерно-технического персонала.

Сложное положение подтверждается большим количеством инженерных вакансий и отсутствием квалификационных кадров [4] даже на передовых машиностроительных предприятиях. (рис. 2).

Исходя из изложенного, авторами была разработана методика, направленная на ориентацию студенческих работ курсового, практического и дипломного проектирования для решения проблем начального, среднего технологического обучения и профессиональной ориентации выпускников школ.

В ходе настоящих исследований авторами были обоснованы необходимые материалы, инструменты, детали, охватывающие основные операции процесса металлообработки. По согласованию с администрацией образовательных учреждений были выбраны типы изделий бытового назначения (Рис. 3), необходимые для организации процесса обучения и разработаны технологии их изготовления (ручки для ручного инструмента, гардины, винты).

На инициативно-договорной основе для организации процесса профессионального обучения были привлечены студенты старших курсов машиностроительных специальностей. Проведены работы по созданию школьных кружков ремонта, модернизации, автоматизации уже имеющегося парка учебного оборудования. Эти работы планируется провести с привлечением лабораторно-промышленного оборудования ВУЗа. Определены соответствующие темы дипломных работ студентов.

Кооперация ВУЗов и школ создала дополнительные возможности довузовской ориентации выпускников средних учебных заведений.

Разработанная авторами методика позволяет:

- организовать качественное обучение технологической подготовке учеников средних образовательных учреждениях;
- отчасти компенсировать недостатки в знаниях технологии учеников среднего образования и более полно реализовать возможности студентов машиностроительных специальностей в организационной и педагогической деятельности;
- более полно использовать имеющееся учебно-технологическое оборудование ВУЗов и школ;
- привить студентам навыки разработки нормативно-технической и методической документации.

Литература:

1. Курсовая работа по предмету педагогика <http://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=465255>

2. Россия в цифрах. 2007: Кр. Стат. сб./Росстат-М., 2007. с. 221–225
3. А.Д. Никифорова, Современные проблемы науки в области технологии машиностроения Издательство: Высшая школа — М., 2006, 392 с.
4. Отчет о реализации государственной программы Иркутской области «Труд и занятость» на 2014–2018 годы за 9 месяцев 2014 года, дата публикации 25.11.2014

Некоторые аспекты автоматизированных исследований фазовых превращений полимерных материалов

Буторин Денис Витальевич, студент;
 Филиппенко Николай Григорьевич, кандидат технических наук, доцент;
 Лившиц Александр Валерьевич, кандидат технических наук, доцент
 Иркутский государственный университет путей сообщения

В статье определена актуальность исследований фазовых превращений полимеров методом обработки токами высокой частоты.

Ключевые слова: фазовые превращения, полимеры, ВЧ-обработка, токи высокой частоты

На сегодняшний день особый интерес уделяется изучению свойств полимерных материалов, что объясняется их обширным внедрением в различные отрасли промышленности.

В последние годы усиленными темпами происходит замена ответственных металлоконструкций деталями из полимерных материалов. Это связано со следующими основными факторами:

- снижение энерго- и трудоёмкости изготовления;
- возможность их эксплуатации в агрессивных средах;
- дешевизна полимерных материалов.

Вышесказанное показывает актуальность исследовательских работ по дальнейшему совершенствованию процесса производства, хранения и эксплуатации изделий из полимерных материалов.

Решение данной проблемы осложнено отсутствием универсальной методики исследования свойств полимеров в зависимости от изменения температуры среды.

Фазовые переходы, сопровождающиеся изменением структуры материала, для современных конструкционных материалов на сегодняшний день не достаточно полно изучены.

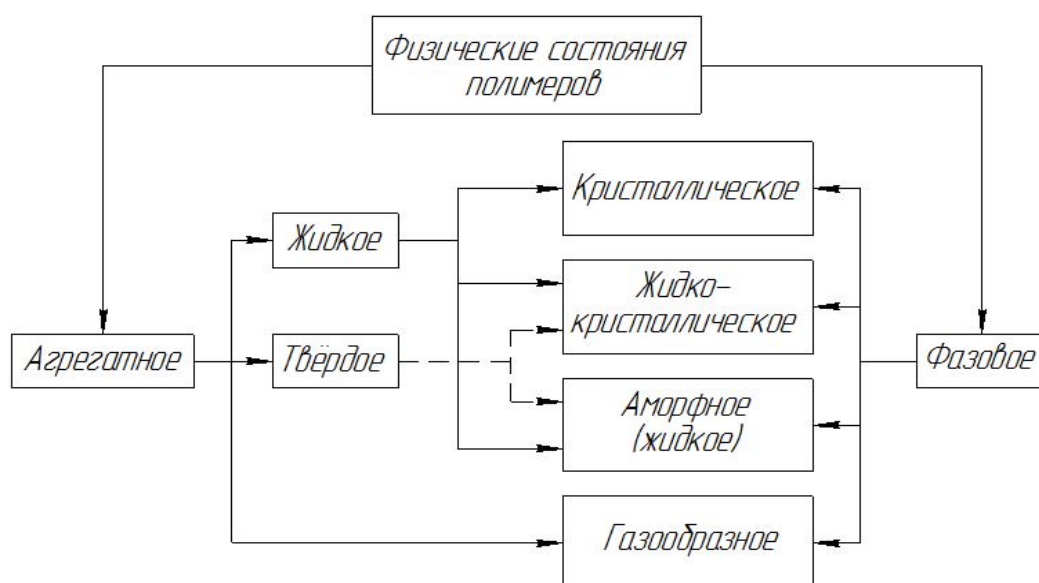


Рис. 1. Схема физических состояний и фазовых переходов полимеров

Известно, что полимеры могут находиться в нескольких фазовых состояниях (см. рис. 1): кристаллическое, жидкокристаллическое, аморфное (жидкое), газообразное.

Эренфест даёт следующую классификацию переходов [1, 3]: фазовые переходы первого и второго рода.

Такие фазовые переходы, как кипение, плавление или возгонка, сопровождаются скачкообразными изменениями внутренней энергии и объёма, т. е. поглощением или выделением скрытого тепла перехода, которые в свою очередь являются первыми производными от свободной энергии по температуре и давлению. Такие превращения были названы фазовыми переходами первого рода. Они характеризуются бесконечно большим возрастанием теплоёмкости в очень узкой области точки перехода, а причина этого состоит в том, что добавление теплоты к системе в точке фазового перехода не повышает температуру системы, а расходуется на перестройку системы.

При переходах второго рода внутренняя энергия вещества и его объём не изменяются в точке перехода и, следовательно, не происходит выделения или поглощения скрытой теплоты. Однако, свободная энергия системы при фазовых переходах второго рода имеет некоторую особенность, которая проявляется в том, что вторые производные (теплоёмкость и сжимаемость) становятся бесконечными.

Согласно теории Л.Д. Ландау, при фазовых переходах первого рода функция распределения по энергии

или плотности системы должна быть бимодальной, т. е. иметь два максимума. При фазовых переходах второго рода функция распределения всегда имеет только один максимум, который расширяется в точке перехода.

В последние десятилетия было обнаружено, что молекулы полимеров способны совершать необычные фазовые превращения. Их необычность состоит в том, что они обладают характерными чертами фазовых переходов первого и второго рода одновременно. В качестве примера можно использовать модель «липкой ленты», подробно рассмотренной в работе [1, 4].

Анализ представленного литературного обзора показывает, что современные полимерные материалы не всегда подчинены разработанным ранее теориям фазовых переходов, что вызвало необходимость проведения дополнительных экспериментальных исследований.

Для исследования фазовых переходов авторами был использован амперметрический способ, который заключается в последовательном линейном нагреве полимерного образца до температуры плавления с периодической подачей на него высокочастотной энергии. В результате момент фазового перехода можно определить по состоянию анодного тока в момент включения высокочастотного генератора. Данная установка была оснащена датчиком перемещения (точность измерения 0,01 мм), фиксирующим тепловое расширение образца

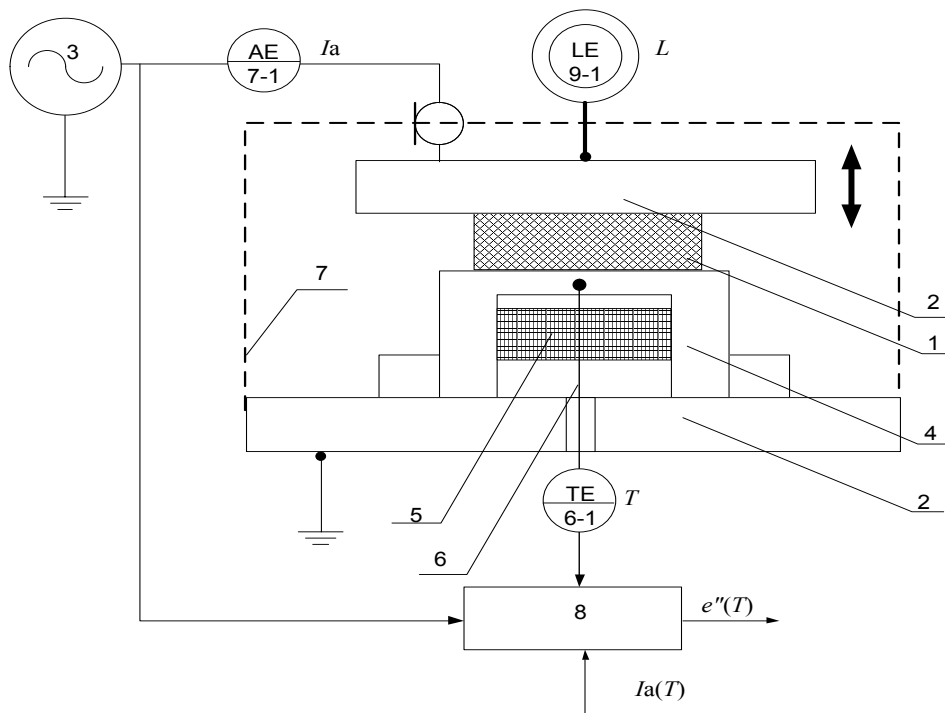


Рис. 2. Схема экспериментальной установки по исследованию фазовых превращений полимеров

1 — образец; 2 — электроды рабочего конденсатора; 3 — ВЧ-генератор; 4 — приспособление для нагрева образца; 5 — электроннагревательный элемент; 6 — термопара; 6-1 — термопара-термометр; 7 — защитный экран; 7-1 — амперметр (линейный датчик с выходом по напряжению); 8 — вычислительный блок; 9-1 — микрометр (фиксирует тепловое расширение образца)

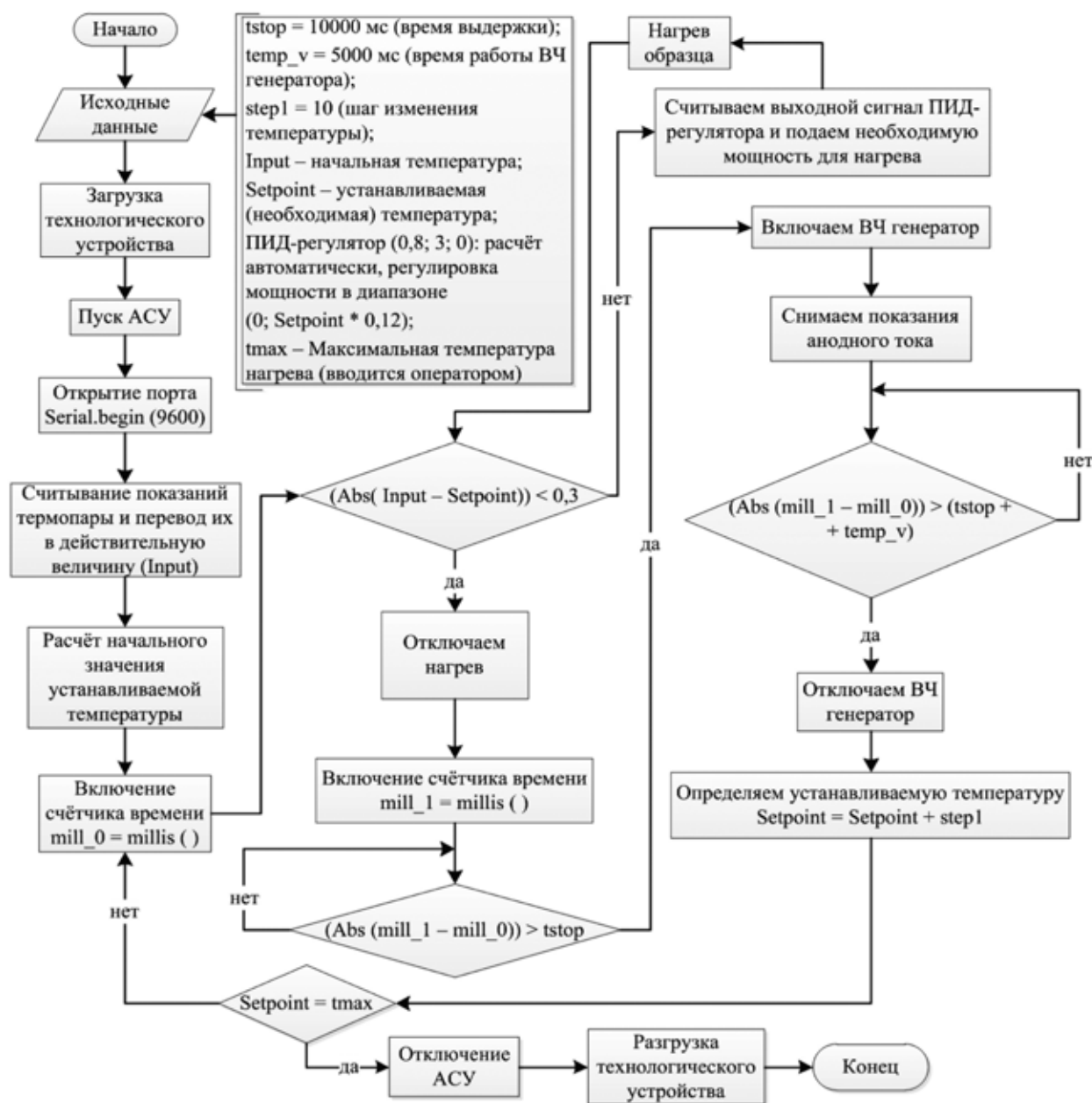


Рис. 3. Алгоритм исследования фазовых превращений

в зависимости от изменения температуры. С этой целью с обрабатываемого образца была снята прессовая нагрузка.

Разработана схема исследования фазовых превращений на базе оборудования УЗП 2500 (см. рис. 2).

Принцип работы данной установки описан в работе [2].

В качестве вычислительного блока был использован микроконтроллер Arduino Nano Atmega 328, алгоритм работы которого представлен на рис. 3.

Результат исследования фазовых превращений представлен на рис. 4.

Анализ полученных в настоящем исследовании данных показывает, что при нагреве полимерного образца происходят показательные изменения анодного тока, идентифицированные авторами как фазовые переходы первого

рода (переход № 1–7, см. рис. 4). Анализ показаний датчика перемещения подтверждает возможность контроля фазовых переходов экспериментальной установкой, разработанной авторами.

В результате проведённых научных и экспериментальных исследований авторами были созданы методики выявления фазовых переходов в полимерных материалах. Разработанная и реализованная экспериментальная установка с алгоритмом управления автоматизированной системой научных исследований позволила идентифицировать электрофизические и механические параметры исследуемых материалов как фазовые превращения в материале.

Фазовые переходы второго рода в структуре полимера и методы их выявления — это цель дальнейших исследований.

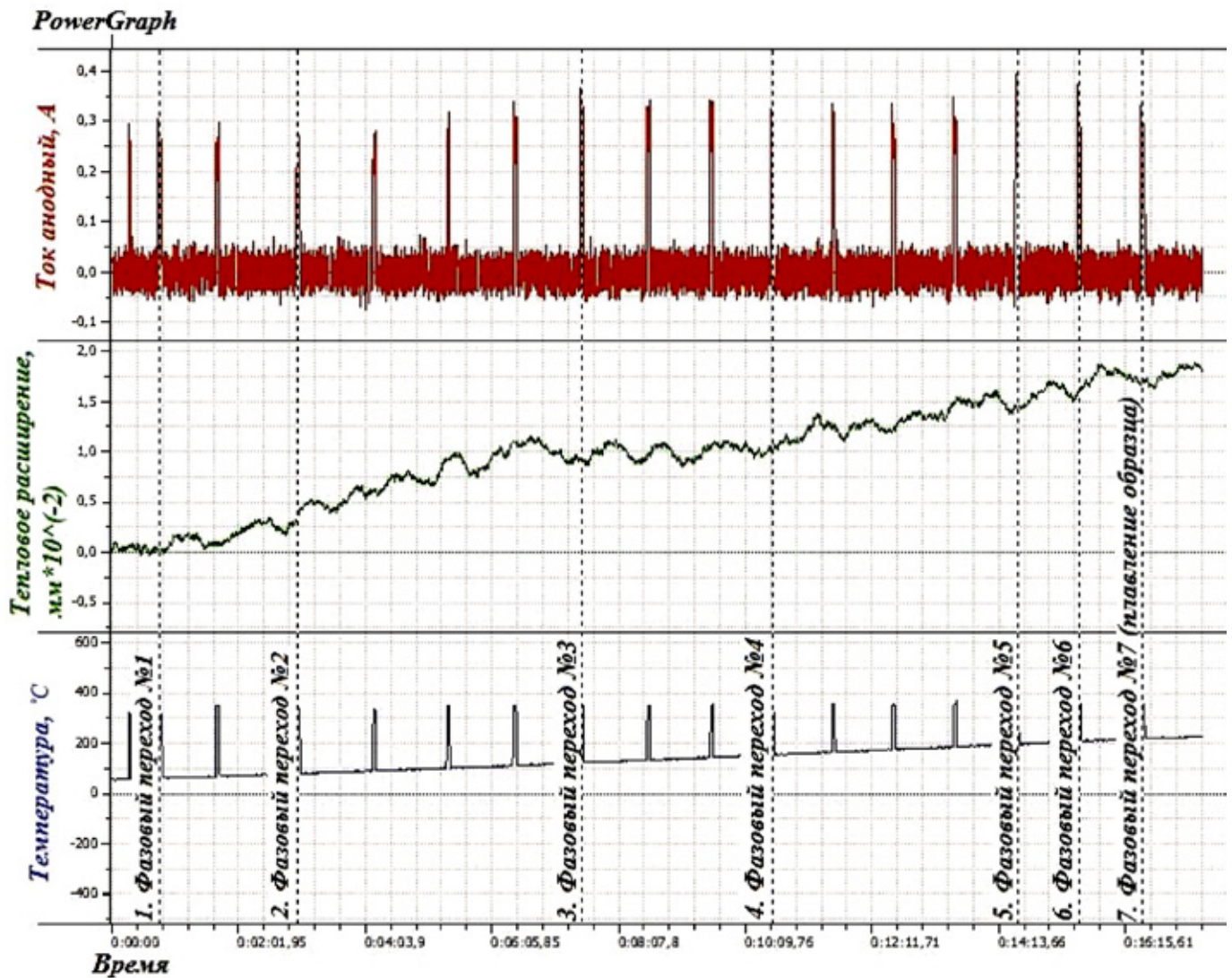


Рис. 4. Результаты исследований фазовых превращений

Литература:

1. Скворцов, А. М., Обычные и необычные фазовые переходы.; — С-П.: Соросовский образовательный журнал, №8, 1996. с. 103–108.
2. Филиппенко, Н. Г., Лившиц А. В., Буторин Д. В. Автоматизация процесса контроля фазовых состояний полимерных материалов в поле высокой частоты/Ю. Ф. Мухопад // Информационные системы контроля и управления в промышленности и на транспорте. — Иркутск: ИрГУПС. — 2014.
3. Тагер, А. А. Физико-химия полимеров. Издание 4-е. переработанное и дополненное. — М.: Научный мир. 2007.—506 с.
4. Гроссберг, А. Ю., Хохлов А. Р. Физика в мире полимеров. Библиотечка «Квант». — М.: Наука, 1989.

К вопросу исследования карданного механизма

Заутренников Игорь Викторович, ведущий инженер-конструктор
 Филиал ОАО «Концерн Росэнергоатом» «Балаковская атомная станция» (Саратовская обл.)

Кожанова Евгения Романовна, кандидат технических наук, доцент;
 Ткаченко Ирина Михайловна, кандидат технических наук, доцент
 Саратовский государственный технический университет имени Ю. А. Гагарина

В патенте [1] авторами предложена новая конструкция карданного механизма, которая может применяться в областях машиностроения и автомобилестроения и использована для соединения валов с пересекающимися осями. Данное изобретение является упрощением, как конструкции карданного механизма (карданово соединение, шарнир Гука, карданный шарнир, шарнирная муфта, кардан) [2], так и процесса его сборки-разборки [1].

Рассмотрим устройство предложенного карданного механизма [1] (рис. 1), которое содержит муфту-звёздочку 1 и две вилки 2, отличающаяся тем, что муфта выполнена в виде муфты-звёздочки, где вилки соединены с муфтой-звёздочкой по кольцевым пазам через заходные плоскости перпендикулярно друг другу. Новый способ зацепления реализуется при помощи кольцевых пазов с заходными плоскостями на поверхности муфты-звёздочки и вилок вставляющихся через заходные плоскости в кольцевые пазы на поверхности муфты-звёздочки, при этом

уменьшается количество деталей данного механизма до абсолютного минимума (уменьшение габаритов), механизм избавлен от крепежа и сокращена время сборки-разборки самого механизма до нескольких секунд.

В рабочем положении, когда оси вилок соосны или пересекаются, простейший карданный механизм (карданово соединение, шарнир Гука, карданный шарнир, шарнирная муфта, кардан) не разъединится. Разборку можно произвести лишь при угле между осями 90° , при котором карданный механизм (карданово соединение, шарнир Гука, карданный шарнир, шарнирная муфта, кардан) уже не может работать по определению.

Расстояние С вилки 2 равно расстоянию между заходными плоскостями В муфты-звёздочки 1. Диаметры кольцевых пазов А и цилиндрического отверстия вилки 2 равны, но больше расстояния С. Для зацепления вилки 2 со муфтой-звёздочкой 1 необходимо взаимно правильно расположить эти детали. Соединить детали можно лишь при указанном на рис. 2 положении и через две заходные

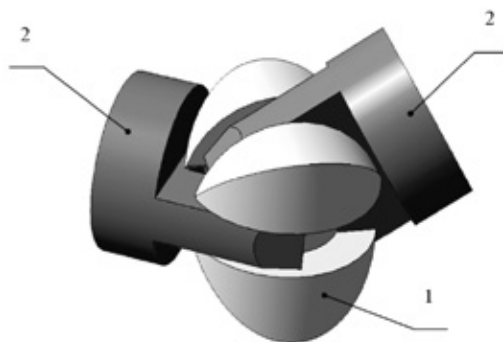


Рис. 1. Конструкция карданного механизма [1]: 1 — муфта-звёздочка, 2 — вилка

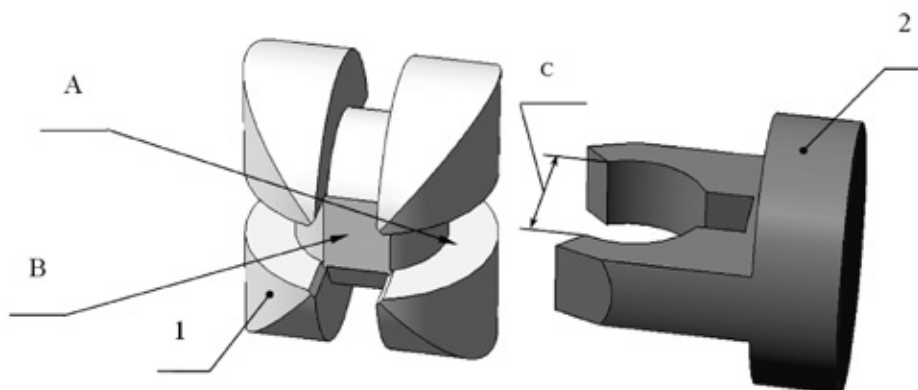


Рис. 2. Конструкция муфты-звёздочки (1) и вилки (2): А — кольцевой паз, В — оси пересечения кольцевых пазов, В — заходные плоскости, С — расстояние вилки равно расстоянию между заходными плоскостями муфты-звёздочки

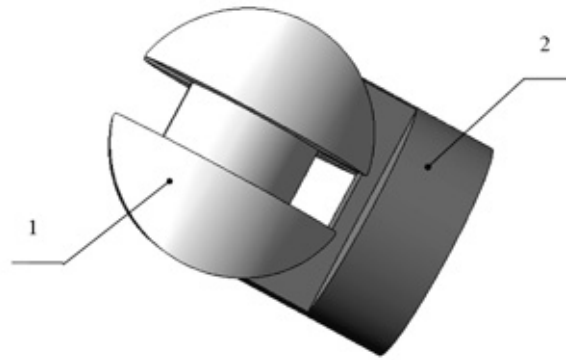


Рис. 3. Конструкция карданного механизма после поворота вилки 2 в кольцевом пазу А муфты-звёздочки 1 на 90°

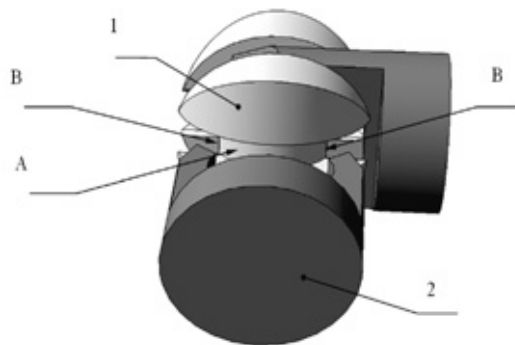


Рис. 4. Заведение второй вилки 2 по свободному кольцевому пазу А муфты-звёздочки 1 через заходные плоскости В

плоскости **В** муфты-звёздочки 1 завести по кольцевому пазу **А** детали одну в другую.

На рис. 3 показана конструкция после поворота вилки 2 в кольцевом пазу **А** муфты-звёздочки 1 на 90° , при этом пропадает возможность расцепления уже соединённых деталей, но появляется возможность заведения второй вилки 2 в муфту-звёздочку 1.

Заведение второй вилки 2 по свободному кольцевому пазу **А** муфты-звёздочки 1 через заходные плоскости **В** показан на рис. 4. Так как карданный шарнир не может работать при угле между осями валов равном 90° , то его нужно значительно уменьшить путём вращения вилки 2 по кольцевому пазу **А** муфты-звёздочки 1. При этом у деталей автоматически пропадает возможность расцепления.

Карданный механизм [1] (рис. 1) может применяться для соединения валов, передающих крутящий момент под различными, возможно, меняющимися углами работает следующим образом. При передаче вращения между основными валами передаточное число, получается непостоянным: за время одного оборота оно меняется от $\cos(a)$ до $1/\cos(a)$, где a — угол между осями валов. При $a = 90^\circ$ передача невозможна; при a близком к 90° неравномер-

ность вращения весьма значительна, поэтому карданный механизм в чистом виде может применяется лишь при небольших углах между основными валами. Достоинствами данного изобретения являются его компактность, простота изготовления, отсутствие крепёжных деталей и специального инструмента для сборки-разборки, которые обеспечиваются новым способом зацепления деталей данного карданного механизма.

Анализ конструкции предлагаемого карданного механизма определил три основные задачи исследования, которые необходимо решить для определения области применения данного устройства:

1. Выбор материалов деталей и смазки, определение взаимных геометрических зависимостей деталей, доработка геометрии сопрягаемых поверхностей, а также получение зависимости предельного момента от размеров.

2. Определение оптимальных рабочих параметров (момент и частота вращения) для конкретного размера деталей и сравнение характеристик данного карданного механизма с шарниром аналогичного назначения (например, с шарниром Гука).

3. Определение предельной частоты вращения для конкретного размера карданного механизма.

Литература:

1. Тарасов, В. К. Курс теоретической механики для математиков. ТулГУ, 2008. с. 264–266.
2. Заутренников, И. В., Кожанова Е. Р., Ткаченко И. М. Карданный механизм // Патент №2499918 зарегистрировано в государственном реестре изобретений Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам от 27.11.2013 г.

Обоснование необходимости восстановления посадочных отверстий корпусных деталей автомобилей

Захаров Юрий Альбертович, кандидат технических наук, доцент;
Ремзин Евгений Викторович, студент;
Мусатов Григорий Анатольевич, студент
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Корпусные детали автомобилей являются базовыми деталями, от технического состояния которых зависит долговечность и надежность автомобиля в целом. Корпусная деталь, как правило, металлоемкая и дорогостоящая, а наличие новых корпусных деталей на рынке весьма ограничено ввиду ряда причин. Поэтому, для обеспечения работоспособности и технической готовности автомобильного парка прибегают к восстановлению корпусных деталей автомобилей, в частности посадочных отверстий под подшипники.

Ключевые слова: корпусная деталь, автомобиль, восстановление, ремонт, посадочные отверстия, износ.

В настоящее время перед многими хозяйствующими субъектами встает вопрос обеспечения и поддержания работоспособности своих технических средств обслуживания и производства. Морально и физически устаревающий парк машин требует постоянного внимания, а также определенных денежных, ресурсных и трудовых затрат. Обновление состава машинного парка зачастую происходит очень медленно или не происходит совсем ввиду сложного экономического положения хозяйств и высокой стоимости новых единиц техники. Пополнение ремонтной базы новыми запасными частями, узлами и агрегатами также весьма затруднительно без серьезных финансовых вливаний. Поэтому, пополнение ремонтной базы чаще всего осуществляется путем ремонта и восстановления деталей, узлов и агрегатов машин, что требует значительно меньше затрат. Однако для повышения рентабельности ремонтно-восстановительных мероприятий необходимо выбирать наиболее рациональные, производительные и совершенные способы восстановления и ремонта.

В современных условиях развития авторемонтного производства эффективность ремонта техники тесно связана с разработкой, внедрением новых и совершенствованием существующих способов восстановления деталей машин, позволяющих повысить производительность технологических процессов восстановления.

При эксплуатации автомобилей, по вине агрегатов трансмиссии, происходит от 20 до 40% всех отказов [1–3]. Ресурс отремонтированных узлов и агрегатов в значительной мере зависит от уровня технологии и качества восстановления корпусных деталей. Например, ресурс ко-

робок передач составляет около 30–40% от ресурса новых, при замене всех деталей на новые, кроме корпуса коробки передач. Известно, что больше всего в коробках передач изнашиваются корпусные детали и зубчатые колеса.

Во время эксплуатации рабочие поверхности деталей изнашиваются от воздействия ударных и знакопеременных нагрузок, сил трения, разрушающего воздействия окружающей среды, фреттинг — коррозии, а также подвергаются короблению от внутренних напряжений [1–5].

Техническое состояние корпусной детали узла или агрегата во многом определяет долговечность и надежность работы составляющих деталей и всего механизма в целом. Корпусные детали являются базовыми деталями, то есть теми деталями, которые определяют пространственное и взаимное расположение остальных деталей механизма. Посадочные места и привалочные плоскости корпусных деталей, а также крепежно-монтажные поверхности и элементы обеспечивают соблюдение требований пространственной макрогеометрии механизма, обеспечивая, тем самым, необходимые условия работы деталей. Изменение макрогеометрии корпусной детали (коробление, прогибы и другие деформации) незамедлительно повлечет за собой нарушение соосности, параллельности и так далее рабочих осей и плоскостей остальных деталей механизма. Произойдет резкое изменение условий работы узла и его составляющих, вплоть до аварийного изнашивания и выхода его из строя.

Наиболее распространенными дефектами корпусных деталей, встречающимися при эксплуатации автомобилей и другой мобильной техники, являются [1–3, 6–7]:

— Нарушение макрогеометрии — коробление, перекося, изгибы и прогибы, другие деформации.

— Повреждение поверхности — сколы, выкрашивания, трещины, раковины, задиры, пробои и т. д.

— Дефекты резьбовых поверхностей — срез и деформация резьбы, облом шпилек, засорение резьбы смолистыми и другими отложениями.

— Наличие чужеродных покрытий — нагар, окислы, продукты коррозии, труднорастворимые смолистые отложения и т. д.

— Изменение формы и размеров поверхностей — все виды изнашивания посадочных поверхностей и привалочных плоскостей.

На долю корпусных деталей приходится около 16% отказов. Наибольшая повторяемость дефектов характерна для посадочных отверстий под подшипники и стаканы [1, 8–9]. Так по данным ГОСНИТИ коэффициенты повторяемости дефектов в виде износа поверхности отверстий под подшипники и стаканы для основных типов тракторов, автомобилей и комбайнов составляет 0,1–0,85 [1]. Коэффициенты восстановления корпусов при капитальном ремонте машин составляют 0,4–0,8 [1].

Поверхности посадочных отверстий корпусных деталей в большинстве случаев испытывают достаточно высокие нагрузки различного вида. При этом изнашивание поверхности посадочных отверстий корпусных деталей происходит не равномерно, образуя при этом погрешности геометрической формы отверстий в виде отклонений от круглости, цилиндричности и т. д. При этом изменяется характер сопряжения наружного кольца подшипника и поверхности посадочного отверстия в корпусной детали. Посадка с натягом может перейти в переходную посадку и даже в посадку с зазором, что приведет к проскальзыванию кольца в посадочном отверстии. Кроме того, изменяется форма и площадь пятна контакта поверхностей кольца подшипника и посадочного отверстия корпусной детали, что также отрицательно сказывается на долговечности механизма в целом.

Устранение этих дефектов представляет основную сложность технологического процесса восстановления корпусных деталей. В результате износов, старения и деформации корпусов нарушаются не только размеры отверстий, но и их взаимное расположение, параллельность и перпендикулярность осей отверстий между собой и относительно установочных баз [1]. Так, ресурс коробок передач, собранных из новых деталей и восстановленных корпусов с нарушениями пространственной геометрии составляет менее половины ресурса новых [1]. Поэтому в процессе восстановления наряду с доведением размеров отверстий до номинальных значений необходимо восстанавливать их пространственное расположение, выдерживая точные размеры.

Величина износа, по данным Батищева А.Н., Голубева И.Г., Лялякина В.П. и других [1], для тракторов Т — 150, МТЗ — 50, МТЗ — 80, ДТ — 75 составляет 0,065–

0,33 мм. Для трактора Т — 74 по данным Дунаева А.В. [1] максимальный износ ПО КД равен 0,15–0,22 мм.

Износ посадочных отверстий автомобильных коробок передач меньше, чем тракторных [1–3, 7]. Так, например, у коробок передач автомобилей ЗИЛ — 130 износ посадочных отверстий корпуса составляет 0,026–0,04 мм. Это объясняется меньшими нагружением подшипниковых узлов в коробках передач автомобилей и более щадящими условиями эксплуатации.

Новые корпусные детали характеризуются относительно невысокой работоспособностью. Это во многом зависит от технологии их изготовления. Корпусные детали трансмиссий изготавливают преимущественно из серого чугуна. После получения отливок «старение» деталей не производят, поэтому в них присутствуют большие внутренние напряжения [1]. При последующей механической обработке происходит перераспределение напряжений, но, тем не менее, величина остаточных напряжений может быть существенной. Во время эксплуатации происходит снижение остаточных напряжений, что приводит к изменению пространственной геометрии корпусной детали и несоответствию её техническим требованиям.

Технология изготовления корпусных деталей достаточно сложна, трудоемка и затратна, поэтому неспециализированному производству трудно обеспечить надлежащее качество изготовления, а соответственно выпущенные такими предприятиями корпусные детали обладают пониженными ресурсными показателями. Да и приобретение новой металлоемкой и дорогостоящей корпусной детали по сравнению с затратами на восстановление уже имеющейся в большинстве случаев не рентабельно.

В соответствии с техническими требованиями, отклонения не должны превышать: межосевых расстояний 0,07–0,105 мм, от соосности отверстий 0,03–0,05 мм, параллельности осей 0,05–0,17 мм на длине до 350 мм, от перпендикулярности отверстий к базовым плоскостям 0,05–0,08 мм на длине 100 мм [1].

Свыше 70% корпусов КП автомобиля ЗИЛ — 130 имеют перекося и не параллельность осей отверстий, выходящие за допустимые пределы. Установлено, что по причине несоосности посадочных отверстий требуют восстановления 86% корпусов трансмиссий, 34% корпусов КП трактора МТЗ — 50 и 88% корпусов КП комбайна СК — 5, в то время как по предельным износам посадочных отверстий соответственно 22 и 60% [1].

Приведенные выше данные показывают необходимость восстановления посадочных отверстий и их расположения в корпусах, поскольку износ, координатия и взаимное расположение отверстий корпусных деталей оказывают большое влияние на долговечность отремонтированного агрегата.

Устранение не параллельности осей и восстановление межцентровых расстояний осуществляют растачиванием отверстий корпусных деталей, применяя

при этом, специально разработанные кондукторы или станки, позволяющие обрабатывать сразу все отверстия [1–3, 10].

Устранение других дефектов посадочных отверстий осуществляют путем постановки дополнительной ремонтной детали (втулки, кольца), приваркой металлической ленты, напылением и наплавкой слоя металла, по-

лимерными материалами, гальваническими покрытиями и так далее [1, 9–10].

Таким образом, восстановление посадочных отверстий корпусных деталей автомобилей тем или иным способом является необходимым этапом в процессе обеспечения работоспособности и технической готовности автомобильного парка хозяйства.

Литература:

1. Захаров, Ю.А. Совершенствование технологии восстановления посадочных отверстий корпусных деталей проточным электролитическим цинкованием: дис. ... канд. техн. наук [Текст]/Ю.А. Захаров. — Пенза, 2001. — 170 с.
2. Захаров, Ю.А. Анализ способов восстановления посадочных отверстий корпусных деталей машин [Текст]/Ю.А. Захаров, Е.Г. Рылякин, А.В. Лахно // Молодой ученый. — 2014. — № 16. — с. 68–71.
3. Захаров, Ю.А. Восстановление посадочных поверхностей корпусных деталей машин проточным гальваническим цинкованием [Текст]/Ю.А. Захаров, Е.Г. Рылякин, И.Н. Семов // Молодой ученый. — 2014. — № 17. — с. 58–62.
4. Рылякин, Е.Г. Повышение работоспособности гидропривода транспортно-технологических машин в условиях низких температур [Текст]/Е.Г. Рылякин, Ю.А. Захаров // Мир транспорта и технологических машин. — № 1 (44). — Январь-Март 2014. — с. 69–72.
5. Обеспечение работы мобильных машин в условиях отрицательных температур [Текст]/Ю.А. Захаров, Е.Г. Рылякин, И.Н. Семов [и др.] // Молодой ученый. — 2014. — № 17. — с. 56–58.
6. Захаров, Ю.А. Восстановление металлизацией деталей транспортно-технологических машин и комплексов [Текст]/Захаров, Е.В. Ремизов, Г.А. Мусатов // Молодой ученый. — 2014. — № 19. — с. 199–201.
7. Захаров, Ю.А. Анализ способов восстановления корпусных деталей транспортно-технологических машин и комплексов [Текст]/Захаров, Е.В. Ремизов, Г.А. Мусатов // Молодой ученый. — 2014. — № 19. — с. 202–204.
8. Рылякин, Е.Г. Повышение работоспособности гидросистемы трактора терморегулированием рабочей жидкости: автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.20.03/Рылякин Евгений Геннадьевич. — Пенза: ПГСХА, 2007. — 17 с.
9. Семов, И.Н. Ремонт корпусных деталей машин [Текст]/И.Н. Семов, Ю.А. Захаров, Е.Г. Рылякин // Новый университет. Серия «Технические науки». — № 10 (32). — 2014. — с. 53–55.
10. Пат. 2155827 Российская Федерация, МПК: 7С 25D 5/06 А. Устройство для электролитического нанесения покрытий [Текст]/И.А. Спицын, Ю.А. Захаров; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Пензенская государственная сельскохозяйственная академия» (RU). — № 99115796/02, заявл. 16.07.1999; опубл. 10.09.2000, Бюл. № 25. — 8 с.

Преимущества гальваномеханического осаждения металлов при восстановлении деталей мобильных машин

Захаров Юрий Альбертович, кандидат технических наук, доцент;

Ремзин Евгений Викторович, студент;

Мусатов Григорий Анатольевич, студент

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Гальванические покрытия имеют достаточно большие перспективы при восстановлении изношенных поверхностей деталей мобильных машин, особенно интересен способ гальваномеханического осаждения с активацией катодной поверхности непосредственно во время осаждения. Гальваномеханическое осаждение позволяет использовать более высокие плотности электрического тока по сравнению с остальными гальваническими способами, что обеспечивает существенный рост производительности без потери качества получаемых осадков и прочности их сцепления с основой.

Ключевые слова: восстановление, ремонт, гальванические покрытия, плотность тока, электролиз, электролитическая ячейка, пассивирующая пленка.

В настоящее время перед многими хозяйствующими субъектами встает вопрос обеспечения и поддержания работоспособности своих технических средств обслуживания и производства. Морально и физически устаревающий парк машин требует постоянного внимания, а также определенных денежных, ресурсных и трудовых затрат. Обновление состава машинного парка зачастую происходит очень медленно или не происходит совсем ввиду сложного экономического положения хозяйств и высокой стоимости новых единиц техники. Пополнение ремонтной базы новыми запасными частями, узлами и агрегатами также весьма затруднительно без серьезных финансовых вливаний. Поэтому, пополнение ремонтной базы чаще всего осуществляется путем ремонта и восстановления деталей, узлов и агрегатов машин, что требует значительно меньше затрат. Однако для повышения рентабельности ремонтно-восстановительных мероприятий необходимо выбирать наиболее рациональные, производительные и совершенные способы восстановления и ремонта.

В большинстве случаев, рентабельность восстановления и ремонта возможна при обеспечении уровня восстановленной детали, узла или агрегата не менее 80% от уровня ресурса нового изделия [1–5]. На выбор способа восстановления и ремонта деталей мобильных машин влияет несколько факторов, но преобладающими среди них являются — обеспечение необходимого уровня ресурса, невысокий уровень затрат на реализацию, доступность технологии для имеющегося оборудования и квалификации специалистов хозяйства, технологичность и производительность способа.

Восстановление изношенных поверхностей деталей мобильных машин осуществляют различными способами, в том числе и нанесением покрытий с помощью гальванических процессов [1–10]. Гальваническое осаждение покрытий на восстанавливаемую поверхность осуществляется путем восстановления металла, находящегося

в растворе электролита, на поверхности детали под воздействием электрохимических процессов. Эти процессы могут протекать с различной интенсивностью в зависимости от температуры электролита, насыщенности электролита солями осаждаемого металла, скорости протока электролита (если происходит проточное осаждение), от выхода металла по току и так далее [1, 3–4].

Существует несколько способов осуществления гальванического осаждения покрытий на поверхность детали и все они имеют свои достоинства и недостатки.

Основными путями повышения эффективности гальванического осаждения покрытий является повышение производительности процесса осаждения, прочности сцепления покрытия с основой и стабильности получаемых результатов по качеству покрытия.

Для повышения производительности процесса гальванического осаждения металлов прибегают к увеличению плотности тока при электролизе, температуры электролита, скорости его протока, концентрации соли осаждаемого металла в электролите и так далее. Но всегда присутствуют определенные ограничения препятствующие дальнейшему росту производительности электролиза.

Повышение температуры электролита выше определенных значений вызывает повышенное испарение электролита из электролитической ячейки. Увеличение скорости протока свыше определенных значений перестает оказывать положительное действие на электролиз [1–5].

Повышение плотности тока, выше некоторого предельного значения (для различных условий электролиза различный порог), приводит к резкому локальному росту кристаллов металла на подложке, образуя наросты называемые дендритами и мешающие осаждению [1–5].

Кроме того, на качество получаемого покрытия, прочность его сцепления и производительность процесса осаждения в значительной мере влияет так называемая пассивирующая пленка, образующаяся на поверхности восстанавливаемой детали при осаждении.

Как уже отмечалось выше, различают несколько способов осаждения гальванопокрытий [1]:

— Ванное (стационарное) осаждение — когда деталь целиком погружается в ванну с электролитом. Недостатком такого способа является необходимость в изоляции не покрываемых участков детали, применение больших объемов электролита. Достоинством является простота реализации.

— Местное осаждение — когда осуществляется осаждение покрытия на определенном участке детали, при этом организуется местная мини ванна, называемая электролитической ячейкой. Достоинством является применение гораздо меньших объемов электролита. Недостатком можно считать необходимость создания электролитической ячейки.

— Проточное осаждение — когда обеспечивается проток электролита в прикатодном пространстве. Реализуют такой метод также посредством организации электролитической ячейки с протоком электролита в ней. Достоинства — малый объем электролита и обновление электролита в прикатодном пространстве за счет его протока. Недостаток — необходимость применения насосных установок для организации протока электролита.

— Контактное осаждение (электронатирание) — когда во время осаждения осуществляется контакт анода с катодом, разделенные прослойкой фильтровального элемента. Достоинство происходит частичное удаление пассивирующей пленки. Недостаток — возможность осаждения только тонких слоев.

— Проточно-контактное осаждение — это комбинация проточного и контактного способа. Преимуществом такой комбинации является постоянное обновление электролита в прикатодном пространстве, а недостатком считают невозможность осаждения сравнительно толстых слоев.

— Гальваномеханическое осаждение — это проточно-контактное осаждение гальванопокрытий с механическим активированием катодной поверхности. Преимущества — активация катодной поверхности, позволяющая повышать предельную катодную плотность тока осаждения, а, следовательно, производительность процесса. Недостатком можно считать некоторую сложность устройств для реализации данного способа и необходимость в применении насосных установок для перекачивания электролита.

Гальваномеханический способ осаждения металлов и их комбинаций на восстанавливаемые поверхности деталей машин является одним из наиболее перспективных способов восстановления. Применение гальваномеханического способа восстановления изношенных поверхностей деталей машин позволяет получать осадки высокого качества при высокой производительности процесса осаждения и прочности сцепления покрытия с подложкой. По сравнению с другими гальваническими способами восстановления деталей мобильных машин гальваномеханическое осаждение обладает рядом существенных преимуществ:

1. Более высокая производительность процесса осаждения покрытий на поверхности деталей без потери качества и прочности сцепления с подложкой.

2. Возможность создания устройств с герметичной электролитической ячейкой, которая позволит повысить скорость циркуляции электролита без его разбрызгивания и повышенного испарения в атмосферу.

3. Механическая активация восстанавливаемой поверхности не только устраняет пассивную пленку и предотвращает образование дендритов, но и способствует выравниванию поверхности осаждаемого покрытия, выглаживая ее и устраняя дефекты сплошности слоя.

4. Возможность создания мобильной установки, использующий малый объем электролита с одновременным восстановлением нескольких участков детали или деталей.

Рост производительности процесса осаждения обусловлен возможностью повышения предельной плотности катодного тока ввиду механического снятия пассивирующей пленки с поверхности осаждения и предотвращения образования ускоренного локального роста дендритов.

Пассивирующая пленка представляет собой плохо растворимую пленку, препятствующую проникновению к поверхности катода ионов осаждаемого металла. Причина пассивирования — адсорбция активными участками поверхности катода посторонних молекул, органических и неорганических веществ, гидроокиси металлов (в виде золя), водорода, образование продуктов взаимодействия металла с электролитом, кислородом воздуха и т.п. Блокирование поверхности катода чужеродными веществами приводит к увеличению истинной плотности тока, а, следовательно, и потенциала катода, достигающего таких значений, при которых возможно образование новых кристаллических зародышей. При этом разряд ионов возобновляется только после удаления пассивирующей пленки.

Пассивирующая пленка не только мешает росту производительности процесса осаждения, но и отрицательно сказывается на прочности сцепления покрытия с подложкой, а также снижает качество получаемого покрытия.

Существуют различные способы снижения отрицательного воздействия пассивирующей пленки, например применение реверсивного тока при осаждении, предварительное травление в растворах кислот и так далее, но наиболее действенным является механическое устранение пассивирующей пленки с катодной поверхности.

Механическая активация катодной поверхности осуществляется путем механического воздействия активирующих элементов (чаще всего абразива), срезающих определенный слой наносимого металла вместе с пассивирующей пленкой. Очень важно правильно рассчитать усилие прижатия активирующих элементов и скорость их скольжения по обрабатываемой поверхности. Необходимо обеспечить такой режим активации, при котором количество срезаемого металла осаждаемого слоя будет минимальным при максимально полном устранении пассивирующей пленки с поверхности.

Литература:

1. Захаров, Ю.А. Совершенствование технологии восстановления посадочных отверстий корпусных деталей проточным электролитическим цинкованием: дис. ... канд. техн. наук [Текст]/Ю.А. Захаров. — Пенза, 2001. — 170 с.
2. Захаров, Ю.А. Анализ способов восстановления посадочных отверстий корпусных деталей машин [Текст]/Ю.А. Захаров, Е.Г. Рылякин, А.В. Лахно // Молодой ученый. — 2014. — № 16. — с. 68–71.
3. Захаров, Ю.А. Восстановление посадочных поверхностей корпусных деталей машин проточным гальваническим цинкованием [Текст]/Ю.А. Захаров, Е.Г. Рылякин, И.Н. Семов // Молодой ученый. — 2014. — № 17. — с. 58–62.
4. Захаров, Ю.А. Восстановление корпусных деталей гальваническим цинкованием [Текст]/Ю.А. Захаров, Е.Г. Рылякин, И.Н. Семов // Актуальные вопросы современной науки. Научный журнал. — № 4 (4). — 2014. — с. 11–16.
5. Семов, И.Н. Ремонт корпусных деталей машин [Текст]/И.Н. Семов, Ю.А. Захаров, Е.Г. Рылякин // Новый университет. Серия «Технические науки». — № 10 (32). — 2014. — с. 53–55.
6. Рылякин, Е.Г. Влияние эксплуатационных факторов на изменение надежности гидроагрегатов мобильных машин [Текст]/Е.Г. Рылякин, А.В. Курылев // Молодой ученый. — 2014. — № 4. — с. 247–249.
7. Захаров, Ю.А. Анализ способов восстановления корпусных деталей транспортно-технологических машин и комплексов [Текст]/Захаров, Е.В. Ремизов, Г.А. Мусатов // Молодой ученый. — 2014. — № 19. — с. 202–204.
8. Пат. 2155827 Российская Федерация, МПК: 7С 25D 5/06 А. Устройство для электролитического нанесения покрытий [Текст]/И.А. Спицын, Ю.А. Захаров; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Пензенская государственная сельскохозяйственная академия» (RU). — № 99115796/02, заявл. 16.07.1999; опубл. 10.09.2000, Бюл. № 25. — 8 с.
9. Захаров, Ю.А. Основные дефекты корпусных деталей автомобилей и способы их устранения, применяемые в авторемонтном производстве [Электронный ресурс]/Ю.А. Захаров, Е.В. Ремзин, Г.А. Мусатов // Инженерный вестник Дона: электронный научный журнал. № 4, 2014. URL: www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_48_Zaharov.pdf_b512b82f57.pdf
10. Рылякин, Е.Г. Сравнительные испытания гидроагрегатов мобильных машин [Текст]/Е.Г. Рылякин, Ю.А. Захаров, А.В. Лахно // Новый университет. Серия «Технические науки». — № 10 (32). — 2014. — с. 49–52.

Аналитическое описание оценки оператором динамических характеристик объекта

Карев Максим Николаевич, студент;
Данилов Александр Максимович, доктор технических наук, профессор
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Предлагается методика формализации как оценки оператором объекта управления в процессе нормального функционирования, так и имитационных характеристик тренажера с точки зрения формирования требуемого стиля управления.

Ключевые слова: сложные системы, тренажеры транспортных систем, декомпозиция, настройка параметров.

Основной задачей тренажеростроения является определение условий для формирования у оператора на обучающем комплексе стиля управления, близкого к управлению реальным объектом. Она сводится к оценке адекватности управления в двух системах «оператор — реальный объект» и «оператор — модель». Фактически задача равносильна идентификации двух эргатических систем: с реальным объектом и моделью объекта. Формализация задачи связана со значительными трудностями описания концептуальной модели управления объектом (например, посадка самолета по глиссаде; разные для конкретных операторов; формируются индивидуально).

Наибольшее распространение для оценки качества пилотажных характеристик получили десятибалльная шкала Купера-Харпера и связанные с ней кривые летных оценок (разрешающая способность равна половине балла). Известно, если формируемая концептуальная модель задается передаточной функцией вида

$$W(p) = \frac{k}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1},$$

то модель объекта управления в составе тренажера должна иметь параметры, удовлетворяющие условию

$$\beta = \frac{\gamma}{\delta} \left[1 \pm \sqrt{\frac{0,5 - c(1 - \delta)^2 - a \left(1 - \frac{\delta^2}{\gamma^2}\right)^2}{b}} \right];$$

$$\gamma = \frac{T_u}{T_c}, \beta = \frac{\xi_c}{\xi_u}, \delta = \frac{k_u}{k_c};$$

индексы u и c относятся соответственно к идеальному и реальному объектам, a, b, c — весовые константы (выбираются на основе сравнения границ областей равных оценок, полученных экспериментально и на модели). Границы областей равных оценок объекта управления здесь определяются как линии уровня функционала качества

$$\Phi = a \left(1 - \frac{\delta}{\gamma^2}\right)^2 + b \left(1 - \frac{\beta}{\gamma} \delta\right)^2 + c(1 - \delta)^2.$$

К сожалению, при указанной методике оценки, по существу, никак не учитываются параметры управляющих воздействий оператора и их связь с техническими характеристиками объекта. Поэтому была разработана методика оценки, учитывающая эту связь.

Обычно уравнение движения транспортной эргатической системы имеет вид:

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}\mathbf{u}(t),$$

где \mathbf{x}, \mathbf{u} — векторы выходных координат и управляющих воздействий соответственно, \mathbf{A}, \mathbf{B} - матрицы размерности $n \times n$ и $m \times m$ соответственно. В простейшем случае:

$$\mathbf{u}(t) = \mathbf{P}\mathbf{x}(t);$$

а при учете запаздывания:

$$\mathbf{u}(t) = \mathbf{P}\mathbf{x}(t - \tau).$$

Влияние запаздывания определяется как разность $\mathbf{x}(t) - \mathbf{y}(t)$, $t \geq \tau$ решения двух начальных задач:

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}_1 \mathbf{x}(t), \mathbf{x}(t_0) = \mathbf{x}_0,$$

$$\dot{\mathbf{y}}(t) = \mathbf{A}\mathbf{y}(t) + \mathbf{B}_1 \mathbf{y}(t - \tau);$$

$$\mathbf{B}_1 = \mathbf{B}\mathbf{P}, \quad \mathbf{A}_1 = \mathbf{A} + \mathbf{B}\mathbf{P},$$

$$\mathbf{y}(t - \tau) \equiv \mathbf{x}_0 \text{ при } t - \tau \leq t_0.$$

При малых значениях τ с точностью до величин порядка τ^2 справедливо:

$$\mathbf{x}_k - \mathbf{y}_k = \tau^2 k \mathbf{B}\mathbf{P}(\mathbf{A} + \mathbf{B}\mathbf{P})\mathbf{x}_0 \text{ при } k \geq 2;$$

$$\mathbf{x}_1 = \mathbf{x}_0 + \tau \mathbf{A}_1 \mathbf{x}_0, \quad \tau \mathbf{A}_1 \mathbf{x}_0 = \mathbf{x}_1 - \mathbf{x}_0,$$

$$\mathbf{y}_1 = \mathbf{y}_0 + \tau(\mathbf{A}\mathbf{y}_0 + \mathbf{B}_1 \mathbf{y}(t_0 - \tau)) = \mathbf{x}_0 + \tau \mathbf{A}_1 \mathbf{x}_0 = \mathbf{x}_1;$$

$$\mathbf{x}_k = \mathbf{x}(t_k) = \mathbf{x}(t_0 + k\tau), \quad \mathbf{y}_k = \mathbf{y}(t_k) = \mathbf{y}(t_0 + k\tau).$$

При шаге $\delta = \frac{\tau}{m}$ имеем:

$$\mathbf{x}_k - \mathbf{y}_k = \frac{k(k-1)}{2} \delta^2 \mathbf{B}\mathbf{P}(\mathbf{A} + \mathbf{B}\mathbf{P})\mathbf{x}_0, \quad k \leq m;$$

$$\mathbf{x}_{m+1} - \mathbf{y}_{m+1} \approx \frac{m(m+1)}{2} \delta \mathbf{B}\mathbf{P}(\mathbf{x}_1 - \mathbf{x}_0), \quad k > m;$$

$$\mathbf{x}_{m+j+1} - \mathbf{y}_{m+j+1} = \delta \left(\frac{m(m-1)}{2} + jm \right) \mathbf{B}\mathbf{P}(\mathbf{x}_1 - \mathbf{x}_0), \quad 1 < j \leq m-1.$$

Откуда получим оценку

$$\mathbf{x}_k - \mathbf{y}_k = \tau^2 \mathbf{B}\mathbf{P}(k-1)(\mathbf{A} + \mathbf{B}\mathbf{P})\mathbf{x}_0,$$

незначительно отличающуюся от предыдущей. Требования по величине запаздывания в различных модулях тренажера определяются полученными соотношениями. При этом управляющие воздействия по каждому из каналов управления (по данным нормальной эксплуатации) сосредоточены около одной характерной частоты, совпадающей с собственной частотой колебаний объекта. Асимптотическая устойчивость линейной стационарной эргатической системы

$$\dot{\mathbf{y}} = \mathbf{S}\mathbf{y}(t) + \mathbf{f}(t)$$

эквивалентна выполнению условий: $\operatorname{Re} \lambda_i < 0$; $\lambda_i, i = \overline{1, n}$ — собственные числа матрицы \mathbf{S} . Длительность переходных процессов в системе определяется численным значением $\Phi_1(\mathbf{S}) = -\frac{1}{\max_i \operatorname{Re} \lambda_i}$, а колебательные процессы

$$\text{в системе — } \Phi_2(\mathbf{S}) = \max_i \left| \frac{\operatorname{Im} \lambda_i}{\operatorname{Re} \lambda_i} \right|, \quad \Phi_3(\mathbf{S}) = \max_i |\operatorname{Im} \lambda_i|.$$

Таким образом, качество системы определится численными значениями функционала

$$\Phi(\mathbf{S}) = -\frac{1}{\max_i \operatorname{Re} \lambda_i} + k_0 \max_i \left| \frac{\operatorname{Im} \lambda_i}{\operatorname{Re} \lambda_i} \right| + k_a \max_i \operatorname{Im} \lambda_i,$$

k_0, k_a — весовые константы.

Оценка качества объекта управления может производиться по значению $K_{AB} = \Phi(\mathbf{A} + \mathbf{B}\mathbf{P}_m)$; $\Phi(\mathbf{A} + \mathbf{B}\mathbf{P}_m) = \min_{\|\mathbf{P}\| \leq M} \Phi(\mathbf{A} + \mathbf{B}\mathbf{P})$.

качество системы $\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x}(t)$ — по значению $K_A = \Phi(\mathbf{A})$; качество целостной эргатической системы — по значению $K_{ABP} = \frac{\Phi(\mathbf{A} + \mathbf{B}\mathbf{P})}{\Phi(\mathbf{A} + \mathbf{B}\mathbf{P}_m)} + \Phi(\mathbf{A} + \mathbf{B}\mathbf{P}) - \Phi(\mathbf{A} + \mathbf{B}\mathbf{P}_m)$; $\|\mathbf{P}\| \leq M$.

Разброс $K_{up} = \max_i \|u(t) - \mathbf{P}\mathbf{x}(t)\|$ значений $u(t)$ определит стиль управления оператора; при этом классность оператора оценивается значением $K_u = K_{up} + K_{ABP}$.

Приведенный подход позволил формализовать, как оценку оператором объекта управления в процессе нормального функционирования, так и имитационных характеристик тренажера с точки зрения формирования требуемого стиля управления; эффективно использовался при настройке его технических параметров [1..6].

Литература:

1. Будылина, Е. А., Гарькина И. А., Данилов А. М. Декомпозиция динамических систем в приложениях/Региональная архитектура и строительство. — №3. — 2013. — с. 95–100.
2. Будылина, Е. А., Гарькина И. А., Данилов А. М. Приближенные методы декомпозиции при настройке имитаторов динамических систем/Региональная архитектура и строительство. — 2013. — №3. — с. 150–156.
3. Будылина, Е. А., Гарькина И. А., Данилов А. М., Пылайкин С. А. Аналитическое определение имитационных характеристик тренажных и обучающих комплексов/Фундаментальные исследования. — 2014. — №6–4. — с. 698–702.
4. Гарькина, И. А., Данилов А. М., Петренко В. О. Проблема многокритериальности при управлении качеством сложных систем/Мир транспорта и технологических машин. — 2013. — №2 (41). — с. 123–129.
5. Гарькина, И. А., Данилов А. М., Пылайкин С. А. Транспортные эргатические системы: информационные модели и управление/Мир транспорта и технологических машин. — 2013. — №1 (40). — с. 113–120.
6. Будылина, Е. А., Гарькина И. А., Данилов А. М., Сухов Я. И. Некоторые подходы к анализу и синтезу сложных систем/Молодой ученый. — 2013. — №10. — с. 105–107.

Статистический анализ партии обработанных изделий в MS Excel

Кирьянова Галина Александровна, студент;

Сорокина Любовь Александровна, кандидат технических наук, доцент;

Кожанова Евгения Романовна, кандидат технических наук, доцент

Саратовский государственный технический университет имени Ю. А. Гагарина, Балаковский институт техники, технологии и управления (филиал)

Статистические методы управления качеством являются обязательным элементом современных систем менеджмента качества, внедряемых на российских предприятиях, конкурентоспособность которых во многом зависит от умения персонала предприятия на практике применять эти методы. Область применения статистических методов в задачах управления качеством продукции чрезвычайно широка и охватывает весь жизненный цикл продукции. Статистические методы анализа и оценки качества продукции, статистические методы регулирования технологических процессов и статистические методы приемочного контроля качества продукции являются составляющими управления качеством продукции. Практически полученные результаты статистических исследований относят к одному из известных теоретических законов распределения — к нормальному закону распределения, что позволяет использовать известные формулы расчетные таблицы к ним.

В настоящее время статистический анализ данных можно реализовывать не только в специальных программах, например Statistica, но и в других программах — от электронных таблиц MS Excel до математических пакетов (Mathcad, Matlab, Scilab и др.). Количество доступных статистических функций последних, сегодня почти не уступает специальным программам.

Рассмотрим реализацию статистического анализа в MS Excel, для этого загрузим надстройку *Пакет анализа*

(рис. 1) и в закладке *Данные* появится *Анализ данных*.

Для исследования отбираем партию обработанных изделий — втулок, изготовленных на одном станке одним рабочим без подналадок, то есть при неизменяемых условиях (рис. 2) и запишем выборку по внутреннему диаметру втулки (рис. 3).

Определяем размах варьирования значений внутреннего диаметра втулки:

$$R = x_{max} - x_{min}$$

С помощью надстройки *Анализа данных* — *Описательная статистика* (рис. 4) поле рассеяния делится на нечетное количество интервалов, в нашем случае на 9, и в каждом находят абсолютную и относительную частоты рассеивания размеров деталей с подсчетом основных параметров выборки (максимум, минимум, среднее) (рис. 5).

Заполним расчетную таблицу, применяя статистические функции MS Excel — СРЗНАЧ, ЧАСТОТА, ВЕРОЯНОСТЬ, СТАНДОТКЛОН и НОРМРАСП (рис. 6). В результате получили значения математического ожидания $D_{cp}=8,64$ и среднеквадратического отклонения (СКО) $\sigma=0,13$.

Для интерпретации результатов статистического анализа необходимо построить распределение экспериментальных данных (чаще всего строится в виде гисто-

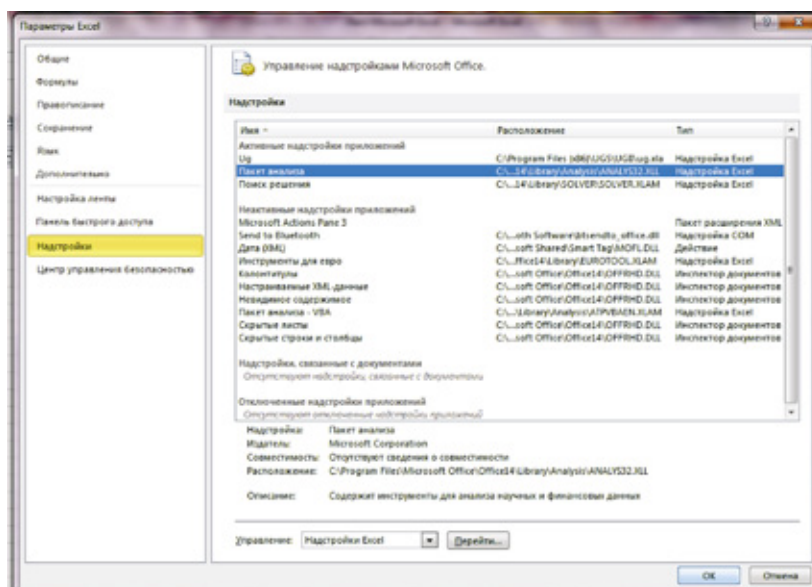


Рис. 1. Подключение надстройки Пакет анализа

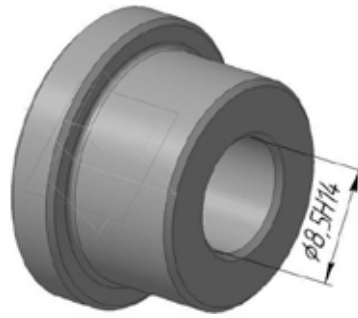


Рис. 2. Исследуемый объект Ø8,5H14

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	8,61	8,73	8,82	8,58	8,69	8,82	8,45	8,54	8,80	8,63
2	8,87	8,56	8,34	8,67	8,70	8,74	8,40	8,55	8,64	8,98
3	8,62	8,68	8,72	8,37	8,44	8,67	8,51	8,87	8,59	8,61
4	8,60	8,66	8,76	8,85	8,42	8,28	8,78	8,62	8,57	8,65
5	8,48	8,76	8,65	8,49	8,53	8,77	8,81	8,56	8,84	8,71
6	8,55	8,66	8,68	8,72	8,87	8,46	8,53	8,42	8,75	8,67
7	8,39	8,47	8,83	8,71	8,65	8,57	8,62	8,86	8,69	8,58
8	8,70	8,74	8,64	8,68	8,60	8,58	8,54	8,50	8,71	8,79
9	8,65	8,69	8,70	8,52	8,61	8,75	8,51	8,62	8,78	8,61
10	8,67	8,63	8,82	8,53	8,66	8,59	8,62	8,61	8,66	8,55

Рис. 3. Выборка по внутреннему диаметру втулки

граммы) и кривую распределения случайной величины (в виде линий) и применить правило трех сигм — значение непрерывной случайной величины попадает в интервал от -3σ до $+3\sigma$ с вероятностью 0,9973, то есть погрешность 0,27%. Если рассеяния размеров выходит за обе границы поля допуска (верхнее и нижнее) размера,

то одна часть деталей идет в брак исправимый, другая часть — в брак неисправимый

По ячейкам S9-S17 строится кривую нормального распределения для данной выборки (рис. 7, тонкая линия), а значения сравниваются с экспериментальной вероятностью (ячейки P9–17).

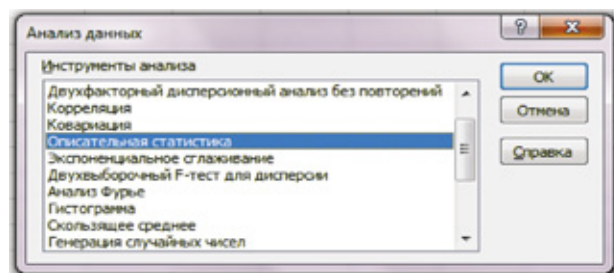


Рис. 4. Диалоговое окно Анализ данных

	L	M
1		Фактически
2	Минимум	8,2800
3	Максимум	8,9800
4	Средний	8,6393
5	Замеров	100
6	Интервал	9

Рис. 5. Результаты анализа

	L	M	N	O	P	Q	R	S
8	MIN	MAX	Дср	частота	вероятность	взвешен частота	отклонен	гаус
9	8,2800	8,3577778	8,318889	2	0,02	16,63778	0,20637	0,01924
10	8,3577778	8,4355556	8,396667	5	0,05	41,98333	0,29633	0,06993
11	8,4355556	8,5133333	8,474444	9	0,09	76,27	0,24701	0,17812
12	8,5133333	8,5911111	8,552222	18	0,18	153,94	0,13904	0,31794
13	8,5911111	8,6688889	8,63	24	0,24	207,12	0,00245	0,39775
14	8,6688889	8,7466667	8,707778	21	0,21	182,8633	0,09615	0,34873
15	8,7466667	8,8244444	8,785556	13	0,13	114,2122	0,275	0,21428
16	8,8244444	8,9022222	8,863333	7	0,07	62,04333	0,3488	0,09228
17	8,9022222	8,9800778	8,94115	1	0,01	8,94115	0,09062	0,02783
18	8,9800778			100	1	8,640112	0,13045	
19				Σ		ср зн	дисп	

Рис. 6. Расчетная таблица

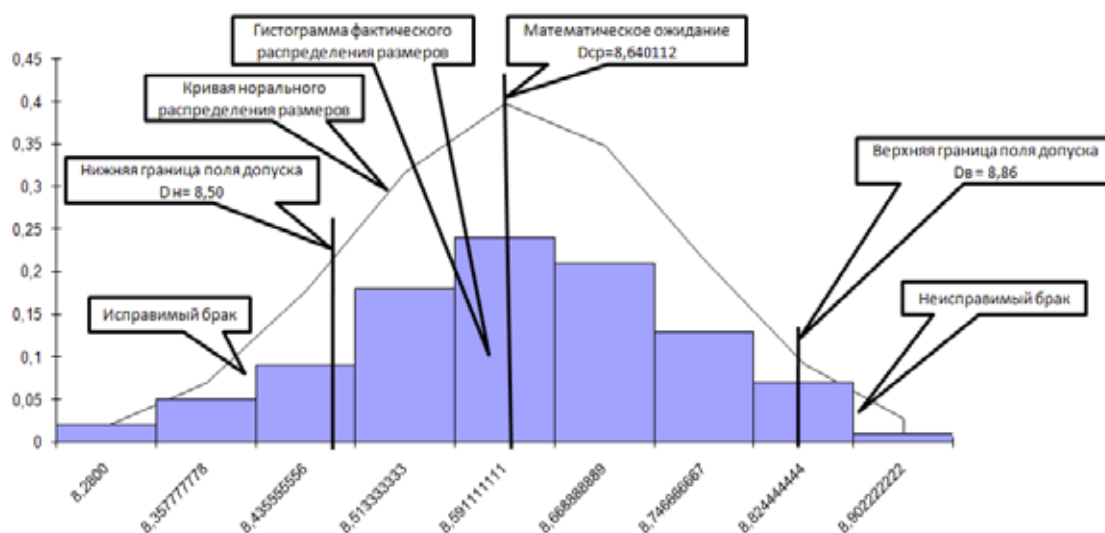


Рис. 7. Сравнение экспериментальных и расчетных данных

На рис. 7 видно, что все детали, лежащие левее нижней границы поля допуска, представляют собой «исправимый брак», после повторной обработки их размер может попасть в пределы поля допуска. Для определения количественных характеристик необходимо рассчитать площади криволинейных трапеций, ограниченных кривой нормального распределения размеров сверху, осью абсцисс снизу и соответствующими вертикальными размерными линиями слева и справа. Количество «исправимого» брака

посредством статистической функции MS Excel составляет 14,14%, «неисправимого» 9,54%. Следовательно, количество годных деталей 76,32%.

Применение статистических функций MS Excel в управлении качеством дает более полную визуализацию стабильности технологического процесса и открывает широкие возможности для сокращения затрат труда и времени на заполнение контрольных карт, что в конечном итоге обеспечивает значительную экономию денежных средств.

Литература:

1. Управление качеством в машиностроении: учеб. пособие/А. Ф. Гумеров [и др.]. Старый Оскол: ТНТ, 2008. 168 с.
2. Теория вероятностей и математическая статистика в примерах и задачах с применением Excel: учеб. пособие для вузов/Г. В. Горелова, И. А. Кацко. 3-е изд., доп. и перераб. Ростов н/Д: Феникс, 2005. 480 с.

Обзор методов и алгоритмов удаления ложных корней в алгоритме редукции ранга

Коробков Михаил Александрович, аспирант
Рязанский государственный радиотехнический университет

Приведён обзор и сравнительный анализ методов выделения корней, соответствующих угловому положению пеленгуемых источников радиоизлучения (ИРИ), среди множества паразитных корней, которые являются результатом пеленга ИРИ с помощью алгоритма редукции ранга.

Ключевые слова: UCA-Root-Rare, полином, APP

На страницах настоящего журнала уже был освещён алгоритм редукции ранга (APP) [1–3], в зарубежной литературе обозначаемый аббревиатурой UCA-Root-Rare. Однако одним из серьезных недостатков APP является наличие ложных корней, не соответствующих угловому положению пеленгуемых ИРИ. Известно несколько методов отбраковки ложных корней, кратко рассмотренные в настоящей статье.

Метод Böhme-Pesavento

Этот метод был предложен авторами алгоритма и описан в [4]. Метод предполагает 5-ти этапную процедуру или нахождение корней дополнительного компенсирующего полинома:

$$f_{SPUR}(z)_{|z|=1} = \det \left\{ \mathbf{E}_{s_b}^H \mathbf{T}(z) \Delta \mathbf{T} \left(\frac{1}{z} \right)^T \mathbf{E}_{s_b} \right\} = 0 \quad (1)$$

Другими словами, корни, соответствующие угловым положениям ИРИ $\{z_k\}_{k=1}^L$ могут быть получены из корней следующего полиномиального выражения:

$$R(z)_{|z|=1} = \frac{f_{RARE_2}(z)_{|z|=1}}{f_{SPUR}(z)_{|z|=1}} = \frac{\det \left\{ \mathbf{I} - \mathbf{E}_{s_b}^H \mathbf{T}(z) \Delta \mathbf{T} \left(\frac{1}{z} \right)^T \mathbf{E}_{s_b} \right\}}{\det \left\{ \mathbf{E}_{s_b}^H \mathbf{T}(z) \Delta \mathbf{T} \left(\frac{1}{z} \right)^T \mathbf{E}_{s_b} \right\}} = 0 \quad (2)$$

Как утверждают авторы, ложные корни в числителе $R(z)$ нейтрализуются ложными корнями знаменателя, так что на единичной окружности остаются только те решения, которые соответствуют угловым положениям ИРИ.

Однако в случае конечной выборки сигнальные и ложные корни обоих полиномов смещаются от их идеальных позиций на единичной окружности, что приводит к не идентичности ложных корней. В этом случае используют следующую 5-ти этапную процедуру:

– Шаг 1. Вычислить подпространство сигнала $\hat{\mathbf{E}}_s$ и подпространство шума $\hat{\mathbf{E}}_n$ ковариационной матрицы $\hat{\mathbf{R}} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \mathbf{x}(k) \mathbf{x}(k)^H$.

– Шаг 2. Найти потенциальные сигнальные корни $\{\hat{z}_l\}_{l=1}^{p_1}$ среди наибольших корней $f_{RARE_2}(z)_{|z|=1}$ внутри единичной окружности, где $p_1 = L(L-1)/2$.

– Шаг 3. Найти потенциальные ложные корни $\{\tilde{z}_i\}_{i=1}^{p_2}$ среди наибольших корней $f_{SPUR}(z)_{|z|=1}$ внутри единичной окружности, где $p_2 = L(L-1)/2$.

– Шаг 4. Выполнить цикл:

○ Для $i=1..p_2$

○ Определить сигнальные корни z_l , полученные в шаге 2, минимизируя $d_{l,i} = |\arg \hat{z}_l - \arg \tilde{z}_i|$, где $l=1, \dots, p_1$.

Если $(|\tilde{z}_i - \hat{z}_l| < \epsilon) \vee (|\tilde{z}_i| \geq |\hat{z}_l|)$ то

удалить $|\hat{z}_l|$ из множества потенциальных сигнальных корней;

удалить $|\tilde{z}_i|$ из множества потенциальных ложных корней.

Закончить.

Закончить.

– Шаг 5. Оценить сигнальные корни $\{\bar{z}_i\}_{i=1}^L$ найденные из наибольших L корней, оставшихся среди потенциальных сигнальных корней.

К сожалению, последующие исследования, проведённые в работах [5, 6], показали, что при определённых угловых положениях предложенный метод неверно выделяет координаты, соответствующие заданным угловым положениям. Несостоятельность данного метода проявляется в следующих случаях:

1) когда азимутальный угол одного из источников равен среднеарифметическому значению азимутальных углов двух других ИРИ, то есть $\varphi_k = (\varphi_m + \varphi_n) / 2$. При этом попытка устранения зеркальной координаты для одного из источников m или n может привести к удалению истинной координаты φ_k рисунок 1.

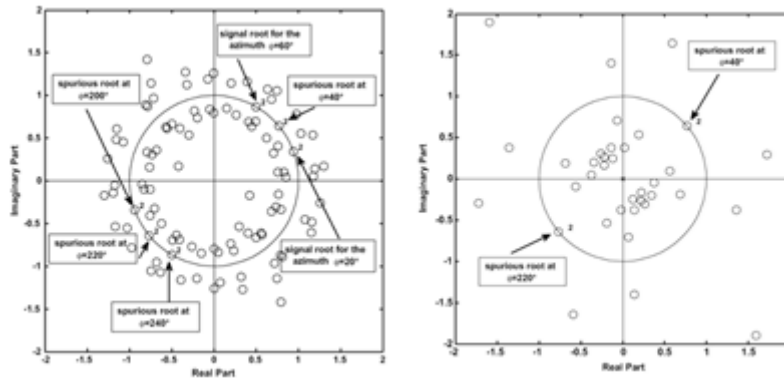


Рис. 1. Эффект скрытия пеленга, продемонстрированный в [5]

2) когда координата одного источника отличается от координаты другого источника на π , например $\varphi_k = \varphi_m + \pi$. В этом случае количество корней на единичной окружности не всегда эквивалентно числу источников. Следовательно для того чтобы получить окончательные значения пеленга необходимо знать априорную информацию о структуре источников;

3) в статье не упоминается о симметричности корней полинома относительно начала координат. К тому же симметричные корни не учитывались при последующем угломестном оценивании, что в конечном результате приводит к ошибкам пеленга.

В связи с обнаруженными недостатками, авторами [] был предложен собственный метод.

Метод ноль пространства

Предлагаемый авторами [5] основан на компенсации эффекта взаимного влияния антенных элементов и дополнительно предполагает поиск нуль пространство специальной матрицы, что позволяет сразу найти угол места ИРИ и избавиться от ложных корней. Рассмотрим, предлагаемую авторами процедуру:

– Шаг 1. Вычислить циркулянтный вектор взаимного влияния $\mathbf{z}(\theta)$ для различных углов места методом приёмного взаимного импеданса, описанного в [7], и построить таблицу для $\mathbf{g}'(\theta) = \mathbf{m}_1(\theta) \odot \mathbf{g}(\theta)$, $\mathbf{m}_1(\theta) = DFT_{(M+1:-1:1)}[\mathbf{z}(\theta)]$, $[\mathbf{g}(\theta)]_k = j^k J^k(kr \sin(\theta))$, $k = 1, 2, \dots, M + 1$, j — мнимая 1, J — функция бесселя первого рода, k — номер возбуждаемой фазовой моды.

– Шаг 2. Получить пеленг по азимуту, используя АРР для пространственной функции:

$$f(\varphi) = \arg \min_{\varphi} \det \{ \mathbf{T}^H(\varphi) \mathbf{E}_n \mathbf{E}_n^H \mathbf{T}(\varphi) \} = 0 \tag{3}$$

Приведённая выше пространственная функция используется вместо (2) для устранения эффекта скрытия пеленга. На этом шаге всё ещё существуют ложные корни, но они будут исключены в конце парного двухмерного вычисления пеленга с использованием параметрического поиска на следующем шаге.

– Шаг 3. Для каждого корня (азимута), включая ложные решения, вычислить матрицу $\Psi(\varphi) = \mathbf{T}^H(\varphi) \mathbf{E}_n \mathbf{E}_n^H \mathbf{T}(\varphi)$ и построить матрицу $\Gamma(\theta)$ её нуль-пространства.

– Шаг 4. Используя одномерный параметрический поиск в диапазоне $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$, найти все углы места, соответствующие $\mathbf{g}'(\theta) = \mathbf{m}_1(\theta) \odot \mathbf{g}(\theta)$ и принадлежащие нуль пространству матрицы $\Psi(\varphi)$. Если $\mathbf{g}'(\theta)$ не принадлежит нуль пространству матрицы $\Psi(\varphi)$, то такой корень считается ложным и должен быть удалён из списка потенциальных корней. Парное двухмерное значение пеленга, найденное в ходе одномерного параметрического поиска, будет окончательным. На данном этапе дополнительно происходит компенсация эффекта взаимного влияния $\mathbf{m}_1(\theta)$.

Метод Гуссинса и Роджера

Альтернативный метод вычисления угловых координат при пеленге ИРИ был предложен в работе [6].

С помощью АРР, определяются азимутальные углы $\{(\hat{\varphi}_1, \hat{\varphi}_1 + \pi), (\hat{\varphi}_2, \hat{\varphi}_2 + \pi), \dots, (\hat{\varphi}_q, \hat{\varphi}_q + \pi)\}$, причем для их нахождения не требуется информация о зенитных углах. Оценки, сделанные с помощью АРР, дают q пар азимутальных углов. При этом если на решетку приходит L сигналов, то вообще говоря $q \neq L$, поскольку сигналы могут характеризоваться одинаковым зенитным углом.

Покажем теперь, каким образом, зная пары азимутальных углов, определяются зенитные углы. Расширим область определения вектора отклика однородной кольцевой антенной решётки (ОКАР) радиуса r из N элементов в области зенитных углов следующим образом

$$b_i(\theta, \varphi) = \begin{cases} a_i(\theta, \varphi), \varphi = [0, 2\pi], \theta = [0, \pi] \\ -a_i(2\pi - \theta, \pi + \varphi), \varphi = [0, 2\pi], \theta = [\pi, 2\pi] \end{cases} \tag{4}$$

Функцию $b_i(\theta, \varphi)$, которая обладает периодом 2π по обоим угловым переменным, можно представить в виде разложения в двумерный ряд Фурье

$$b_i(\theta, \varphi) = \sum_{m=-M}^M \sum_{n=-N}^N f_{mn} e^{jm(\varphi - \varphi_i)} e^{jn\theta} = \sum_{m=-M}^M \sum_{n=-N}^N f_{mn} z^m w^n e^{-jm\varphi_i} \tag{5}$$

где $z = e^{j\varphi}$, $w = e^{j\theta}$.

Данное разложение приближается к точному значению, если выполняются условия

$$M > k_0 r \tag{6}$$

$$N > k_0 \sqrt{r^2 + z_{\max}^2} + 1 \tag{7}$$

В пространстве лучей вектор отклика может быть записан как

$$\vec{b}_{\text{beam}}(\theta, \varphi) = \mathbf{W} \vec{b}(\theta, \varphi) = \mathbf{\Gamma}(\varphi) \mathbf{F} \vec{w} \tag{8}$$

где

$$\mathbf{\Gamma}(\varphi) = \text{diag} [z^{-M}, \dots, z^M] \tag{9}$$

$$[\mathbf{F}]_{m+M+1, n+N+1} = f_{mn}; m = -M \dots M; n = -N \dots N \tag{10}$$

$$[\vec{w}]_{n+N+1} = e^{jn\theta} = w^n, n = -N \dots, N \tag{11}$$

Алгоритм MUSIC в пространстве лучей принимает вид

$$f_{\text{MUSIC}}(\theta, \varphi) = \vec{b}_{\text{beam}}^H(\theta, \varphi) \mathbf{E}_N \mathbf{E}_N^H \vec{b}_{\text{beam}}(\theta, \varphi) = \vec{w}^H \mathbf{F}^H \mathbf{\Gamma}^H(\varphi) \mathbf{E}_N \mathbf{E}_N^H \mathbf{\Gamma}(\varphi) \mathbf{F} \vec{w} = \vec{w}^H \mathbf{Q} \mathbf{Q}^H \vec{w} \tag{12}$$

где $\mathbf{Q} = \mathbf{F}^H \mathbf{\Gamma}^H(\varphi) \mathbf{E}_N$. Для заданной пары азимутальных углов $(\hat{\varphi}_i, \hat{\varphi}_i + \pi)$ определяют матрицу \mathbf{Q} и ищут нули по углу θ . Фазы комплексных нулей, которые оказываются максимально близкими к единичной окружности, служат для оценки зенитных углов $\{\hat{\theta}_s^i\}$ при $s = 1 \dots S_i$. В зависимости от значения углов $\hat{\theta}_s^i$ их приписывают к одной из пар углов по азимуту $\hat{\varphi}_i$ или $\hat{\varphi}_i + \pi$

$$\begin{cases} \hat{\theta}_s^i \in [0, \pi] \Rightarrow (\hat{\theta}_s^i, \hat{\varphi}_i) \\ \hat{\theta}_s^i \in [\pi, 2\pi] \Rightarrow (2\pi - \hat{\theta}_s^i, \hat{\varphi}_i + \pi) \end{cases} \tag{13}$$

При выполнении данной процедуры могут появиться паразитные нули, которые не соответствуют реальным направлениям прихода ИРИ. Для решения проблемы выбираются лишь L самых малых значений. Можно также записать:

$$b_i^f(z, w) = \vec{z}_{1 \times M'}^T (\mathbf{F}_i)_{M' \times N'} \vec{w}_{N' \times 1} \tag{14}$$

где $\vec{z}_{1 \times M'}^T = (z^{-M}, \dots, z^{-1}, 1, z, \dots, z^M)$, $\vec{w}_{1 \times N'}^T = (w^{-N}, \dots, w^{-1}, 1, w, \dots, w^N)$, $(\mathbf{F}_i)_{M' \times N'} = \text{FFT}(b_i)$,

$$\vec{b}^f(z, w) = (b_1^f, b_2^f, \dots, b_{N_e}^f)^T.$$

Введем вспомогательную матрицу

$$(zF)_{N_e \times N'} = \vec{z}_{1 \times M'}^T \circ [(\mathbf{F}_0)_{M' \times N'}, (\mathbf{F}_1)_{M' \times N'}, \dots, (\mathbf{F}_{N_e})_{M' \times N'}]^T \tag{15}$$

где индекс \circ означает поэлементное умножение, и сформируем матрицу

$$\mathbf{P}_{M' \times N'} = \mathbf{W}_{M' \times N_e} (zF)_{N_e \times N'} \tag{16}$$

Тогда

$$\left[\vec{b}_{beam}^f(z, w) \right]_{M' \times 1} = \mathbf{P}_{M' \times N'} \vec{w}_{N' \times 1} \quad (17)$$

Теперь (12) перепишем как

$$f_{MUSIC}(z, w) = \vec{b}_{beam}^H(z, w) \mathbf{E}_N \mathbf{E}_N^H \vec{b}_{beam}(z, w) = \vec{w}_{1 \times N'}^H \left[\mathbf{P}_{N' \times M'}^H (\mathbf{E}_N \mathbf{E}_N^H)_{M' \times M'} \mathbf{P}_{M' \times N'} \right] \vec{w}_{N' \times 1} \quad (18)$$

Из (18) следует, что матрица $(\mathbf{Q}\mathbf{Q}^H)_{N' \times N'}$, оказывается равной матрице $\mathbf{P}_{N' \times M'}^H (\mathbf{E}_N \mathbf{E}_N^H)_{M' \times M'} \mathbf{P}_{M' \times N'}$, и теперь при заданном значении азимутального угла можем использовать алгоритм ROOT–MUSIC для нахождения корней полинома по степеням $w = e^{j\theta}$.

Выводы. Сравнительный анализ трех вышеупомянутых методов приводит к следующему. Метод Bohme-Pesavento, не смотря на свою простоту, предполагает либо точного знания ковариационной матрицы пеленгуемого сигнала, что на практике невозможно, поскольку выборка ограничена, либо выполнения пятиэтапной процедуры получения азимута, из множества потенциальных корней, расположенных на расстоянии 0,01 ε от единичной окружности. При этом авторами не учитываются не только корни расположенные симметрично относительно начала координат, но и корни симметрично расположенные относительно единично окружности. Такие типы корней не учитываются при дальнейшем вычислении угла места ИРИ. Сама процедура вычисления угла места у авторов [] предполагает поиск спектра полиномиальной АРР-матрицы, что является сложной в вычислительном и временном отношении затратной процедурой.

Метод поиска нуль пространства матрицы, предложенный в [5], несмотря на необходимость проведения процедуры одномерного поиска по углу места и выяснения принадлежности вектора к нуль пространству матрицы, имеет одно существенное преимущество перед методом Bohme-Pesavento. Он (метод) учитывает наличие паразитных связей между антенными элементами или взаимный импеданс антенных элементов, который, как показано в [7], имеет угломестную зависимость. Но процедура вычисления нуль пространства и одномерный поиск сказываются на быстроте выполнения пеленга предлагаемым методом поиска нуль пространства.

Как альтернативу, предложенную в [3], авторы расширяют область определения в угломестной плоскости и выполнить двухмерное преобразование Фурье полученной диаграммы направленности ОКАР, а затем применить вычислительно эффективный алгоритм Root для поиска угла места по известным оценкам азимута. Однако такое искусственное расширение может привести к неоднозначности значений пеленга по углу места.

Литература:

1. Коробков, М.А. Алгоритм UCA — Root — Rare для задач пеленгования источников радиоизлучения одно-родной кольцевой антенной решёткой // Молодой ученый. — 2014. — № 13. С47–54
2. Коробков, М.А. Метод сокращения вычислительных затрат в алгоритме UCA-Root-Rare // Молодой ученый. — 2014. — № 14. С. 88–90.
3. Коробков, М.А. Методы нахождения корней полинома в алгоритме пеленгования UCA-Root-Rare в пакете Mathcad // Молодой ученый. — 2014. — № 14. — с. 54–56.
4. Pesavento, M., Böhme J. F. Direction of arrival estimation in uniform circular arrays composed of directional elements // Sensor Array and Multichannel Signal Processing Workshop. 2002. No 8. P. 503–507.
5. B. H. Wang, H. T. Hui, M. S. Leong. Decoupled 2D Direction of Arrival Estimation Using Compact Uniform Circular Arrays in the Presence of Elevation-Dependent Mutual Coupling. IEEE Transactions on antennas and propagation, Vol. 58, No. 3, march 2010, стр. 747–755.
6. R. Goossens and H. Rogier. «A hybrid UCA-RARE/Root-MUSIC approach for 2-Ddirection of arrival estimation in uniform circular arrays in the presence of mutual coupling,» IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 43, pp. 841–849, 2007.
7. H. T. Hui, «Improved compensation for the mutual coupling effect in a dipole array for direction finding,» IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 51, no. 9, pp. 498–2503, Sep. 2003.

Исследования процесса получения антикоррозионных материалов и строительных битумов на основе госсиполовой смолы

Курамбаев Шерзод Раимберганович, кандидат технических наук, доцент;
Саидов Хакимбой Уринбаевич, магистр;
Аитова Шахло Камиловна, магистр;
Жуманиязов Максуд Жаббиевич, доктор технических наук, профессор
Ургенчский государственный университет (Узбекистан)

В статье приведены результаты исследования технологических процессов получения антикоррозионных покрытий и заменителя нефтяных битумов на основе госсиполовой смолы из отходов масложировых комбинатов.

Ключевые слова: антикоррозионных материалов, битум, госсиполовая смола, фосфорсодержащие соединения, оксида кальция и гексаметилентетрамина, реактор, технологических процесс, заменитель нефтяных битумов, отход масложировых комбинатов.

Researches of process of reception of anticorrosive materials and building bitumens on the basis of gossipol resin

Kurambaev Sherzod Raimberganovich candidate of technical sciences, docent;
Saidov Hakimboy Urinbayevich master;
Aitova Shaxlo Kamilovna master;
Jumaniyazov Maksud Jabbiyevich doctor of technical sciences, prof.
Urgench State University, Republic of Uzbekistan

The article presents the results of research of technological processes of anticorrosive coatings and substitute petroleum bitumen based on gossipol resin from waste oil and fat plants.

Keywords: anticorrosive materials, bitumen, tar gossipol, phosphorus-containing compounds, calcium oxide and hexamethylenetetramine reactor, process, substitute petroleum bitumen, waste oil and fat plants.

С целью расширения области применения госсиполовой смолы, нами были проведены систематические исследования по выяснению возможности получения на их основе заменителя нефтяных битумов [1]. В результате нами были получены составы, оптимально приближенные по физико-механическим свойствам к известным нефтяным битумам марок БНД 60/90 и БНИ-4. Из полученных результатов особо можно выделить свойства следующих двух составов. Состав №1 (госсиполовая смола 97–98%, оксид кальция 2–3%) соответствует известной марке битума нефтяного дорожного БНД 60/90. Состав №2 (госсиполовая смола 84–89%, соапсток 9–13%, оксид кальция 2–3%) соответствует битуму нефтяному изоляционному

БНИ-4, предназначенному для защиты трубопроводов от подземной коррозии. Полученные данные, приведенные в таблице 1, позволяют расширить область применения покрытий на основе госсиполовой смолы и рекомендовать их в качестве заменителя нефтяных битумов [2].

Результаты физико-механических исследований, также как и результаты физико-химических методов анализа, свидетельствуют о том, что покрытия на основе госсиполовой смолы можно использовать в качестве модификатора ржавчины и грунтовочного материала для рыхлых ржавых поверхностей.

Физико-механические свойства покрытий также были изучены в промышленных условиях, что подтверждается

Таблица 1. Сравнение свойств нефтяных битумов и составов, полученных на основе госсиполовой смолы

Наименование испытываемых объектов	Глубина проникновения иглы при 25 °С, мм по ГОСТ 11501	Температура размягчения по кольцу и шару, °С по ГОСТ 11506	Растяжимость при 25 °С, см по ГОСТ 11505
БНД 60/90	6,1–9,0	47	50
Состав №1	10,4	57	50
БНИ-1У	7,5	25–40	3
Состав №2	8,2	25	2,5

нормативно-технической документацией, актами выпуска и испытаний опытных партий «Противокоррозионного покрытия АНТИКОР» и «Мастики АНТИКОР-АВТО».

Испытываемые покрытия соответствуют требованиям технических условий, технология их изготовления не вызывает трудностей и может быть воспроизведена в промышленных условиях.

Известно, что в составе госсиполовой смолы присутствуют полифенолы, жирные кислоты, углеводороды, азот и фосфорсодержащие соединения, а также продукты превращения госсипола. Присутствие в ее составе также соединений нафталинового ядра делает продукты модификации госсиполовой смолы термо-, хемо- и радиационно-устойчивыми, а присутствие фенольных гидроксидов и альдегидной группы — реакционноспособными с высокими комплексообразующими свойствами. Она во многих отношениях с успехом может заменить дорогостоящие антикоррозионные покрытия, а также нефтяной битум, дефицит которого ощущается с каждым годом [3].

На основе результатов исследований, представленных в предыдущих разделах, нами рекомендована принципиальная технологическая схема получения антикоррозионных покрытий и битума строительного назначения на основе госсиполовой смолы, оксида кальция и гексаметилентетрамина (рис. 1). Предложенная технология основана на использовании госсиполовой смолы, содержащей не более 35,0% влаги, кристаллического оксида кальция и гексаметилен-тетрамина. Технологический процесс состоит из следующих стадий:

- загрузка и выпарка госсиполовой смолы в реакторе;
- растворение оксида кальция и гексаметилентетрамина в госсиполовой смоле;
- охлаждение и упаковка полученного битума;

— получение антикоррозионного материала путем растворения битума;

— затаривание полученного антикоррозионного покрытия.

Технология строительного битума и антикоррозионных покрытий на его основе осуществляется в обычных реакторах с паровым обогревом и механической мешалкой, применяемых в лакокрасочной промышленности.

Из емкости-хранилища (1) с помощью насоса (2) через расходомер (3) в реактор (4) перекачивается госсиполовая смола, подогретая до 60–80°С. После загрузки госсиполовой смолы, температуру в реакторе (4) поднимают до 110–120°С. При этом обычно наблюдается пенообразование, которое свидетельствует о содержании влаги в госсиполовой смоле. Для уменьшения пенообразования, необходимо увеличить интенсивность перемешивания смолы. После перемешивания в течение 35–40 минут, выделение пены практически прекращается, что свидетельствует об удалении 91–92% влаги из госсиполовой смолы.

Полученная горячая смола с 4,3–4,5% остаточной влагой с помощью насоса (5) через расходомер (6) перекачивается в реактор (7), туда же, последовательно из бункеров (8) и (10) через дозаторы (9) и (11), поступают оксид кальция и гексаметилентетрамин. Температура в реакторе (7) поднимается до 130–160°С, затем проводится интенсивное перемешивание в течение 50–60 минут. Полученную таким образом однородную гомогенную массу заливают в формы, охлаждают и отправляют на склад готовой продукции.

Для получения антикоррозионного покрытия, гомогенный состав компонентов охлаждают в реакторе (7), куда из емкости-хранилища (13) с помощью насоса (14)

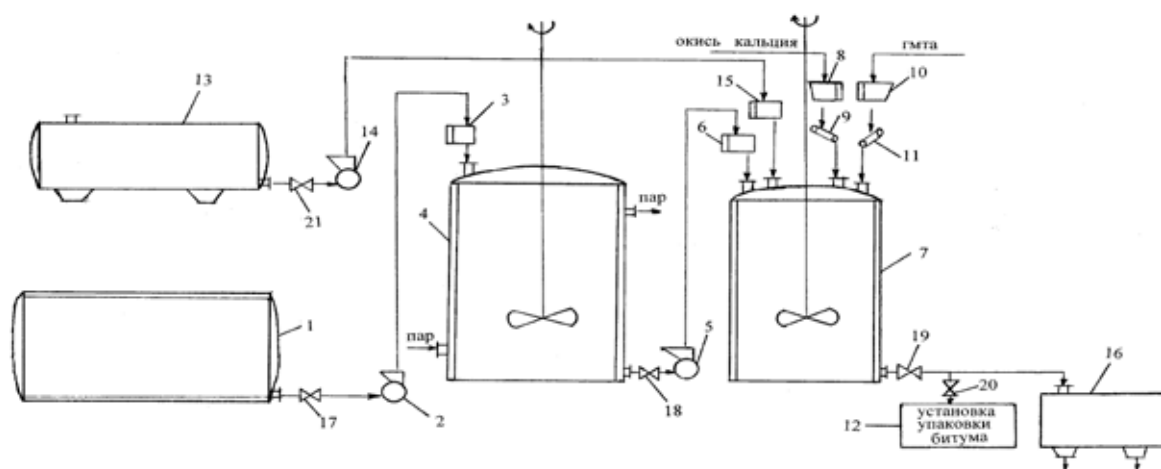


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема получения антикоррозионных покрытий и строительного битума на основе госсиполовой смолы: 1 — емкость хранилище госсиполовой смолы 3, 6, 15 — расходомеры 9, 11 — весовые дозаторы 16 — затаривающая установка 2, 5, 14 — центробежные насосы, 4, 7 — реакторы 12 — узел упаковки битума 17, 21 — вентили 8, 10 — бункеры 13 — емкость хранилище растворителей

через расходомер (15) подается растворитель (уйт-спирит, газоконденсат или керосин). Растворение антикоррозионного материала в растворителях осуществляется при массовом соотношении 1:3 при 65–70 °С, при перемешивании в течение 30–40 минут. Полученный

однородный раствор является готовым продуктом, который самотеком поступает на узел расфасовки (16).

Таким образом, установлена возможность получения антикоррозионных материалов и строительных битумов из отходов масложировых комбинатов.

Литература:

1. Жуманиязов, М.Ж., Юлдашев Н. Х, Дюсебеков Б.Д. Использование госсиполовой смолы в производстве строительных битумов //Тез. докл. восьмой Межд. конф. «Олигомеры-2002» — М., 2002. с. 302.
2. Юлдашев, Н. Х, Жуманиязов М.Ж., Дюсебеков Б.Д., Ходжаев О. Ф. Заменитель нефтяного битума из госсиполовой смолы. Тез. докл. Респ. науч.-практ. конф. «Ozbekiston mineral xom-ashyolari kimyoviy qayta ishlashning dolzarb muammolari» — Ташкент, 2002. с. 36
3. Жуманиязов, М.Ж., Курамбаев Ш.Р. Ходжаев О.Ф., Бабаев З.К. Пахта ёғи ишлаб чиқаришдаги чиқиндилардан антикоррозия копламалар олиш имкониятларини излаш. Маъмун академияси илмий ишлар тупл. Хива 2001 й. с. 35–36.

Разработка бактериального концентрата на основе клеток *Lactobacillus acidophilus*

Лысенко Юрий Андреевич, кандидат биологических наук, старший преподаватель;

Волкова Светлана Андреевна, кандидат биологических наук, доцент;

Петрова Виктория Вячеславовна, студент

Кубанский государственный аграрный университет (г. Краснодар)

Состав микрофлоры кисломолочного продукта определяет его вкусовые качества и играет большую роль в их формировании. Продукты с использованием ацидофильной палочки известны давно и актуальны в современных условиях. Для производства кисломолочных продуктов, в том числе пробиотиков, используются бактериальные закваски и концентраты [3; 8; 11; 14]. Бактериальные концентраты молочнокислых микроорганизмов в настоящее время являются основным элементом технологии производства всех ферментированных молочных продуктов. Для производства различных молочных продуктов используются как монокультуры, так и консорциумы микроорганизмов. Как известно, ацидофильная палочка входит в состав заквасок для производства молочнокислых продуктов, повышая их биологическую ценность [1; 5; 10; 16]. Также культуры ацидофильной палочки в сочетании с культурами термофильного стрептококка широко используются при производстве йогурта, различных видов кисломолочных напитков (простокваши, ряженки). Скваживание молока при производстве казеина осуществляется бактериальным препаратом, приготовленным на чистых культурах молочнокислых палочек [4; 7; 13; 15].

Бактерии рода *Lactobacillus* относятся к микроорганизмам, имеющим сложные питательные потребности. Для их активного развития требуется наличие веществ, необходимых для построения бактериальной клетки (нуклеиновых кислот, полисахаридов, аминокислот и т.д.).

Так, для роста большинства молочнокислых палочек необходимы органические формы азота, которые они сами не синтезируют. Многим видам лактобацилл для развития необходимы витамины [2; 12]. Этим объясняется значительное влияние на их рост добавок к питательной среде различных экстрактов (например, дрожжевого, кукурузного), а также других соединений. В целом, питательная среда должна удовлетворять потребностям молочнокислых палочек в источниках энергии, содержать компоненты, необходимые для конструктивного метаболизма [6; 9].

Таким образом, выращивание молочнокислых микроорганизмов и получения их лиофилизированных форм является сложным процессом, на который оказывает влияние большое количество факторов, кроме того, он связан с необходимостью решения ряда научных и технических проблем, частью которых является совершенствование состава питательной среды.

Для исследований использовали лабораторную культуру *Lactobacillus acidophilus* РКМБ. Опытной питательной средой служила сыворотка из цельного молока, обогащённая экстрактом томатного сока. В качестве контроля использовали питательную среду для выращивания молочнокислых микроорганизмов — гидролизованное молоко, приготовленное согласно ГОСТ 10444.11–89. Культивирование объекта осуществляли на лабораторном ферментере «Ока-05К», концентрирование на центрифуге, высушивание в сублимационной установке CHRIST BETA 2—8 LD plus.

Таблица 1. Состав питательных сред и титр клеток после лиофилизации

Показатель	Вариант питательной среды	
	контроль	опытная среда
Компоненты питательной среды, %		
Гидролизованное молоко	100	—
Молочная сыворотка	—	85
Экстракт томатного сока	—	15
Количество микроорганизмов		
Титр, КОЕ/г	$7,3 \times 10^7$	$5,8 \times 10^8$

При культивировании и концентрировании микроорганизма *Lactobacillus acidophilus* посев в чашки Петри проводили согласно ГОСТ 10444.11–89 (пункт 4.2.2), а подсчёт количества выросших колоний — ГОСТ 9225–84 (пункт 4.5.3).

Изучение органолептических, физико-химических и микробиологических показателей высушенной культуры проводили в соответствии с требованиями ТУ 9229–102–04610209–2002 — «Концентраты бактериальные лиофилизированные для ферментированных молочных продуктов» и СанПиН 2.3.2.1078 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов».

Для получения маточной (засевной) культуры *Lactobacillus acidophilus* 5% лабораторной закваски (культуры) данного микроорганизма, в стерильном боксе, вносили в питательную среду объёмом 1 л на основе молочной сыворотки. Культивирование осуществляли в течении 18 ч. при температуре 34°C в термостате.

Далее маточную культуру в количестве 10% к объёму ферментера переносили в предварительно простерилизованную ёмкость, содержащую молочную сыворотку, обогащённую экстрактом томатного сока и культивировали в течении 24 ч, при температуре 34°C.

Для оценки оптимального варианта питательной среды в период выращивания данного микроорганизма провели опыты по его культивированию с различным составом и оценивали титр выросших микроорганизмов.

Результаты исследований показали, что оптимальной питательной средой для культивирования является питательная среда, которая содержит молочную сыворотку, обогащённую экстрактом томатного сока в количестве 15% от общего объёма среды.

По окончании процесса выращивания культуральную среду охлаждали до температуры (8±2)°C и направляли на концентрирование. Перед работой части центрифуги (пробирки), соприкасающиеся с культуральной жидкостью, стерилизовали этиловым спиртом. После концен-

трирования был проведен подсчет титра клеток *Lactobacillus acidophilus* в изучаемых питательных средах.

Выявлено, что на питательной среде с молочной сывороткой, обогащённой экстрактом томатного сока в количестве 15% от общего объёма, количество живых микроорганизмов после концентрирования оставалось выше, чем в контрольном варианте, где использовали гидролизованное молоко.

Далее биомассу клеток в двух вариантах разливали в стерильные чашки Петри толщиной слоя (5±1) мм и осуществляли замораживание суспензии при температуре (-60±2)°C в течение (1,5±0,5) ч.

Замороженную бактериальную суспензию помещали в асептических условиях в заранее подготовленную сублимационную сушилку и высушивали в течении 24±1 ч.

Лиофилизированную (сухую) бактериальную культуру в стерильных условиях измельчали в порошок в стерильной ступке, помещали в стерильную ёмкость и направляли в холодильную камеру, где выдерживают при температуре 5–7°C до окончания исследований его свойств.

Результаты исследования титра *Lactobacillus acidophilus* после высушивания на изучаемых питательных средах представлены в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что количество жизнеспособных клеток после высушивания было выше в варианте, где основу питательной среды составляла молочная сыворотка, обогащённая экстрактом томатного сока в количестве 15% от общего объёма.

Таким образом, использование питательной среды на основе молочной сыворотки, обогащённой экстрактом томатного сока в количестве 15% от общего объёма среды обладает выраженным ростостимулирующим свойством для *Lactobacillus acidophilus* и является хорошей основой для максимального сохранения количества жизнеспособных клеток при высушивании культуры и полученный бактериальный концентрат может использоваться для получения молочнокислых продуктов.

Литература:

1. Жолобова, И. С. Влияние натрия гипохлорита на рост и развитие перепелов/И. С. Жолобова, Е. В. Якубенко, Ю. А. Лысенко, А. В. Лунёва // Ветеринария Кубани. — 2013. — №2. — с. 5–7.

2. Жолобова, И.С. Лечение актиномикоза крупного рогатого скота натрия гипохлоритом/И.С. Жолобова, А.Г. Кощаев, Н.В. Сазонова // Сборник научных трудов Sworld, 2009. — Т. 17. — №2. — с. 38–39.
3. Жолобова, И.С. Эффективность использования активированных растворов хлоридов при лечении собак с хирургическими заболеваниями/И.С. Жолобова, А.Г. Кощаев, А.В. Лунева // Труды Кубанского государственного аграрного университета. — 2012. — №36. — с. 270–272.
4. Кощаев, А.Г. Особенности технологии получения коагулятов из сока люцерны/А.Г. Кощаев, О.В. Кощаева, С.Н. Николаенко, В.И. Харченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. — 2014. — №95. — с. 720–728.
5. Кощаев, А.Г. Технология получения витаминной кормовой добавки из отходов консервной промышленности/А.Г. Кощаев, С.Н. Николаенко, М.С. Чистоусова // Сборник научных трудов Sworld. — Одесса, 2008. — Т. 21. — №1. — с. 25–27.
6. Кощаев, А.Г. Физиолого-биохимическое обоснование применения бактериальной добавки Бацелл в составе растительных комбикормов на птице/А.Г. Кощаев, С.Н. Николаенко, Г.В. Фисенко, А.В. Саакян // Сборник научных трудов Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства. — 2009. — Т. 2. — №2–2. — с. 140–143.
7. Кузьминова, Б.В. Нормализация функции печени у крупного рогатого скота/Б.В. Кузьминова, И.С. Жолобова, А.Г. Зафириди // Ветеринарная патология. — 2006. — №2. — с. 140–142.
8. Кузьминова, Е.В. Эффективность каротиноидов при токсическом поражении печени/Е.В. Кузьминова, В.С. Соловьев, М.П. Семенов, С.Н. Николаенко // Труды Кубанского государственного аграрного университета. — Краснодар, 2009. — №1. — с. 117.
9. Марков, С.А. Применение электроактивированных растворов хлоридов для обеззараживания кормов/С.А. Марков, С.Б. Хусид, И.С. Жолобова/Сборник научных трудов Sworld, 2009. — Т. 17. — №2. — с. 40–41.
10. Петенко, А.И. Физиолого-биохимические аспекты подбора сортов тыквы для использования в кормопроизводстве/А.И. Петенко, С.Б. Хусид // Труды Кубанского государственного аграрного университета. — 2013. — Т. 1. — №44. — с. 117–125.
11. Практика использования электроактивированных водных растворов в агропромышленном комплексе. Плутахин Г.А., Кощаев А.Г., Аидер М. Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ. 2013. №09. с. 497.
12. Семенов, М.П. Влияние функциональной кормовой добавки на рост и развитие цыплят-бройлеров/М.П. Семенов, И.С. Жолобова, Т.А. Лымарь // Труды Кубанского государственного аграрного университета. — 2013. — №45. — с. 181–182.
13. Способ получения витаминной кормовой добавки из зеленых растений: пат. 2266018 Рос. Федерация: А23К1/16, А23К1/14/А.Г. Кощаев, А.И. Петенко, О.В. Кощаева, С.Н. Николаенко; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет». — заявл. 22.03.2004; опубл. 20.12.2005, бюл. №35. — 4 с.
14. Хусид, С.Б. Получение функциональной кормовой добавки на основе рисовой муки и бентонита/С.Б. Хусид, Я.П. Донсков // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. — 2014. — №101. — с. 655–664.
15. Хусид, С.Б. Изучение биологически активных соединений в семенах тыквы различных сортов/С.Б. Хусид, А.И. Петенко, И.С. Жолобова, Е.Е. Нестеренко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. — 2014. — №96. — с. 43–52.
16. Zholobova, I.S. Receiving functional feed additive on the basis of bentonite clays and carotene containing raw materials/I.S. Zholobova., S.B. Khusid., M.P. Semenenko, Ju.A. Lopatina // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. — 2014. — №96. — с. 117–128.

Получение и исследование порошков на основе пористого кремния для применения в биомедицине

Нигмадзянова Надежда Романовна, аспирант

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

Данная работа посвящена получению и исследованию порошков на основе пористого кремния с целью создания матриц-контейнеров для адресной доставки лекарств. В задачи работы входило исследование процессов агрегации порошков на основе пористого кремния n- и p-типа проводимости в различных средах методами атомно-силовой и оптической микроскопии. Обнаружено, что дисперсия порошков эволюционирует, причем по-разному, в зависимости от типа проводимости исходного кремния и состава дисперсионной среды.

1. Особенности применения пористого кремния в биомедицине

В настоящее время интерес к получению и исследованию частиц на основе пористого кремния (por-Si, ПК) обусловлен перспективами применения его в качестве функциональных элементов в медицине [1–6, 12, 13], для направленной доставки лекарственных средств [4, 7–11], в качестве сенсора для диагностики и лечения заболеваний, а также для лекарственного скрининга, в качестве фотосенсибилизаторов, в биодатчиках различного типа, для получения биомедицинских изображений, в том числе для визуализации опухолей, при лечении глазных заболеваний и др.

Для многих применений por-Si в биомедицине необходимо изготавливать микро- и наноразмерные порошки на его основе. При этом с одной стороны возникает необходимость разработки технологических приемов по приготовлению порошков пористого кремния, разделению их по размерам, выбору условий хранения. С другой стороны, необходима информация о свойствах и составе, об эволюции во времени свойств таких пористых наноразмерных порошков, а также о влиянии внешних условий на их свойства (температуры, света, состава окружающей среды (воздух, жидкость)). Также важно исследование влияния наночастиц пористого кремния (особенно модифицированных другими веществами) с точки зрения безопасности и взаимодействия с живыми организмами. Поэтому важно исследовать взаимосвязь морфологии и состава поверхности пористого кремния в зависимости от технологических условий получения. Таким образом, исследования характеристик поверхности por-Si методами атомно-силовой микроскопии (АСМ) перспективны и необходимы [14, 15].

2. Получение порошков пористого кремния

Основной способ получения пористого кремния — электрохимическое анодное растворение. Преимуще-

ством электрохимической технологии получения пористых слоёв является то, что процесс формирования por-Si низкотемпературный, дешевый, а кроме того позволяет выращивать слои с заданными свойствами [16–24].

В настоящей работе слои пористого кремния для последующего получения порошков получали в однокамерной электрохимической ячейке с использованием автоматизированного лабораторного стенда для получения por-Si, созданного в УНЛ «Наноматериалы». В качестве электролита был использован водный раствор плавиковой кислоты с добавлением изопропилового спирта и перекиси водорода. Введение в состав электролита таких добавок, как спирты необходимы для повышения смачиваемости поверхности, так как известно, что чистая поверхность кремния гидрофобна. В качестве подложек для получения por-Si использовались монокристаллический кремний p-типа проводимости, легированный бором, с удельным сопротивлением $\rho = 10 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ — КДБ 10 (100), и кремний n-типа проводимости, легированный фосфором с удельным сопротивлением $\rho = 1 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ — КЭФ 1 (111).

После формирования слоев пористого кремния образцы были обработаны в УЗ-ванне. Ультразвуковое воздействие основано на эффекте акустической кавитации. При попадании пузырьков жидкости в поры материала и дальнейшем воздействии на жидкость акустической волны с заданной частотой, происходит процесс разрыва пузырьков, вследствие чего в пористом слое из-за механических напряжений, образованных после травления, рвутся связи, и слой в виде порошка выделяется в дисперсионную среду.

Исследовались процессы агрегации полученных порошков при их хранении в воде и изопропиловом спирте.

В табл. 1 приведены технологические условия получения и хранения порошков и параметры исходных подложек образцов.

3. Оптическая и атомно-силовая микроскопия образцов

Для исследования методами оптической и атомно-силовой микроскопии были подготовлены образцы: в полученные суспензии опускались на одинаковую глубину и на одинаковое время стеклянные подложки, затем подложки доставали и сушили при комнатной температуре.

Исследование порошков на основе пористого кремния p-типа проводимости

На рис. 1 приведены фотографии, полученные с помощью оптической микроскопии при двух увеличениях.

Таблица 1. Условия получения и хранения порошков пористого кремния

№ образца	Исходный материал	Дисперсионная среда	Плотность тока анодирования, A/cm^2	Время анодирования, t , мин.
1	КДБ 10	Вода	70	25
2	КДБ 10	Изопропиловый спирт $\text{C}_3\text{H}_7\text{(OH)CH}_3$	70	25
3	КЭФ 1	Вода	70	25
4	КЭФ 1	Изопропиловый спирт $\text{C}_3\text{H}_7\text{(OH)CH}_3$	70	25

Из рис. 1 (а, б) видно, что на поверхности образца №1 имеются большие частицы с размерами от 2 до 20 мкм, вокруг которых сгруппировались мелкие частицы. Агрегаты из мелких частиц отчетливо видны и на изображениях, полученных на АСМ (рис. 2). Для образца №2 такого агрегирования частиц не наблюдалось (рис. 1 в, г; рис. 3).

Исследование порошков пористого кремния на основе p -Si

Описаны результаты исследования поверхности порошков на основе пористого кремния p -типа, хранившихся в воде и в изопропанол, нанесенных на стеклянную подложку. Технологические условия получения

указаны в таблице 1. На поверхности образца №3 частицы ПК агрегируют в тонкие линии, а на поверхности образца №4 лежат крупные частицы порошка ПК. Размер этих частиц порядка 0,5–2 мкм, исходя из данных АСМ, представленных на рис. 4.

4. Агрегация дисперсии порошков на основе пористого кремния p - типа проводимости в воде

Для проведения эксперимента были получены порошки ПК марки КДБ 1. Раствор порошка ПК в воде разделили на две емкости, в одну из которых положили стеклянные подложки и доставали в определенное время, во вторую

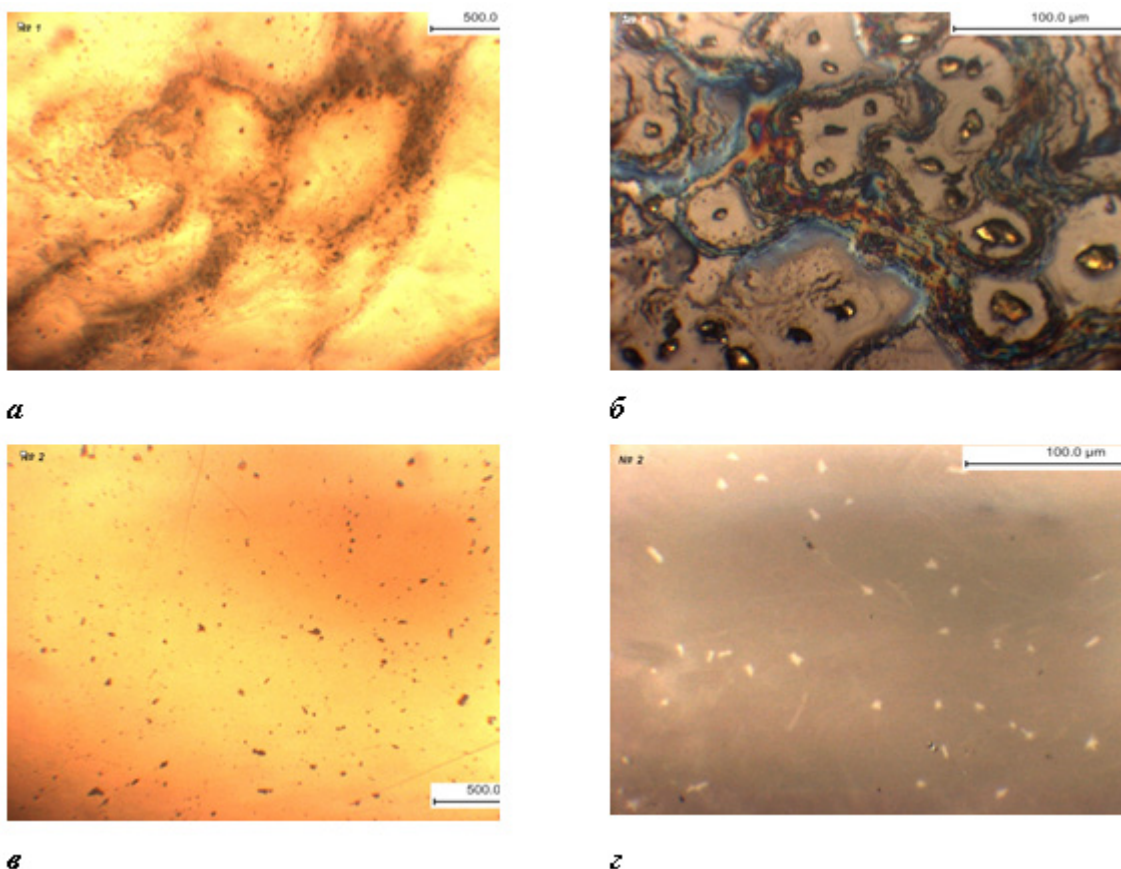


Рис. 1. Данные оптической микроскопии для образцов №1 (а, б) и №2 (в, г)

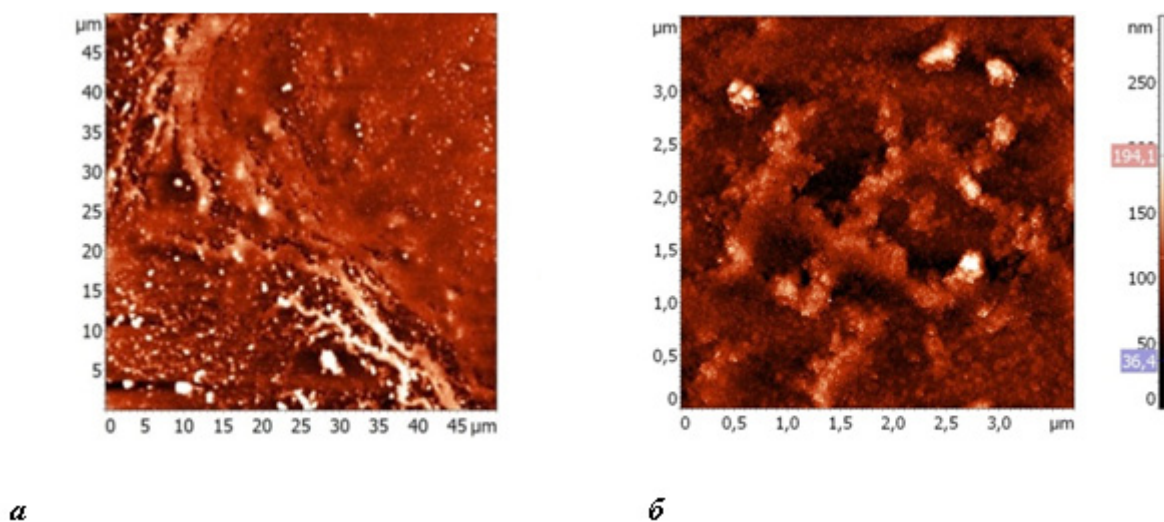


Рис. 2. АСМ изображения образца №1: а — 50x50 мкм, б — 4x4 мкм

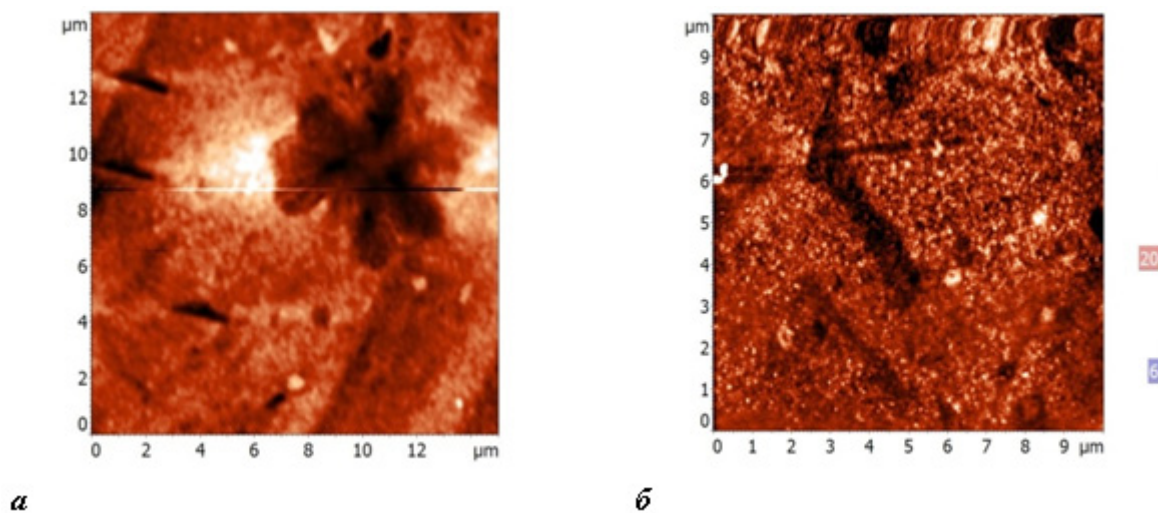


Рис. 3. АСМ изображения образца №2: а — 15x15 мкм, б — 10x10 мкм

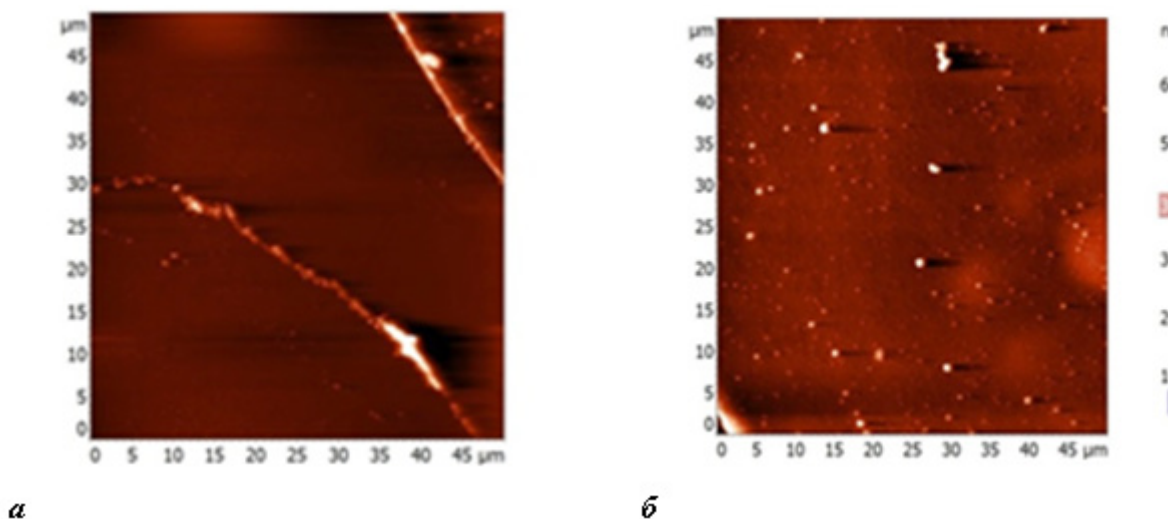


Рис. 4. АСМ изображения образца №3 (а), образца №4 (б)

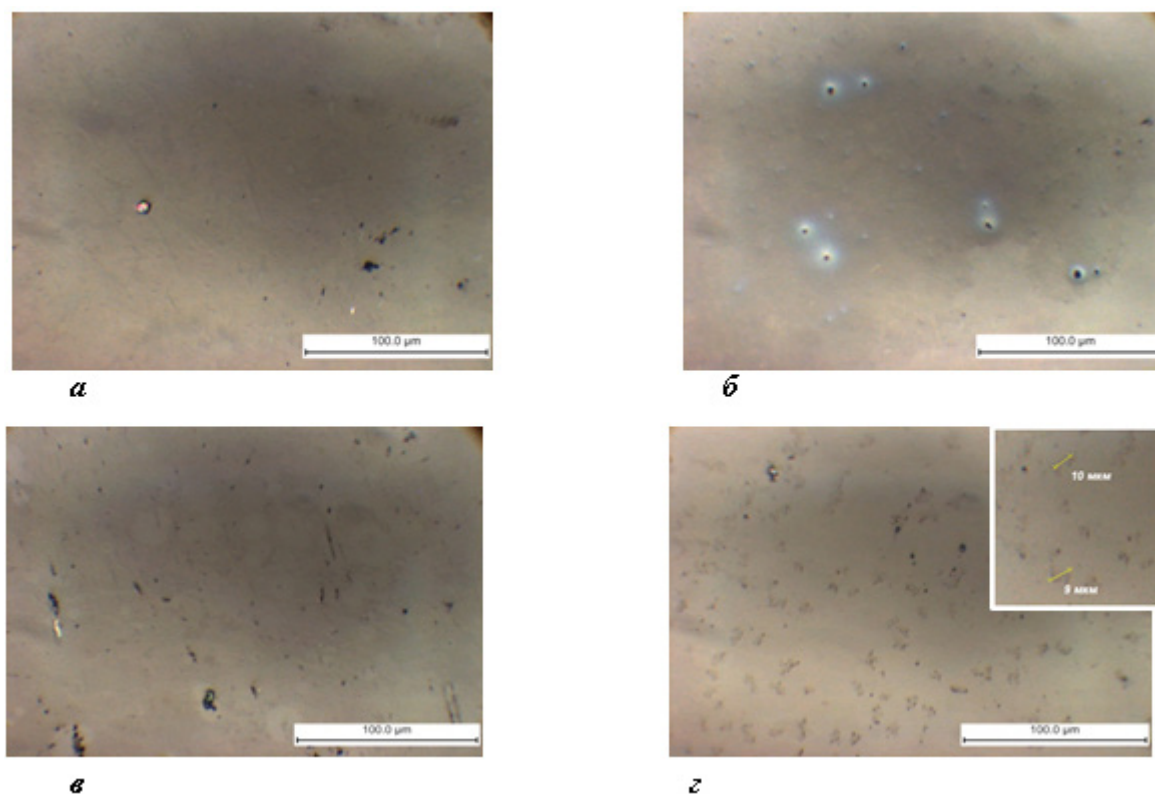


Рис. 5. Данные оптической микроскопии. Агрегация порошка ПК в объеме раствора (подложки опускали в раствор на 2 минуты) через: а — 4 дня; б — 7 дней; в — 9 дней; г — 21 день после приготовления дисперсии

Рис. 6. Данные оптической микроскопии. Агрегация порошка ПК на подложке, находящейся в растворе (подложки лежали в растворе указанное число дней) через: а — 1 день; б — 4 дня; в — 7 дней; г — 9 дней; д — 21 день после приготовления дисперсии

подложки макали по прошествии такого же времени на 2 минуты. Было обнаружено, что агрегация в объеме раствора (рис. 5) значительно меньше, чем на подложке, при ее присутствии в растворе в течение всего времени выдержки (рис. 6). Крупные агрегаты на подложках появились на 7 день наблюдений, к 21 дню их размер стал порядка 10 мкм. С течением времени увеличивается размер и число агрегатов.

Выводы

В работе были изучены особенности строения агрегатов порошков пористого кремния, полученных из монокристаллического кремния n- и p-типа проводимости,

в различных дисперсионных средах (вода, изопропиловый спирт) методом оптической микроскопии и атомно-силовой микроскопии.

Обнаружено, что в дисперсиях порошков пористого кремния происходит перераспределение частиц por-Si по объему раствора и агрегация, причем вид агрегатов зависит от типа проводимости исходного Si и состава дисперсионной среды. Для дисперсии порошка на основе пористого кремния p-типа в воде доказано, что агрегация в объеме раствора значительно меньше, чем на подложке, при ее присутствии в растворе в течение всего времени выдержки. С течением времени существенно увеличивается размер и число агрегатов.

Литература:

1. Мошников, В. А., Спивак Ю. М. «Электрохимические методы получения пористых материалов для топливных элементов» // Глава в монографии: Основы водородной энергетики/Под ред. В. А. Мошникова и Е. И. Терукова. 2-е изд. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. 288с
2. Raul, J. Martin-Palma; Miguel Manso-Silvan; Vicente Torres-Costa. Biomedical applications of nanostructured porous silicon: a review // J. Nanophoton. 2010. 4 (1), 042502.
3. B. Gupta, Y. Zhu, B. Guan, etc. Functionalised porous silicon as a biosensor: emphasis on monitoring cells in vivo and in vitro // Analyst, 2013, 138, 3593–3615.

4. Dongfei Liu, ErmeiMäkilä, Hongbo Zhang, etc. Nanostructured Porous Silicon-Solid Lipid Nanocomposite: Towards Enhanced Cytocompatibility and Stability, Reduced Cellular Association, and Prolonged Drug Release // *Advanced Functional Materials*, 2013. Vol. 23, is. 15. PP. 1893–1902.
5. H. A. Santos, L. M. Bimbo, Barbara Herranz, etc. Nanostructured porous silicon in preclinical imaging: Moving from bench to bedside // *Journal of Materials Research*, 2013. Vol. 28. Is. 02. PP. 152–164.
6. T. J. Barnes, Karyn L J., C. A Prestidge. Recent advances in porous silicon technology for drug delivery // *Therapeutic Delivery*, 2013. Vol. 4, No. 7. PP. 811–823.
7. DongfeiLiua, Luis M. Bimboa, ErmeiMäkiläb, etc. Co-delivery of a hydrophobic small molecule and a hydrophilic peptide by porous silicon nanoparticles // *Journal of Controlled Release*, 2013. Vol. 170, is. 2. Pages 268–278.
8. Emilie Secret, Kevin Smith, ValentinaDubljevic, etc. Antibody-Functionalized Porous Silicon Nanoparticles for Vectorization of Hydrophobic Drugs // *Advanced Healthcare Materials*, 2013. Volume 2, Issue 5, pages 718–727.
9. Спивак, Ю. М. Получение пористого кремния для применения в адресной доставке лекарств [Текст] / Ю. М. Спивак, Н. Р. Нигмадзянова // *Молодой ученый*. — 2014. — № 10. — с. 208–212.
10. Spivak Yu. M., Maraeva E. V., Belorus A. O., Molchanova A. V., Nigmatdzyanova N. R. PREPARATION AND INVESTIGATION OF POROUS SILICON NANOPARTICLES FOR TARGETED DRUG DELIVERY // *Smart Nanocomposites*. 2014. Т. 4. № 1. с. 115.
11. Белорус, А. О. Применение пористого кремния в биомедицине [Текст] / А. О. Белорус // *Молодой ученый*. — 2013. — № 8. — с. 69–74.
12. Lenshin, A. S., Kashkarov V. M., Spivak Yu. M., Moshnikov V. A. INVESTIGATIONS OF NANOREACTORS ON THE BASIS OF P-TYPE POROUS SILICON: ELECTRON STRUCTURE AND PHASE COMPOSITION / *Materials Chemistry and Physics*. 2012. Т. 135. № 2–3. с. 293–297.
13. Тарасов, С. А., Александрова О. А., Ламкин И. А., Максимов А. И., Мараева Е. В., Михайлов И. И., Мошников В. А., Мусихин С. Ф., Налимова С. С., Пермяков Н. В., Спивак Ю. М., Травкин П. Г. ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА СИСТЕМ «ПОРИСТЫЕ КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩИЕ МАТРИЦЫ — НАНОЧАСТИЦЫ PBS» // *Известия высших учебных заведений. Электроника*. 2014. № 4 (108). с. 21–26.
14. Атомно-силовая микроскопия для исследования наноструктурированных материалов и приборных структур: Учеб. пособие. В. А. Мошников, Ю. М. Спивак, В. А. Алексеев, Н. В. Пермяков СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014
15. Спивак, Ю. М., Муратова С. Е. Н., Петенко О. С., Травкин П. Г. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ В POR-SI И POR-AL₂O₃ ПУТЕМ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ РАСТРОВОЙ И АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ // *Молодой ученый*. 2012. № 5. с. 1–4.
16. Горячев, Д. Н. Электролитический способ приготовления пористого кремния с использованием внутреннего источника тока / Д. Н. Горячев, Л. В. Беляков, О. М. Сресели // *Физика и техника полупроводников*. — 2003. — Т. 37, вып. 4. — с. 494–498.
17. Parkhutik, V. Porous silicon — mechanisms of growth and applications // *Solid-State Electron*. — 1999. — v. 43, P. 1121–1141
18. Properties of porous silicon. Edited by Canham L. — Malvern: DERA, 1997. — 400p. 71.
19. Афанасьев, А. В., Ильин В. А., Мошников В. А., Соколова Е. Н., Спивак Ю. М. Синтез нано- и микропористых структур электрохимическими методами. Биотехносфера. 2011. № 1–2. с. 39–45.
20. Спивак, Ю. М. Наноструктурированные материалы. Особенности получения и диагностики // *Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника*. 2013. Т. 6. с. 54–64.
21. Травкин, П. Г., Соколова Е. Н., Спивак Ю. М., Мошников В. А. Электрохимическая ячейка для получения пористых анодных оксидов металлов и полупроводников. Патент на полезную модель RUS 12238501.06.2012
22. Травкин, П. Г., Воронцова Н. В., Высоцкий С. А., Леньшин А. С., Спивак Ю. М., Мошников В. А. Исследование закономерностей формирования структуры пористого кремния при многостадийных режимах электрохимического травления. *Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ»*. 2011. № 4. с. 3–9.
23. Леньшин, А. С., Кашкаров В. М., Середин П. В., Спивак Ю. М., Мошников В. А. Исследование электронного строения и химического состава пористого кремния, полученного на подложках p- и r-типа, методами хэпес и ик спектроскопии. *Физика и техника полупроводников*. 2011. Т. 45. № 9. с. 1229–1234.
24. Зими́на, Т. М., Муратова Е. Н., Спивак Ю. М., Дрозд В. Е., Романов А. А. ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ НАНОСЛОЕВ И НАНОПОРИСТЫХ КОМПОЗИЦИЙ AL₂O₃ ДЛЯ МИКРО И НАНОТЕХНИКИ // *Нано- и микросистемная техника*. 2012. № 12. с. 15–24.

Оценка психофизиологической напряженности оператора по параметрам управляющих воздействий

Паршина Ксения Сергеевна, студент;
Гарькина Ирина Александровна, доктор технических наук, профессор
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

По Н.А. Бернштейну приобретение моторного навыка осуществляется не на основе простого повторения, а в процессе умения каждый раз заново решать двигательную задачу. Движение направляется *моделью потребного будущего (акцептор результата действия)* по Анохину П.К.; физиологический аппарат предвидения и оценки результатов действия), которая строится мозгом по информации о текущей ситуации на основе имеющегося опыта. Организм для выбора наиболее эффективных путей достижения цели постоянно осуществляет вероятностный прогноз и корректирует программу поведения в соответствии с особенностями внешней среды (принцип обратной связи). Такой подход во многом позволяет понять механизм прогнозирования действия и его психического моделирования (создание образа и контроля выполнения действия). Практические задачи обеспечения эффективности использования и надежности эргатических систем, в том числе, тренажеров транспортных систем побуждают к изучению психики человека в самых различных условиях, включая предельные состояния (естественной моделью является психическая патология). В этом случае возможна имитация деятельности оператора в условиях избытка побочных шумов, дефицита информации, артефактов (экспериментальный результат, возникающий из-за отклонений в проведении эксперимента) психического отражения ситуации и неадекватного поведения.

Деятельность оператора является поведенческим актом, включающим процессы восприятия и переработки информации, формирование и выполнение на этой основе двигательных действий. Двигательный компонент в структуре сенсомоторного навыка управления является *интегральным показателем*. В нем отражается полнота и качество переработки оператором информации, поступающей по каналам различных анализаторов. Фактически *информация, воспринимаемая оператором, реализуется в управляющих движениях*.

Поэтому так важно при разработке тренажеров, оптимизации математических моделей транспортных средств, оценке имитационных характеристик тренажеров добиваться по возможности малых значений разности $u_c(t) - u_0(t)$ управлений, формируемых оператором на реальном объекте и тренажере. Оптимизация моделей и их корректировка должны производиться в *два этапа*: сначала достигается адекватность технических характеристик тренажера характеристикам реального объекта, затем — обеспечивается сближение структуры управляющих движений оператора.

Рассматриваемые эргатические системы обычно описываются уравнениями вида

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{u} + \mathbf{f}, \quad \mathbf{T}\dot{\mathbf{u}} + \mathbf{u} = \mathbf{P}\mathbf{x} + \mathbf{Q}\dot{\mathbf{x}},$$

где \mathbf{x} , \mathbf{u} , \mathbf{f} — векторы фазовых координат, управляющих и возмущающих воздействий; \mathbf{A} , \mathbf{B} , \mathbf{P} , \mathbf{Q} — матрицы соответствующих размерностей, \mathbf{T} — вектор-столбец постоянных времени. Как правило, управляющие воздействия оператора можно рассматривать как узкополосный случайный процесс. *Стиль управления* по каждому из каналов определяется параметрами *внутренней структуры* случайных функций

$$\overset{\circ}{u}_j(t) = u_j(t) - M[u_j(t)], \quad M[u_j(t)] = \frac{1}{2T_0} \int_{-T_0}^{T_0} u_j(t) dt.$$

Выбор T_0 осуществляется, исходя из *доминирующей* в $u_j(t)$ частоты $\omega_c = 2\pi f_c$; $f_c = T_c^{-1}$ (часто принимается $T_0 = 0,5T_c$).

Естественно описание $u_j(t)$ по корреляционной функции или совокупности законов распределения первого, второго и т.д. порядков. К сожалению, они не обладают требуемой наглядностью и простотой практического использования. Удобными оказались приводимые ниже показатели. Здесь управляющие воздействия рассматриваются как узкополосный случайный процесс.

Вид и структура управляющих воздействий оператора зависят от его оценки характеристик объекта управления в процессе функционирования эргатической системы. Они существенно зависят от собственных частот колебаний ω_k и безразмерных коэффициентов демпфирования $\xi_k, k \leq \frac{n}{2}$ (собственных чисел $\lambda_s = \alpha_s + i\beta_s$ матрицы \mathbf{A}). *Предпочтительными с инженерно-психологической точки зрения считаются значения $\omega_k \in (3 \dots 4,5)$, c^{-1} ; $\xi_k \approx 0,5$.*

Управляющие воздействия оператора (при завершении его *адаптации к конкретному объекту*) по каждому из каналов в качестве доминирующей составляющей содержат гармонику с частотой, *близкой* к собственной частоте колебаний. Поэтому объективными характеристиками структуры управляющих воздействий являются *оценки* ω_k локальных максимумов спектральной плотности $S_{u_k}(\omega)$. *Адаптация оператора к значениям параметров ω_k и*

ξ_k *оценивается значениями*

$$D_k = \int_{\omega_k - \Delta\omega'_k}^{\omega_k + \Delta\omega''_k} S_{u_k}(\omega) d\omega, P_k = P(\omega_k - \Delta\omega'_k < \omega < \omega_k + \Delta\omega''_k),$$

D_k и P_k — соответственно дисперсия, приходящаяся на участок $\omega_k - \Delta\omega'_k < \omega < \omega_k + \Delta\omega''_k$, и вероятность попадания частоты ω в управляющих воздействиях оператора на этот участок; значения $\Delta\omega'_k, \Delta\omega''_k$ определяются по виду $S_{u_k}(\omega)$. Параметрами $D_k, P_k, \Delta\omega'_k, \Delta\omega''_k$ достаточно полно характеризуются управляющие воздействия оператора.

Объективным показателем формирования у обучаемых требуемого навыка управления является аддитивный глобальный критерий качества управления:

$$K_u = \sum_j c_j K_j = \sum_j c_j \sum_k (\alpha_{jk} |\Delta\tilde{\omega}_k| + \beta_{jk} |\Delta\tilde{P}_k| + \gamma_{jk} |\Delta\tilde{D}_k|),$$

$$\Delta\tilde{\omega}_k = \left| \frac{\omega_k - \omega_{k0}}{\sigma[\omega_k - \omega_{k0}]} \right|, \Delta\tilde{P}_k = \left| \frac{P_k - P_{k0}}{\sigma[P_k - P_{k0}]} \right|, \Delta\tilde{D}_k = \left| \frac{D_k - D_{k0}}{\sigma[D_k - D_{k0}]} \right|$$

($\omega_{k0}, P_{k0}, D_{k0}$ соответствуют идеальному оператору — эталону).

Приведенная методика оценки психофизиологической напряженности оператора по параметрам управляющих воздействий эффективно использовались при оценке имитационных характеристик обучающих комплексов для подготовки операторов различных транспортных средств [1...5].

Литература:

1. Будылина, Е. А., Гарькина И. А., Данилов А. М., Пылайкин С. А. Аналитическое определение имитационных характеристик тренажных и обучающих комплексов/Фундаментальные исследования. — 2014. — №6—4. — с. 698—702.
2. Гарькина, И. А., Данилов А. М., Петренко В. О. Проблема многокритериальности при управлении качеством сложных систем/Мир транспорта и технологических машин. — 2013. — №2 (41). — с. 123—129.
3. Гарькина, И. А., Данилов А. М., Пылайкин С. А. Транспортные эргатические системы: информационные модели и управление/Мир транспорта и технологических машин. — 2013. — №1 (40). — с. 113—120.
4. Данилов, А. М., Домке Э. Р., Гарькина И. А. Формализация оценки оператором характеристик объекта управления/Известия ОрелГТУ. Информационные системы и технологии, 2012. — №2 (70). — с. 5—11.
5. Будылина, Е. А., Данилов А. М., Пылайкин С. А., Лапшин Э. В. Тренажеры по подготовке операторов эргатических систем: состояние и перспективы // Современные проблемы науки и образования. — 2014. — №4; URL: www.science-education.ru/118-13874.

Эксплуатация мобильных машин в зимних условиях

Рылякин Евгений Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент;

Волошин Александр Игорьевич, студент

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Одной из основных проблем при эксплуатации техники в зимних условиях является затрудненный пуск двигателей и других агрегатов машин при отрицательных температурах воздуха. Современные сельскохозяйственные тракторы не имеют эффективных средств поддержания

температуры рабочих жидкостей в рациональных пределах, что сказывается в целом на работоспособности их агрегатов. Поэтому перспективным направлением исследований является разработка и применение предпусковых подогревателей — устройств, которые прогревают

охлаждающую жидкость в автомобиле в то время, когда двигатель не работает. Предпусковой подогрев облегчает запуск двигателя, уменьшает его износ и экономит топливо [1–4].

Существуют различные способы предпускового подогрева двигателя.

Система автономного жидкостного подогрева [1,2] напоминает чем-то работу обыкновенного котла. В изготовленную из нержавеющей стали камеру подогревателя поступает топливо из бака и воздух. Эта смесь из топлива и воздуха поджигается. Она и нагревает антифриз в системе охлаждения через стенки теплообменника. Насос, который включён в эту систему, прокачивает антифриз, и он разогревает радиатор и двигатель. Происходит поэтапный прогрев всех элементов, включенных в систему.

С помощью, подключенной к системе электроники можно заблаговременно установить время, к которому должен быть совершен прогрев двигателя. В среднем на то, чтобы нагреть антифриз в системе охлаждения до восьмидесяти градусов, необходимо от получаса до часа времени. Это время напрямую зависит от температуры воздуха на улице. Подсчитав заранее время, когда надо выехать из дома, добавив время, которое необходимо для прогрева двигателя при определённом температурном показателе, можно с помощью автоматики установить такой режим подогрева двигателя, что проблем с его запуском не будет.

Расход топлива при использовании автономной жидкостной системы не более 1 литра топлива в течение часа — для самых мощных конструкций системы обогрева двигателя автомобилей.

Недостатком является то, что в случае использования в автомобиле автономного обогревателя нельзя оставлять машину в закрытом помещении. Угарные газы, возникающие во время сгорания топлива, могут вызвать отравление.

Неавтономные жидкостные подогреватели [1,3], электромагнитные элементы, работающие от сети 220В, могут быть вмонтированы в систему охлаждения или иметь свой корпус, и устанавливаться в разрез малого контура системы охлаждения. Дополнительно эти системы могут включать устройства для подзарядки аккумулятора и автоматическую систему включения.

Поскольку данный тип предпусковых подогревателей двигателя требует наличия электричества, то воспользоваться им могут только владельцы гаража. Для нагрева антифриза иногда необходимо 3 часа. Длительность подогрева обоснована тем, что в эту систему не включён насос, и циркуляция происходит за счёт термосифонного процесса. Также может возникнуть закипание антифриза. Обладателям такой системы предпускового подогрева двигателя надо не забывать о пожарной безопасности, и находиться рядом с автомобилем.

Тепловые аккумуляторы [5,6,7]. У этого устройства существует специальный термос. Во время запуска двигателя, нагретый до необходимой температуры антифриз

поступает в термос через систему клапанов. В тот момент, когда антифриз, находящийся в термосе, остывает до определённой температуры, он начинает поступать в рабочий контур. Вместо него поступает новый объём более горячего антифриза, заполняя термос. Далее автомобиль глушится, что приводит к закрытию системы клапанов, тем самым горячий антифриз остаётся в термосе до того момента, когда двигатель будет запущен. В момент запуска двигателя с помощью специального насоса, горячий антифриз поступает в малый контур системы охлаждения. Новая порция горячего антифриза обеспечивает предыдущий объём охлаждающей жидкости повышением температуры на 15...20°. Естественно, вся эта процедура нагрева антифриза в конечном итоге приводит к более быстрому запуску двигателя.

Недостатки этой системы: как все знают, жидкость в любом термосе остывает, что происходит и с антифризом. Автовладельцы, которые пользуются машиной каждый день, вполне могут установить подобную систему запуска двигателя. Однако тепла подогревателя не хватит на то, чтобы одновременно прогреть салон и двигатель.

К отдельной группе предпусковых подогревателей двигателей можно отнести те из них, что рассчитаны не на согревание антифриза, а на ускорение воспламенения смеси из воздуха и топлива [1,2]. Принцип их работы основан на автоматическом подогреве топливопровода во время запуска двигателя. Предпусковые подогреватели в виде бандажа закрепляются на фильтр тонкой очистки топлива. Тем самым для двигателей, использующих бензин, испаряемость топлива становится больше. А в случае использования дизтоплива достигается увеличение его прокачиваемости. Использование предпусковых подогревателей и в одном, и в другом случае способствует исчезновению инея, если в баке автомобиля находится недоброкачественное топливо с некоторым содержанием воды.

Для двигателей автомобилей, использующих дизельное топливо, зачастую в общую систему подогрева включены проточные подогреватели. Они выполняют функцию подогрева топливопровода тогда, когда автомобиль движется. Во избежание возникновения парафиновых пробок, дизельное топливо проходит по подогретой спирали и нагревается на 15...20 градусов. Такая система, как правило, используется совместно с теми типами предпусковых подогревателей двигателя, которые были описаны выше.

Подогреватели топливной магистрали [1,3] бывают проточные или ленточные. Проточные подогреватели врезаются в топливную систему и подогревают топливо, которое проходит через рубашку подогревателя. Работают от генератора автомобиля. Ленточными подогревателями оборачивают проблемные участки топливной магистрали.

Обогреваемые топливозаборники [1,3] представляют собой цельносварную конструкцию из нержавеющей стали, которая устанавливается в топливный бак на место штатного топливозаборника или на любое другое место,

где можно разместить фланец крепления. Тосол подводится к топливозаборнику из радиатора отопителя кабины или непосредственно от двигателя. В нижней части топливозаборника расположен электроподогреватель мощностью 180...200 Вт, который работает в предпусковом режиме двигателя и отключается при нагреве тосола до рабочей температуры.

На дизелях устанавливают электрофакельные подогреватели воздуха [1,3,7] во впускном трубопроводе, что в сочетании с маловязким моторным маслом позволяет снизить минимальную температуру пуска холодного дизеля на 10...15°C. В электрофакельных подогревателях через электрическую спираль проходит ток небольшой силы, так как она служит только для подогрева, испарения и зажигания топлива. Воздух во впускном трубопроводе подогревается за счет теплоты сгорания топливовоздушной смеси.

Свечи накаливания являются частью предпускового устройства двигателя и нужны только для облегчения пуска дизеля после долгого простоя за счёт улучшения условий образования рабочей смеси, особенно если температура воздуха низка (ниже плюс 5°C).

Калильные свечи представляют собой обычный погружной электронагреватель со спиральным резистором. Стержень свечи накаливания выступает в камеру сгорания (или предкамеру) дизеля, так, что его кончик расположен на границе создаваемого форсункой завихрения рабочей смеси.

Обычно свечи накаливания подключаются автоматически после поворота ключа зажигания в положение, непосредственно предшествующее тому, в котором включается стартер. При этом на щитке приборов загорается

специальная лампа-индикатор, а свечи накаливания начинают нагреваться до высокой температуры, попутно прогревая камеры сгорания и поступающий в камеру сгорания воздух. Однако 2...5 секунд электронакала свечи с холодного состояния хватает только для её саморазогрева, нагреть воздух и холодный металл массивного блока цилиндров и его головки свеча не в состоянии, тем более что воздух при кручении стартером двигателя постоянно замещается извне на неподогретый. Таким образом, главная цель нагрева свечей — это подогрев впрыскиваемого топлива до температуры, при которой оно испарится, хорошо смешается с поступающим воздухом и легко воспламенится уже от компрессии.

Во время пуска двигателя, впрыскиваемое через форсунки топливо, сильно нагревается и испаряется, хорошо смешивается с воздухом. Далее, за счёт компрессии, топливовоздушная смесь самовоспламеняется. Если свечи неисправны или на них не поступает ток, то компрессии холодного дизельного двигателя оказывается недостаточно для уверенного воспламенения смеси — либо двигатель заведётся после продолжительного кручения стартера, либо не заведётся вовсе. Чем ниже окружающая температура, тем более затруднителен старт такого мотора. Исправный же дизель заводится при минусовых значениях воздуха так же быстро, как и при плюсовых, что обеспечивается свечами накала и компрессией в пределах допуска.

Таким образом, все из рассмотренных способов и технических средств имеют недостатки, однако, главным их достоинством является то, что они облегчают пуск двигателя в холодный период, что продлевает срок его службы.

Литература:

1. Рылякин, Е. Г. Повышение работоспособности гидросистемы трактора терморегулированием рабочей жидкости: автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.20.03/Рылякин Евгений Геннадьевич. — Пенза: ПГСХА, 2007. — 17 с.
2. Захаров, Ю. А. Обеспечение работы мобильных машин в условиях отрицательных температур [Текст]/Ю. А. Захаров, Е. Г. Рылякин, И. Н. Семов, А. А. Орехов // Молодой ученый. — 2014. — № 17. — с. 56–58.
3. Рылякин, Е. Г. Повышение работоспособности гидропривода транспортно-технологических машин в условиях низких температур [Текст]/Е. Г. Рылякин, Ю. А. Захаров // Мир транспорта и технологических машин. — № 1 (44). — Январь-Март 2014. — с. 69–72.
4. Власов, П. А. Теоретическое обоснование терморегулирования рабочей жидкости в гидросистеме [Текст]/П. А. Власов, Е. Г. Рылякин // Нива Поволжья. — 2008. — № 1 (6). — с. 25–29.
5. Лахно, А. В. Восстановление деталей машин из полимерных материалов [Текст]/А. В. Лахно, Е. Г. Рылякин // Молодой ученый. — 2014. — № 8. — с. 196–199
6. Рылякин, Е. Г. Подогрев масла в гидросистеме [Текст]/Е. Г. Рылякин // Сельский механизатор. — 2014. — № 8. — с. 38–40.
7. Власов, П. А. Терморегулирование жидкости гидросистемы [Текст]/П. А. Власов, Е. Г. Рылякин // Сельский механизатор. — 2007. — № 6. — с. 36.

Очистка и восстановление отработанных масел

Рылякин Евгений Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент;

Волошин Александр Игорьевич, студент

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

В процессе эксплуатации масел в них накапливаются продукты окисления, загрязнения и другие примеси, которые резко снижают качество масел. Масла, содержащие загрязняющие примеси, неспособны удовлетворять предъявляемым к ним требованиям и должны быть заменены свежими маслами. Отработанные масла собирают и подвергают регенерации с целью сохранения ценного сырья, что является экономически выгодным [1–3].

Переработать отработанные моторные масла совместно с нефтью на НПЗ нельзя, т. к. присадки, содержащиеся в маслах, нарушают работу нефтеперерабатывающего оборудования.

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, СОЖ, пластичные смазки). Средний выход регенерированного масла из отработанного, содержащего около 2...4 % твердых загрязняющих примесей и воду, до 10 % топлива, составляет 70...85 % в зависимости от применяемого способа регенерации [4,5].

Для восстановления отработанных масел применяются разнообразные технологические операции, основанные на физических, физико-химических и химических процессах и заключаются в обработке масла с целью удаления из него продуктов старения и загрязнения.

Физические методы позволяют удалять из масел твердые частицы загрязнений, микрокапли воды и частично — смолистые и коксообразные вещества, а с помощью выпаривания — легкокипящие примеси. Масла обрабатываются в силовом поле с использованием гравитационных, центробежных и реже электрических, магнитных и вибрационных сил, а также фильтрование, водная промывка, выпаривание и вакуумная дистилляция. К физическим методам очистки отработанных масел относятся также различные массо- и теплообменные процессы, которые применяются для удаления из масла продуктов окисления углеводородов, воды и легкокипящих фракций [5,6].

Отстаивание является наиболее простым методом, он основан на процессе естественного осаждения механических частиц и воды под действием гравитационных сил.

В зависимости от степени загрязнения топлива или масла и времени, отведенного на очистку, отстаивание применяется либо как самостоятельно, либо как предварительный метод, предшествующий фильтрации или центробежной очистке. Основным недостатком этого метода является большая продолжительность процесса оседания

частиц до полной очистки, удаление только наиболее крупных частиц размером 50...100 мкм [5,6].

Фильтрация — процесс удаления частиц механических примесей и смолистых соединений путем пропускания масла через сетчатые или пористые перегородки фильтров. В качестве фильтрационных материалов используют металлические и пластмассовые сетки, войлок, ткани, бумагу, композиционные материалы и керамику. Во многих организациях эксплуатирующих СДМ реализован следующий метод повышения качества очистки моторных масел — увеличивается количество фильтров грубой очистки и вводится в технологический процесс вторая ступень — тонкая очистка масла [5,6].

Центробежная очистка осуществляется с помощью центрифуг и является наиболее эффективным и высокопроизводительным методом удаления механических примесей и воды. Этот метод основан на разделении различных фракций неоднородных смесей под действием центробежной силы. Применение центрифуг обеспечивает очистку масел от механических примесей до 0,005 % по массе, что соответствует 13 классу чистоты по ГОСТ 17216–71 и обезвоживание до 0,6 % по массе [4–6].

Физико-химические методы нашли широкое применение, к ним относятся коагуляция, адсорбция и селективное растворение содержащихся в масле загрязнений, разновидностью адсорбционной очистки является ионно-обменная очистка [5,6].

Коагуляция т. е. укрупнение частиц загрязнений, находящихся в масле в коллоидном или мелкодисперсном состоянии, осуществляется с помощью специальных веществ — коагулятов, к которым относятся электролиты неорганического и органического происхождения, поверхностно активные вещества (ПАВ), не обладающие электролитическими свойствами, коллоидные растворы ПАВ и гидрофильные высокомолекулярные соединения.

Процесс коагуляции зависит от количества вводимого коагулянта, продолжительности его контакта с маслом, температуры, эффективности перемешивания и т. д. Продолжительность коагуляции загрязнений в отработанном масле составляет, как правило, 20...30 мин., после чего можно проводить очистку масла от укрупнившихся загрязнений с помощью отстаивания, центробежной очистки или фильтрования [5,6].

Адсорбционная очистка отработанных масел заключается в использовании способности веществ, служащих адсорбентами, удерживать загрязняющие масло продукты на наружной поверхности гранул и на внутренней поверхности пронизывающих гранулы капилляров. В качестве адсорбентов применяют вещества природного происхо-

ждения (отбеливающие глины, бокситы, природные цеолиты) и полученные искусственным путем (силикагель, окись алюминия, алюмосиликатные соединения, синтетические цеолиты).

Адсорбционная очистка может осуществляться контактным методом — масло перемешивается с измельченным адсорбентом, перколяционным методом — очищаемое масло пропускается через адсорбент, методом противотока — масло и адсорбент движутся навстречу друг другу. К недостаткам контактной очистки следует отнести необходимость утилизации большого количества адсорбента, загрязняющего окружающую среду. При перколяционной очистке в качестве адсорбента чаще всего применяется силикагель, что делает этот метод дорогостоящим. Наиболее перспективным методом является адсорбентная очистка масла в движущемся слое адсорбента, при котором процесс протекает непрерывно, без остановки для периодической замены, регенерации или отфильтрования адсорбента, однако применение этого метода связано с использованием довольно сложного оборудования, что сдерживает его широкое распространение [1–6].

Ионно-обменная очистка основана на способности ионитов (ионно-обменных смол) задерживать загрязнения, диссоциирующие в растворенном состоянии на ионы. Иониты представляют собой твердые гирроскопические гели, получаемые путем полимеризации и поликонденсации органических веществ и не растворяющиеся в воде и углеводородах. Процесс очистки можно осуществить контактным методом при перемешивании отработанного масла с зернами ионита размером 0,3...2,0 мм или перколяционным методом при пропускании масла через заполненную ионитом колонну. В результате ионообмена подвижные ионы в пространственной решетке ионита заменяются ионами загрязнений. Восстановление свойств ионитов осуществляется путем их промывки растворителем, сушки и активации 5%-ным раствором едкого натра. Ионно-обменная очистка позволяет удалять из масла кислотные загрязнения, но не обеспечивает задержки смолистых веществ [5,6].

Селективная очистка отработанных масел основана на избирательном растворении отдельных веществ, загрязняющих масло: кислородных, сернистых и азотных соединений, а также при необходимости полициклических углеводородов с короткими боковыми цепями, ухудшающих вязкостно-температурные свойства масел.

В качестве селективных растворителей применяются фурфурол, фенол и его смесь с крезолом, нитробензол, различные спирты, ацетон, метил этиловый кетон и другие жидкости. Селективная очистка может проводиться в аппаратах типа «смеситель-отстойник» в сочетании с испарителями для отгона растворителя (ступенчатая экстракция) или в двух колоннах: экстракционной (для удаления из масла загрязнений) и ректификационной (для отгона растворителя — непрерывная экстракция). Второй способ экономичнее и получил более широкое применение [5,6].

Разновидностью селективной очистки является обработка отработанного масла пропаном, при которой углеводороды масла растворяются в пропане, а асфальтосмолистые вещества, находящиеся в масле в коллоидном состоянии, выпадают в осадок.

Химические методы очистки основаны на взаимодействии веществ, загрязняющих отработанные масла, и вводимых в эти масла реагентов. При этом в результате химических реакций образуются соединения, легко удаляемые из масла. К химическим методам очистки относятся кислотная и щелочная очистки, окисление кислородом, гидрогенизация, а также осушка и очистка от загрязнений с помощью окислов, карбидов и гидридов металлов. Наиболее часто используются:

Сернокислотная очистка [5,6]. По числу установок и объему перерабатываемого сырья на первом месте в мире находятся процессы с применением серной кислоты. В результате сернокислотной очистки образуется большое количество кислого гудрона — трудно утилизируемого и экологически опасного отхода. Кроме того, сернокислотная очистка не обеспечивает удаление из отработанных масел полициклических аренов и высокотоксичных соединений хлора.

Гидроочистка [1,5,6]. Гидрогенизационные процессы все шире применяются при переработке отработанных масел. Это связано как с широкими возможностями получения высококачественных масел, увеличения их выхода, так и с большой экологической чистотой этого процесса по сравнению с сернокислотной и адсорбционной очистками.

Недостатки процесса гидроочистки — потребность в больших количествах водорода, а порог экономической целесообразности производительности (по зарубежным данным) составляет 30..50 тыс. т/год. Установка с использованием гидроочистки масел, как правило, блокируется с соответствующим нефтеперерабатывающим производством, имеющим избыток водорода и возможность его рециркуляции [1,5,6].

Для очистки отработанных масел от полициклических соединений (смоли), высокотоксичных соединений хлора, продуктов окисления и присадок применяются *процессы с использованием металлического натрия*. При этом образуются полимеры и соли натрия с высокой температурой кипения, что позволяет отогнать масло. Выход очищенного масла превышает 80%. Процесс не требует давления и катализаторов, не связан с выделением хлоро- и сероводорода. Несколько таких установок работают во Франции и Германии. Среди промышленных процессов с использованием суспензии металлического натрия в нефтяном масле наиболее широко известен процесс Recyclon (Швейцария). Процесс Lubtex с использованием гидроксида и бикарбоната натрия (Швейцария) позволяет перерабатывать любые отработанные масла с выходом целевого продукта до 95% [5,6].

Для регенерации отработанных масел применяются разнообразные аппараты и установки, действие которых

основано, как правило, на использовании сочетания методов, что дает возможность регенерировать отработанные масла разных марок и с различной степенью снижения показателей качества.

Необходимо отметить, что при регенерации масел можно получать базовые масла, по качеству идентичные

свежим, причем выход масла в зависимости от качества сырья составляет 80...90%, таким образом, базовые масла можно регенерировать еще по крайней мере два раза, но это возможно реализовать при условии применения современных технологических процессов.

Литература:

1. Рылякин, Е.Г. Повышение работоспособности гидросистемы трактора терморегулированием рабочей жидкости: автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.20.03/Рылякин Евгений Геннадьевич. — Пенза: ПГСХА, 2007. — 17 с.
2. Рылякин, Е.Г. Почему в гидросистемах тракторов применяют моторные масла? [Текст]/Е.Г. Рылякин, П.А. Власов // Материалы ССССIC науч.-технич. конф. молодых ученых и студентов инженерного факультета. — Пенза: РИО ПГСХА, 2004. — с. 67–68.
3. Рылякин, Е.Г. Повышение работоспособности гидропривода транспортно-технологических машин в условиях низких температур [Текст]/Е.Г. Рылякин, Ю.А. Захаров // Мир транспорта и технологических машин. — № 1 (44). — Январь-Март 2014. — с. 69–72.
4. Власов, П.А. Теоретическое обоснование терморегулирования рабочей жидкости в гидросистеме [Текст]/П.А. Власов, Е.Г. Рылякин // Нива Поволжья. — 2008. — № 1 (6). — с. 25–29.
5. Шашкин, П.И. Регенерация отработанных нефтяных масел [Текст]/П.И. Шашкин, И.В. Брай. — М.: Химия, 1970. — 301 с.
6. Коваленко, В.П. Очистка нефтепродуктов от загрязнений [Текст]/В.П. Коваленко, В.Е. Турчанин. — М.: Недра, 1990. — 160 с.

Разработка интерфейса программы измерения скорости движения макета спускаемого аппарата для стенда бросковых испытаний по теме «Луна-Глоб»

Савкин Леонид Васильевич, начальник бюро;
Макаров Антон Сергеевич, инженер-программист;
Ильиных Игорь Анатольевич, инженер-разработчик РЭА;
Щербаков Алексей Николаевич, инженер-схемотехник;
Картинкин Евгений Александрович, инженер-схемотехник;
Дмитриев Виктор Геннадьевич, инженер-схемотехник
ФГУП «НПО имени С. А. Лавочкина», филиал (г. Калуга)

В рамках проекта «Луна-Глоб» одной из задач, стоящих перед ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина», является разработка стенда бросковых испытаний, имитирующего приземление спускаемого космического аппарата на поверхность Луны.

В свою очередь, одной из задач, которую должна решать информационно-измерительная аппаратура, обслуживающая испытательный стенд, является регистрация и измерение скорости движения макета спускаемого аппарата вдоль наклонной балки, внешний вид которой представлен на рис. 1, слева.

В процессе бросковых испытаний, макет должен разгоняться до скорости v_i (i — номер режима бросковых испытаний), по достижении которой будет осуществляться подрыв пирозамка в устройстве крепления макета к тележке и его отделение с последующим приземлением на площадку для сброса.

Скорость движения макета v_i можно определить из данных таблицы 1, где указаны значения вертикальной v_y и горизонтальной v_x составляющих вектора скорости движения макета для каждого из режимов испытаний, путем подстановки их в выражение

$$v_i = \sqrt{v_{xi}^2 + v_{yi}^2},$$

где v_{xi} и v_{yi} соответственно горизонтальная и вертикальная составляющие скорости движения макета вдоль наклонной балки в i -ом режиме бросковых испытаний.

Для регистрации скорости движения макета используются два типа отметочных оснасток, расположенные вдоль наклонной балки в соответствии со схемой, показанной на рис. 1, справа. Металлические метки с шагом $l = 20$ мм предназначены для регистрации скорости движения макета *индукционным* датчиком, который в про-

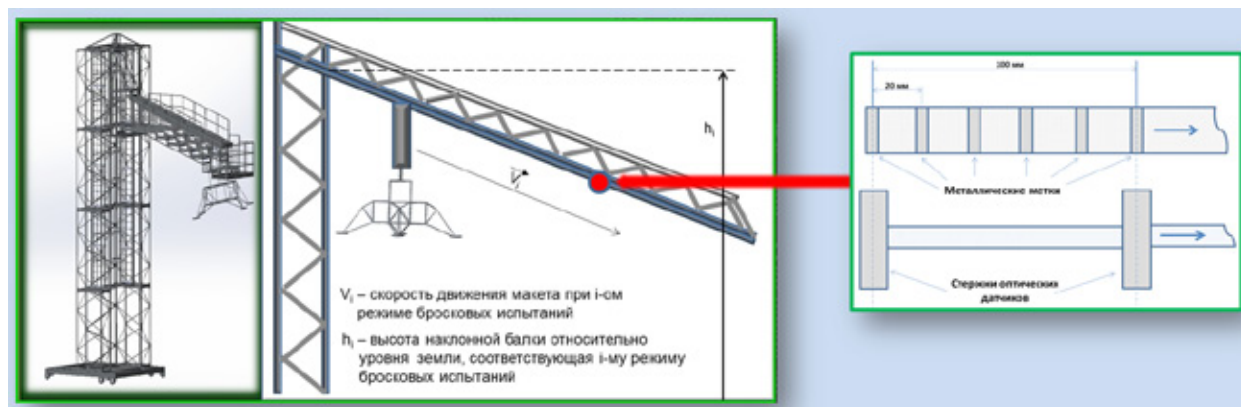


Рис. 1. Наклонная балка и отметочная оснастка вдоль наклонной балки

цессе движения макета проходит вблизи каждой из меток, выдавая сигнал логической «1», при наличии метки, и сигнал логического «0», при ее отсутствии.

Помимо металлических меток вдоль балки расположены также стержни с шагом $l = 100$ мм для оптических датчиков, предназначенные для регистрации скорости движения макета спускаемого аппарата вдоль наклонной балки оптическими щелевыми датчиками, которые по аналогии с индукционным датчиком также выдают сигналы логических «1» или «0», в зависимости от засветки их специальными стержнями.

В процессе разработки системы измерения скорости движения макета вдоль наклонной балки важное место было уделено созданию графического интерфейса пользователя программы, который позволил бы обеспечить одновременно и максимальную наглядность в визуализации данных, получаемых с информационно-измерительной системы, и относительную простоту в обслуживании процессов сбора и хранения результатов испытаний.

На рис. 2 представлен внешний вид интерфейса программы измерения скорости движения макета спускаемого аппарата вдоль наклонной балки, которая в процессе разработки программного обеспечения системы управления бросковым стендом получила рабочее название «ПОСК».

Интерфейс программы «ПОСК» имеет в своем составе всего пять управляющих кнопок, две из которых «Запустить» и «Тест» предназначены непосредственно для построения графиков скорости движения макета вдоль наклонной балки, а три кнопки «Очистить», «Печать» и «Сохранить» отводятся уже для окончательного принятия решения: сохранении полученных результатов, либо их полное удаление.

Из данного рисунка также видно, что на панели интерфейса имеются два окна для вывода графиков. Первое окно выводит график изменения скорости движения макета, а второе – график временных отчетов, получаемых от системы измерения скорости движения макета. Именно на основе последних и строится график изменения скорости движения макета спускаемого аппарата.

После нажатия кнопки «Запустить» происходит получение данных о временных интервалах $\Delta t_i, i = \overline{1, n}$, где n – порядковый номер метки, регистрируемой индукционным (либо оптическим) датчиком. Эти данные, в свою очередь, передаются от микроконтроллера системы измерения скорости на ПК с установленной на нем программой «ПОСК» по интерфейсу RS-485. В программе «ПОСК» осуществляется расчет скорости движения макета вдоль наклонной балки с присвоением мгновенных значений скоростей металлическим меткам и отметочным стержням.

Таблица 1. Режимы бросковых испытаний

№ режима испытаний	Вертикальная составляющая скорости движения макета	Горизонтальная составляющая скорости движения макета	Высота точки сброса $h, м$
	$v_{y,i}, м/с$	$v_{x,i}, м/с$	
1	0,32	1,23	3,73
2	0,32	1,23	1,9
3	0,65	2,45	3,72
4	0,65	2,45	0,28
5	0	0	1,9
6	0	0	3,74



Рис. 2. Интерфейс пользователя программы «ПОСК»

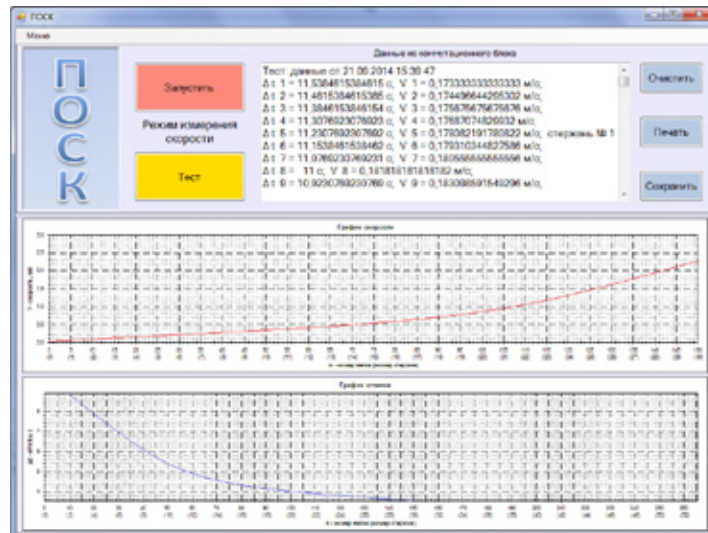


Рис. 3. Вывод графиков измерения скорости и временных отчетов

Расчет скорости движения каретки и присвоение мгновенных значений скоростей металлическим меткам осуществляется по простой формуле

$$v_i = \frac{l_i}{\Delta t_i},$$

где $\Delta t_i = t_i - t_{i-1}$ и t_{i-1} – значения времени фиксации наличия металлических меток в данный и предыдущий моменты времени индукционным датчиком. После чего, все результаты выводятся на графический интерфейс программы «ПОСК», как это показано на рис. 3.

Таким образом, разработанный интерфейс позволяет выводить графики изменения скорости движения и вре-

менных отчетов при регистрации скорости движения макета спускаемого аппарата как индукционными датчиками, так и оптическими щелевыми.

Выводы:

1) разработанный интерфейс программы «ПОСК» довольно прост в обращении с ним оператора, обслуживающего систему измерения скорости движения макета спускаемого аппарата;

2) важным достоинством данного интерфейса является возможность анализа не только графика изменения скоростей, регистрируемых индукционным и оптическими датчиками, но и анализа временных отчетов, на основе которых данные графики составляются.

Литература:

1. Аверченков, О. Е. Схемотехника: аппаратура и программы. — М.: Изд. ДМК, 2012. — 588 с.

2. Макаров, В.П., Маркачев Н.А., Захаров Ю.В., Гришин С.А., Голиков Г.В. Создание и совершенствование стенда бросковых испытаний автоматических космических аппаратов/Вестник НПО им. С.А. Лавочкина, №1, 2013, с. 56–62.
3. Ревич, Ю.В. Практическое программирование микроконтроллеров AtmelAVR на языке ассемблера. — СПб.: БХВ-Петербург, 2012.—352 с.
4. Савкин, Л.В., Шербаков А.С., Ильиных И.А., Голиков Г.В., Дмитриев В.Г., Макаров А.С. Разработка электронной аппаратуры системы автоматического управления стендом для отработки мягкой посадки на динамически подобной модели по теме «ЛУНА-ГЛОБ». Электронный научно-технический журнал «Инженерный вестник»,#08, август 2014.

Косой удар цилиндрического кольца о жесткое полупространство

Савурбаев Абдумумин, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник;
 Мухаммадиев Матлаб Тошмуродович, соискатель;
 Эшанкулов Шерзод Уматович, соискатель;
 Гулиев Алижон Абдулхакимович, соискатель
 Джизакский политехнический институт (Узбекистан)

Рассматриваются и анализируются результаты расчетов переходных процессов при высокоскоростном ударе цилиндрического тела о жесткую преграду при различных углах α и скоростях удара V_0 в линейной и нелинейной средах с учетом выхода переднего фронта волны за зону контакта.

Oblique impact of a cylindrical ring on a rigid half-space

Reviews and analyzes the results of calculations of transients at high velocity impact of a cylindrical body of a rigid barrier at different angles α and V_0 speeds of impact in the linear and nonlinear media in the front of the wave output for the contact zone.

Данная работа является продолжением исследования переходных процессов при высокоскоростном нормальном ударе цилиндрического тела о жесткую преграду [1, 2], где численно моделируется и решается задача о нормальном 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.

Дискретная модель также строится на основе метода конечных элементов [3, 4]. Исследуется распространение волн в твердом теле при различных значениях скорости V_0 и угла удара α при условии полного прилипания в упругом и нелинейно-упругом материалах.

Уравнения движения выводятся на основе вариационного принципа Гамильтона-Остроградского и имеют следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{k \in M(i)} \Delta m_k \ddot{u}_i^{(1)}(t) &= - \sum_{k \in M(i)} \iint_{\Delta V_{k\alpha}(t)} \left[\sigma_{11} \frac{\partial}{\partial x_1} + \sigma_{12} \frac{\partial \psi_e}{\partial x_2} \right] dV + \sum_{k \in M(i)} \int_{\Delta S_{k\alpha}(t)} P^{(1)} \psi_e ds, \\ \sum_{k \in M(i)} \Delta m_k \ddot{u}_i^{(2)}(t) &= - \sum_{k \in M(i)} \iint_{\Delta V_{k\alpha}(t)} \left[\sigma_{12} \frac{\partial \psi_e}{\partial x_1} + \sigma_{22} \frac{\partial \psi_e}{\partial x_2} \right] dV + \sum_{k \in M(i)} \int_{\Delta S_{k\alpha}(t)} P^{(2)} \psi_e ds; \end{aligned} \right\}$$

Здесь $u_k^{(i)}(t)$ — узловые значения составляющих перемещений;

$\Delta V_{k\alpha}$ — объем элемента;

σ_{ij} — компоненты тензора напряжений $(i, j = \overline{1, 2})$

$\Delta S_{k\alpha}(t)$ — площадь поверхности элемента;

$P^{(i)}$ — заданные составляющие поверхностных сил;
 $M(i)$ — множество кратных элементов в узле с номером i ;
 Δm_k — доля общей массы элемента, сосредоточенная в его k -м узле;
 $\psi_k(x_1, x_2)$ — функции формы;
 e — локальный номер узла i в k — м элементе.

Надо отметить, что при нормальном ударе задача обладает осевой симметрией и расчетная область представляется в виде четверти кольца [1], а в случаях $\alpha \neq 0$ (угол удара) задача неосесимметричная и расчетная область имеет вид:

- I. $\varphi = 0, R_0 \leq r \leq R_M$ — ось симметрии,
- II. $-\varphi_N \leq \varphi \leq \varphi_N, r = R_0$ — внутренняя граница,
- III. $\varphi = \pm \varphi_N, R_0 \leq R \leq R_M$ — боковые границы,
- IV. $-\varphi_N \leq \varphi \leq \varphi_N, r = R_M$ — внешняя граница.

Границы II, III и часть границы IV вне зоны контакта считаются свободными от усилий

$$\left. \begin{aligned} P^{(1)}(R_0, \varphi_j, t) = P^{(2)}(R_0, \varphi_j, t) = 0, \quad j = \overline{-N, N}; \\ P^{(1)}(r_i, \varphi_N, t) = P^{(2)}(r_i, \varphi_N, t) = 0, \quad i = \overline{1, M}; \\ P^{(1)}(R_M, \varphi_j, t) = P^{(2)}(R_M, \varphi_j, t) = 0, \quad i \in k(i) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где $k(i)$ — узлы в зоне контакта.

В данном случае взаимодействие с гладкой преградой не рассматривается, поскольку при этом заданное условие совпадает со случаем нормального удара.

Как было отмечено [2], случай прилипания при нормальном ударе удобно рассматривать в полярной системе координат. При этом условия на контакте имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} u^{(1)}(R_M, \varphi_j) = -V_0 \cos \varphi_j \\ u^{(2)}(R_M, \varphi_i) = V_0 \sin \varphi_i, \quad i \in k(i) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Таким образом, решение нестационарной начально-краевой задачи косоугольного удара сводится к задаче Коши для системы обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка, разрешенных относительно старших производных, которая решается с соответствующими граничными (1–2) и нулевыми условиями

$$u_i^{(k)}(t)|_{t=0} = 0, \quad \dot{u}_i^{(k)}(t)|_{t=0} = 0, \quad p^{(1)}|_{t=0} = p^{(2)}|_{t=0} = 0, \quad (k = \overline{1, 2}).$$

При вычислительных экспериментах расчетная область

$$w: \begin{cases} 0.8 \leq r \leq 1 \\ -0.4 \leq \varphi \leq 0.4 \end{cases}$$

разбита на элементарные ячейки с регулярными шагами сетки разбиения $\Delta r = \Delta \varphi = 0.01$. Вводится обозначение

φ_A, φ_B , соответственно координаты крайних точек контактной зоны.

1. Линейный случай.

Результаты расчетов в однородной изотропной линейно-упругой среде с различными α получены при параметрах:

$$V_0 = -0.05; \quad \xi = \zeta = 0.0005, \quad \lambda = 0.4, \quad \mu = 0.285 \quad \text{где } \xi, \zeta \text{ — коэффициенты искусственной вязкости,}$$

λ, μ — обобщенные модули упругости.

В силу неосесимметричности задачи, в процессе ее решения ищется закон расширения зоны контакта в обе стороны от точки начального соприкосновения тела с преградой. Полученные законы расширения зоны контакта (рис. 1) при $\alpha \neq 0$ показывают, что точки тела в критической области (в случае, когда скорость расширения зоны контакта превосходит скорости звука в кэ) попадают в зону контакта симметрично, затем скорость расширения зоны контакта в правой части ($\dot{\varphi}_B$) постепенно начинает отставать от скорости ($\dot{\varphi}_A$) в левой части. Полученные расчеты при $\alpha = 0, \alpha = 0.5, \alpha = 0.8$ показывают, что максимальная скорость расширения зоны контакта достигается при нормальном ($\alpha = 0$) ударе, а увеличение угла α при фиксированной скорости удара приводит к уменьшению скоростей как $\dot{\varphi}_A$, так и $\dot{\varphi}_B$. При этом интервал времени симметричного расширения зоны контакта также уменьшается

Изменения во времени компонент напряжений σ_{11}, σ_{12} в точках $r = 1, r = 0.95, r = 0.9$ в сечении $\varphi = 0$ приводятся на рис.2. Здесь пунктирные и сплошные линии соответствуют расчетам, проведенным при $\alpha = 0.5$ и

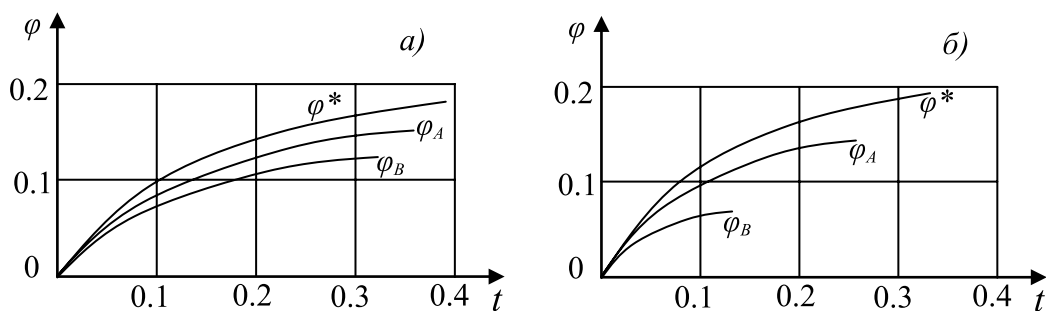


Рис. 1. Законы изменения зоны контакта. Среда — линейная, $\alpha = 0.5$ (а), $\alpha = 0.8$ (б)

$\alpha = 0.8$. Кривая σ_{11} в этих точках характеризуется скачкообразным и непрерывным изменением на фронтах продольной и поперечной волн соответственно и повторяют качественную картину при нормальном ударе. При этом интенсивность скачка по абсолютному значению при $\alpha = 0.5$ больше, чем в случае $\alpha = 0.8$. Уменьшение кривой σ_{11} в приведенных точках обусловлена с приходом в данные точки, отраженной от внутренней границы волн.

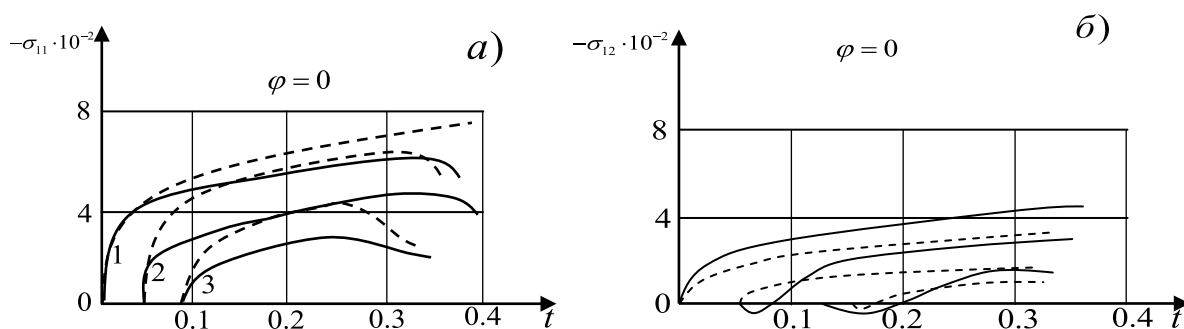


Рис. 2. Графики изменения компонент тензора напряжений в сечении $\varphi = 0$; ---- $\alpha = 0.5$; — $\alpha = 0.8$.
 1 — ($r = 1, \varphi = 0$); 2 — ($r = 0.95, \varphi = 0$); 3 — ($r = 0.9, \varphi = 0$)

На рассмотренном промежутке времени характер изменения кривой σ_{22} качественно совпадает со случаем $\alpha = 0$ и отличается количественно. Компоненты касательных напряжений σ_{12} в этих точках увеличиваются с ростом угла α .

Изменения компонент напряжений в симметричных, относительно геометрической оси симметрии $\varphi = 0$, точках $\varphi = 0.15$ и $\varphi = -0.15$ в сечении $r = 0.95$ приводятся на рис.3. Здесь пунктирные и сплошные линии также соответствуют расчетам при $\alpha = 0.5$ и $\alpha = 0.8$. Изменения компонент напряжений σ_{11}, σ_{22} в точке ($r = 0.95, \varphi = -0.15$) характеризуются появлением растягивающих значений. При этом в отличие от случая $\alpha = 0.5$ при $\alpha = 0.8$ наблюдается интервал времени (0.22–0.29), где обе нормальные составляющие напряжений растягивающие, что может привести к разрушению. По распределению этих компонент по линии контакта (Рис.3, 4) для фиксированных моментов времени $\tau = 0.225, \tau = 0.350$ можно судить, что опасные зоны возникают в окрестности крайних точек зоны контакта (φ_A), положения которых обозначены вертикальными пунктирными и непрерывными линиями, которые соответствуют расчетам при $\alpha = 0.5$ и $\alpha = 0.8$. Увеличение угла удара α приводит к росту зоны растягивающих нормальных составляющих напряжений. Компонента σ_{11} достигает своего максимального абсолютного значения в окрестности точки начального соприкосновения тела с преградой, а компонента σ_{22} максимально по абсолютной величине в окрестности крайних точек зоны контакта, которые, как видно из рисунка, являются концентраторами напряжений на нормальных к преграде площадках. Увеличение угла α приводит к уменьшению значений σ_{11} в контактной зоне и увеличению σ_{22} .

Распределение объемной деформации и интенсивности деформации по узлам контактной границы при фиксированных моментах времени $\tau = 0.225, \tau = 0.350$ (рис. 5, 6) подтверждает предыдущие рассуждения.

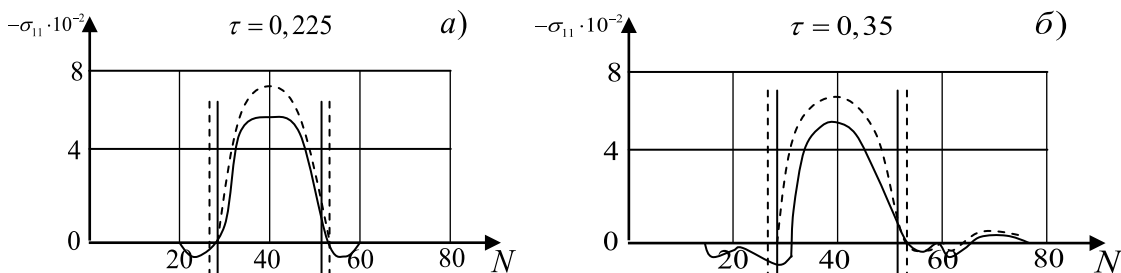


Рис. 3. Распределение компоненты тензора напряжений $-\sigma_{11}$ по узлам линии контакта, для фиксированных моментов времен. Среда — линейная, ---- $\alpha = 0.5$; — $\alpha = 0.8$

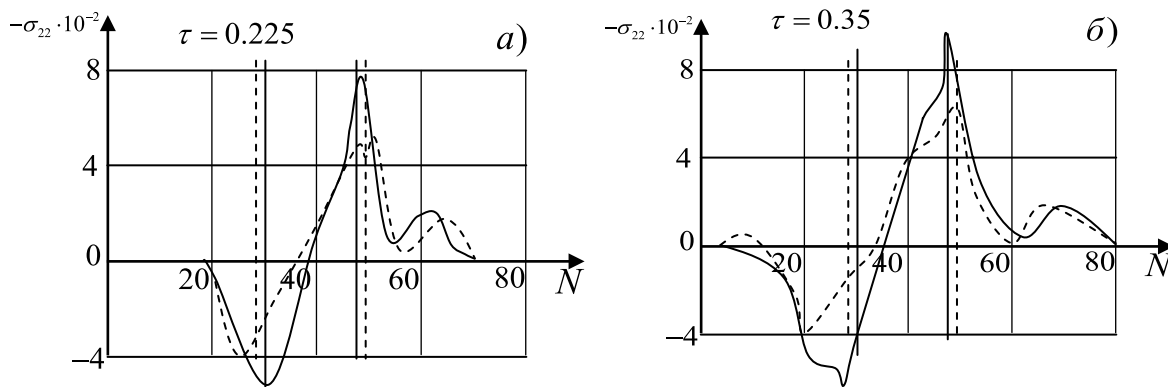


Рис. 4. Распределение компоненты тензора напряжений по узлам контактной границы для фиксированных моментов времен. Среда — линейная, ---- $\alpha = 0.5$; — $\alpha = 0.8$.

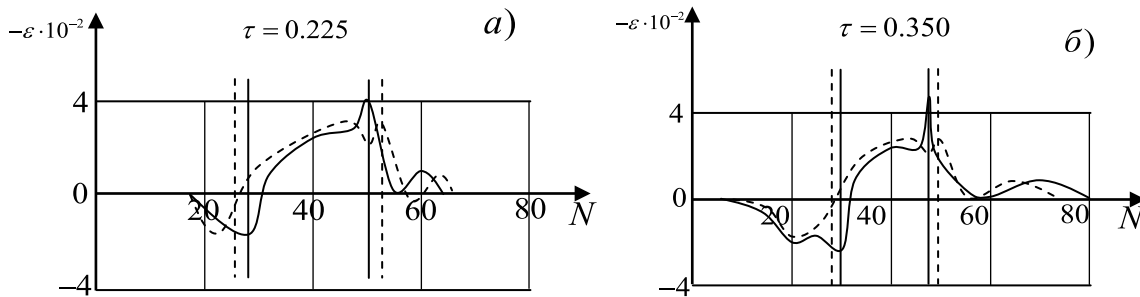


Рис. 5. Распределение объемной деформации по узлам контактной границы, для фиксированных моментов времен. Среда — линейная, ---- $\alpha = 0.5$; — $\alpha = 0.8$.

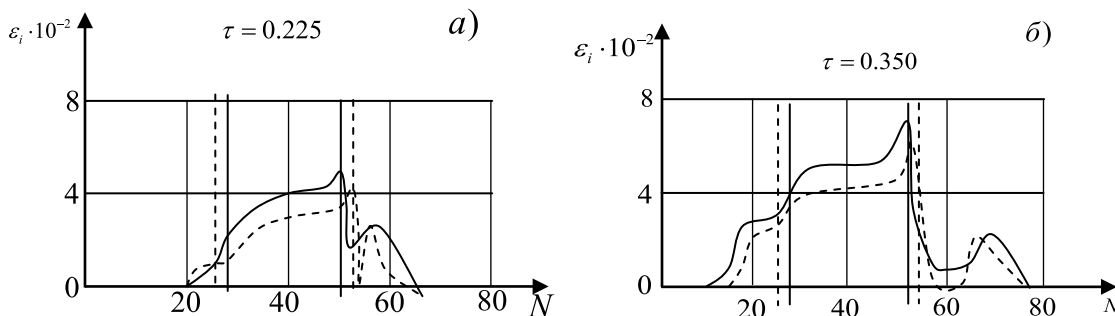


Рис. 6. Распределение интенсивности деформации по узлам контактной границы для фиксированных моментов времени. Среда — линейная, ---- $\alpha = 0.5$; — $\alpha = 0.8$.

2. Нелинейный случай.

Законы расширения зоны контакта при различных значениях α когда в качестве функции, характеризующих объемное сжатие и деформацию сдвига, использованы экспериментальные кривые, аппроксимированные в виде вогнутой функции:

$$\sigma = 0.49 \cdot \varepsilon + 22.364 \cdot \varepsilon^2, \quad \sigma_i = 1.145 \cdot \varepsilon_i + 49.091 \cdot \varepsilon_i^2$$

показаны на рис.7.

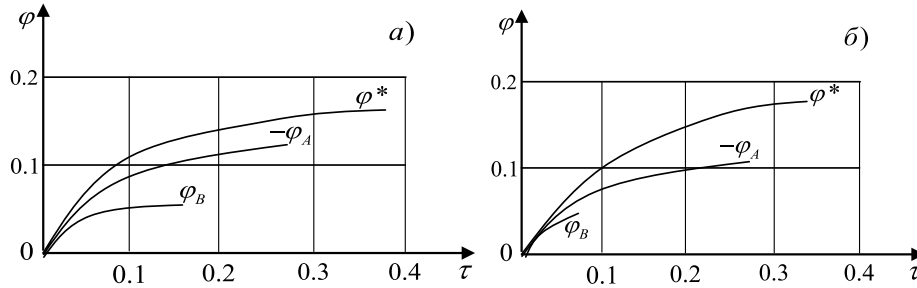


Рис. 7. Закон расширения зоны контакта. Среда — нелинейная, $\alpha = 0.5$ (а); $\alpha = 0.8$ (б).

Здесь для сопоставления приводится кривая φ^* для линейной среды, полученной при нормальном ударе.

Колебательный характер изменения кривых σ_{11} , σ_{22} (рис.8) наблюдается в симметричных относительно сечения $\varphi = 0$ точках ($r = 0.95, \varphi = 0.15$), ($r = 0.95, \varphi = -0.15$). Здесь зона растягивающих напряжений в отличие от точек геометрической оси симметрии, возникает как при $\alpha = 0.5$, так и при $\alpha = 0.8$.

Распределения по линии контакта инвариантов тензора деформаций $\varepsilon, \varepsilon_i$ для фиксированных моментов времени $\tau = 0.195, \tau = 0.262$ при $\alpha = 0.8$ приводится на рис.9, 10. Эти кривые повторяют качественную картину линейного случая. Как видно из рисунка, на рассмотренных моментах времени не наблюдается расширение зоны контакта вправо, но величина скачка этих кривых увеличивается. За зоной контакта наблюдается сложное распределение величин, обусловленных влиянием дифрагированных и отраженных от свободной внешней границы волн. Расширение наблюдается в узлах, охваченных воздействием переднего фронта продольной волны и крайней точки зоны контакта $\dot{\varphi}_A$.

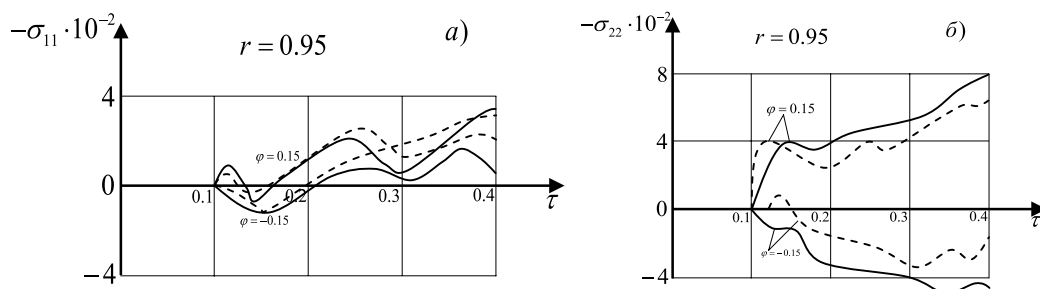


Рис. 8. Графики тензора напряжений σ_{11} (а), σ_{22} (б) в симметричных точках при 0.95. Среда — линейная, ---- $\alpha = 0.5$; — $\alpha = 0.8$.

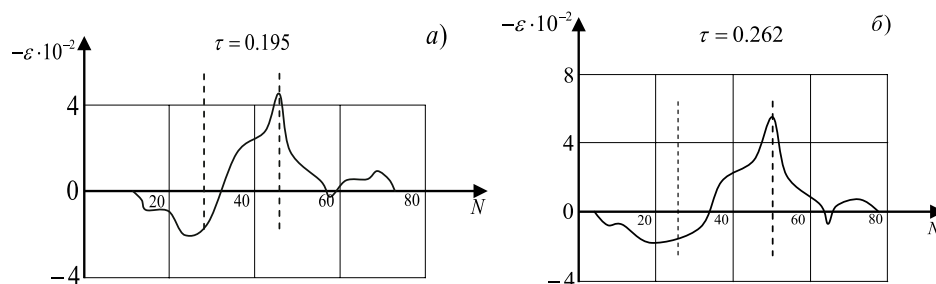


Рис. 9. Распределение объемной деформации по узлам контактной границы для фиксированных моментов времени. Среда — нелинейная, $\alpha = 0.8$.

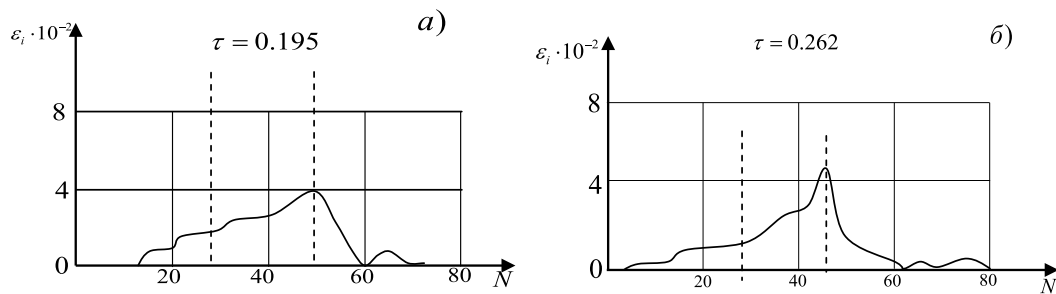


Рис. 10. Распределение интенсивности деформации по узлам контактной границы, для фиксированных моментов времени. Среда — нелинейная, $\alpha = 0.8$.

Литература:

1. Салиев, Э.А., Савурбоев А. и др. Численное моделирование и исследование переходных процессов при высокоскоростном ударе цилиндрического тела о жесткую преграду. «Молодой учёный» №6 (53) июнь. 2013 г. с 138–142.
2. Савурбоев, А., Дангалов Н.А., Шертайлоков Г.М., Эшонкулов Ш.У. Алгоритм расчета переходного процесса при ударе цилиндрического кольца о жесткое полупространство. «Молодой учёный» №8 (67) июнь. 2014 г. с 246–249.
3. Зенкевич, О., Чанг И. — Метод конечных элементов в теории сооружений и в механике сплошных сред. М.: Недра, 1974. с 240.
4. Образцов, И. Ф. и др. Метод конечных элементов в задачах строительной механики летательных аппаратов. — М.: Высшая школа. — 1985. — 391.

Определение вида короткого замыкания в линии, питающей трансформаторную подстанцию, с запретом автоматического повторного включения выключателя

Суров Леонид Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент;
 Филиппов Вадим Владимирович, кандидат технических наук, доцент;
 Махиянова Наталья Витальевна, старший преподаватель
 Орловский государственный аграрный университет

Описан способ определения вида короткого замыкания в линии, питающую трансформаторную подстанцию с запретом автоматического повторного включения выключателя, разработана структурная схема и описана ее работа с изображением выходных сигналов.

Ключевые слова: короткое замыкание, автоматическое повторное включение, датчик напряжения, блок обработки информации, генератор зондирующих импульсов, приемник зондирующих импульсов, регистрирующее устройство.

A certain kind of short circuit in the line supplying the transformer substations with a ban autoreclosing switch

Surov L. D.; Filippov V. V.; Mahiyanova N. V.
 Orel State Agrarian University

Describes a method for determining the form of a short circuit in the line that feeds the transformer substation with the prohibition of automatic reclosing circuit breaker designed block diagram and described her work with the image of the output signals.

Keywords: short circuit, automatic reclosing, voltage sensor, the processing unit, the generator probe pulses, the receiver probe pulses, the recording device.

С целью восстановления нормальной работы линий электроснабжения при неустойчивых коротких замыканиях (КЗ) выключатели, коммутирующие их, оборудуются устройствами автоматического повторного включения (АПВ). Однако АПВ выключателей происходит

не только при неустойчивых КЗ, когда за время бестоковой паузы КЗ самоустраняется, но и в случаях, когда КЗ оказывается устойчивым. При этом повторное включение выключателя происходит на ток КЗ. Это приводит к тому, что все оборудование, через которое протекает

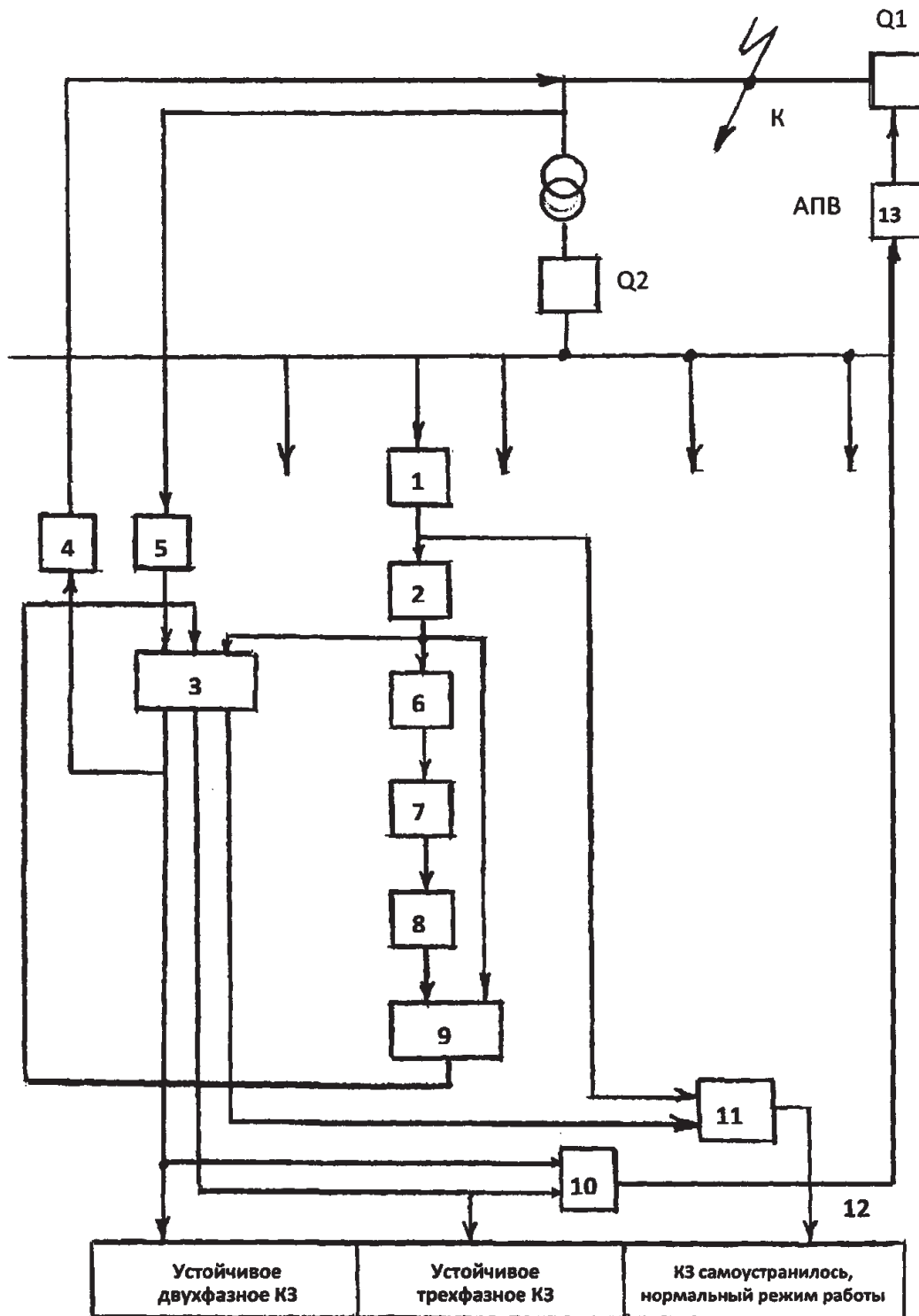


Рис. 1. Упрощенная схема сети, питающей трансформаторную подстанцию и структурная схема способа

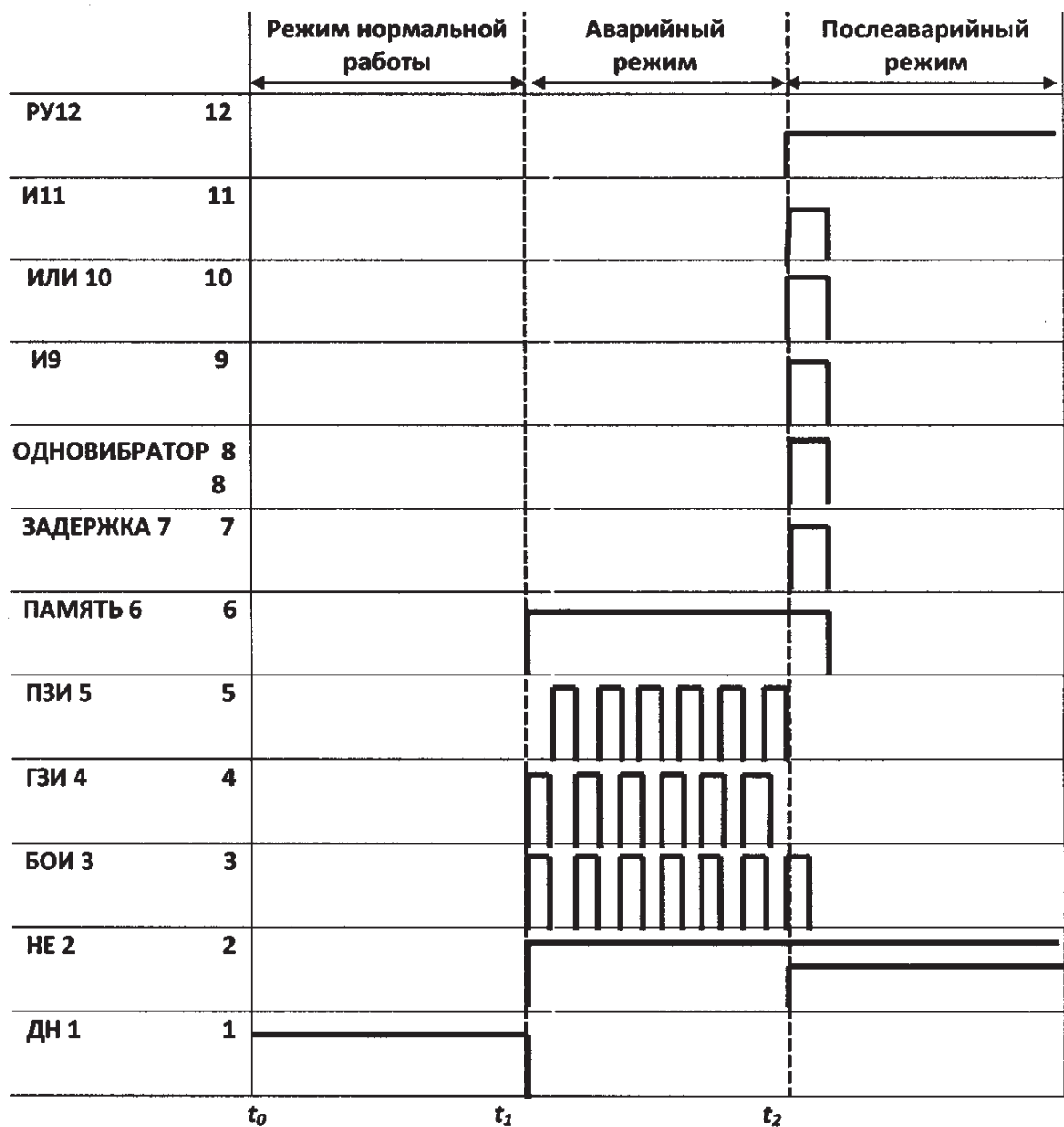


Рис. 2. Диаграммы сигналов на выходах элементов структурной схемы

ток КЗ, подвергается неоправданному термическому и динамическому воздействию. Для исключения таких воздействий необходимо определять какое КЗ (устойчивое или неустойчивое) и, если КЗ оказывается устойчивым, то необходимо вводить запрет на АПВ выключателя. Для предотвращения АПВ выключателя, питающего трансформаторную подстанцию, на основании способа контроля [1], разработана структурная схема, позволяющая реализовать такой запрет. Для реализации запрета необходимо вести контроль исчезновения линейных напряжений на подстанции. И, если это происходит, то с момента исчезновения контролируемой величины начинают отсчет времени, равный времени выдержки АПВ

выключателя, во все провода линии с определенной периодичностью посылают зондирующие импульсы, измеряют время их прохождения до точек отражения и вычисляют расстояние до этих точек. И, если до момента окончания отсчитываемого времени все вычисленные расстояния будут равны друг другу и меньше чем расстояние до выключателя, то делают вывод об устойчивом трехфазном КЗ. А, если только два вычисленных расстояния равны друг другу и меньше, чем третье, то делают вывод об устойчивом двухфазном КЗ и посылают запрет на АПВ. Или когда все вычисленные расстояния до окончания отсчитываемого времени выдержки АПВ стали равны друг другу и равны расстоянию до выключателя, то делают

вывод о самоустранившемся КЗ и сигнал на запрет АПВ не посылают. Такой контроль и запрет АПВ выключателя можно осуществить с помощью структурной схемы, изображенной на рис. 1

На рис. 2 также показаны t_1 — момент времени исчезновения одного из линейных напряжений, t_2 — момент окончания времени выдержки срабатывания защиты ГВ 1, t_3 — момент окончания времени выдержки АПВ плюс времени выдержки срабатывания защиты с ускорением ГВ 1.

Схема работает следующим образом. В нормальном режиме работы подстанции напряжение на линии, питающей ее, существует поэтому на выходе ДН есть сигнал (рис. 2, диагр. 1). Этот сигнал поступает на вход элемента НЕ и обеспечивает отсутствие сигнала на его выходе (рис. 2, диагр. 2). При возникновении устойчивого двух или трехфазного КЗ в точке К по истечении выдержки времени срабатывания защиты выключателя Q1 произойдет его отключение. Напряжение в питающей линии и на подстанции исчезнут, поэтому исчезнет выходной сигнал с ДН 1 (рис. 2, диагр. 1, момент времени t_1). Исчезновение входного сигнала на элементе НЕ2 обеспечит появление его выходного сигнала (рис. 2, диагр. 2). Этот сигнал поступит на третий вход БОИ 3, он сработает и с его первого выхода на вход ГЗИ 4 пойдет сигнал (рис. 2, диагр. 3). Сигнал, поступивший в ГЗИ 4 обеспечит посылку зондирующих импульсов во все провода линии (рис. 2, диагр. 4). Импульсы дойдя до точек отражения вернуться обратно и поступят в ПЗИ 5, а с его выхода (рис. 2,

диагр. 5) поступят на первый вход БОИЗ. БОИЗ определит время прохождения импульсов до точек отражения, вычислит расстояние до этих точек, сравнит эти расстояния между собой и с расстоянием до места установки. И, если два вычисленных расстояния будут равны друг другу и расстоянию до Q1, то с его второго выхода пойдет сигнал (рис. 2, диагр. 3, момент времени t_2), который поступит в РУ12 и в нем появится информация об устойчивом двухфазном КЗ. Так же этот сигнал поступит в элемент ИЛИ10, а с его выхода на АПВ 13 и обеспечит запрет на его включение.

Если при сравнении все вычисленные расстояния будут равны друг другу и меньше, чем расстояние до Q1, то с третьего выхода БОИ 3 пойдет сигнал, который поступит в РУ12 и в нем появится информация о том, что в линии устойчивое трехфазное КЗ. Также этот сигнал поступит на вход элемента ИЛИ10, а с его выхода в АПВ 13 и предотвратит его включение. А когда все вычисленные расстояния будут равны друг другу и равны расстоянию до Q1, то с четвертого выхода БОИЗ пойдет сигнал, который поступит в РУ12, где появится информация о том, что КЗ самоустранилось.

Таким образом, можно определить вид устойчивого КЗ и вводить запрет при этом или установить факт возникновения неустойчивого КЗ, которое за время бестоковой паузы самоустранилось и восстановлен нормальный режим работы. Это позволит исключить неоправданное воздействие тока КЗ на оборудование, продлить срок службы и сократить расходы на эксплуатацию.

Литература:

1. Патент РФ №2527477, опубл. 10.09.2014, бюл.№25.

Виды короткого замыкания, определенные по отказу отключения секционных выключателей

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

Описан способ определения вида короткого замыкания по отказу отключения секционных выключателей, разработана структурная схема и описана ее работа с изображением выходных сигналов.

Ключевые слова: короткое замыкание, головной выключатель, секционный выключатель, автоматическое повторное включение, датчик напряжения, регистрирующее устройство, приемник зондирующих импульсов.

Types of short circuit defined by failure off section switch

Surov L. D.; Filippov V. V.;
Orel State Agrarian University

Describes a method for determining the type of short circuit failure shutdown section switches, a block diagram is developed and described her work with the image of the output signals.

Keywords: short circuit, automatic reclosing, a voltage sensor, a recording device, the receiver probe pulses.

Районные двухтрансформаторные подстанции, трансформаторы которых питаются от разных линий электропередач, с целью повышения надежности электроснабжения, выполняют с двумя секциями шин, которые соединены секционным выключателем (СВ). В нормальном режиме работы СВ отключен. Однако, в случае необходимости, например при плановых или аварийных отключениях одного из трансформаторов, СВ включается и питание отключенной секции шин осуществляется от второго трансформатора. Протяженные, секционированные линии электропередач, питающиеся от разных секций шин подстанции, по возможности, соединяются сетевым пунктом автоматического включения резерва

(АВР), выключатель которого в нормальном режиме работы отключен. При этом образуется условно-замкнутое кольцо в котором при возникновении устойчивого короткого замыкания (КЗ) на отдельном участке линии его можно локализовать, а на неповрежденный подать напряжение. Такая ситуация может быть при возникновении устойчивого КЗ в точке 4 (рис. 1). При этом должны отключиться головной выключатель (ГВ) 3 и секционирующий выключатель 5. Это приведет к исчезновению напряжения на пункте АВР со стороны поврежденной линии и выключатель сетевого пункта АВР 6 включится и обеспечит питание неповрежденного участка линии.

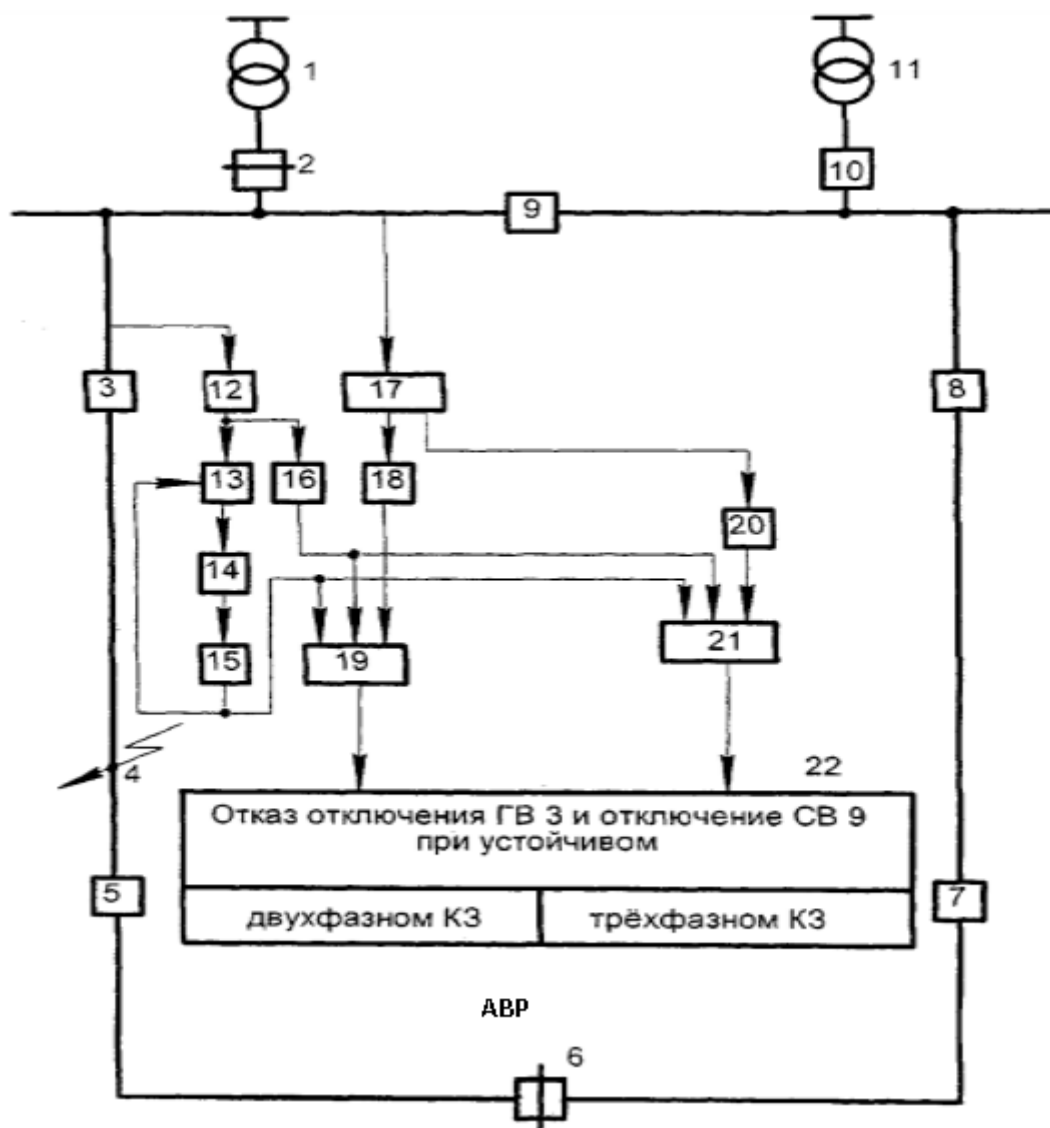


Рис. 1. Упрощенная схема двухтрансформаторной подстанции и структурная схема способа контроля:
 2 и 10 — выключатели на низкой стороне трансформаторов 1 и 11; 3 и 8 — головные выключатели;
 5 и 7 — секционирующие выключатели; 6 — выключатель с устройством АВР; 9 — секционный выключатель;
 4 — точка короткого замыканий

И произойдет это при правильном действии средств автоматизации.

Однако при отказе отключения ГВ 3, что может произойти по причине какой-либо неисправности, произойдут отключения выключателей 9 и 5 и включение выключателя 6. При этом, как и при правильном действии средств автоматики, неповрежденный участок линии получит питание, но информация, об отказе отключения ГВ 3 и отключении СВ 9, обслуживающему персоналу будет

неизвестна. Это может привести к ошибочным действиям обслуживающего персонала при восстановлении нормальной схемы электроснабжения подстанции. Поэтому для правильного и своевременного получения информации о таком состоянии сети разработан способ [1]. Согласно этому способу для контроля отказа отключения головного и отключения секционного выключателей с момента появления тока КЗ в линии основного источника питания начинают отсчитывать время, равное вре-

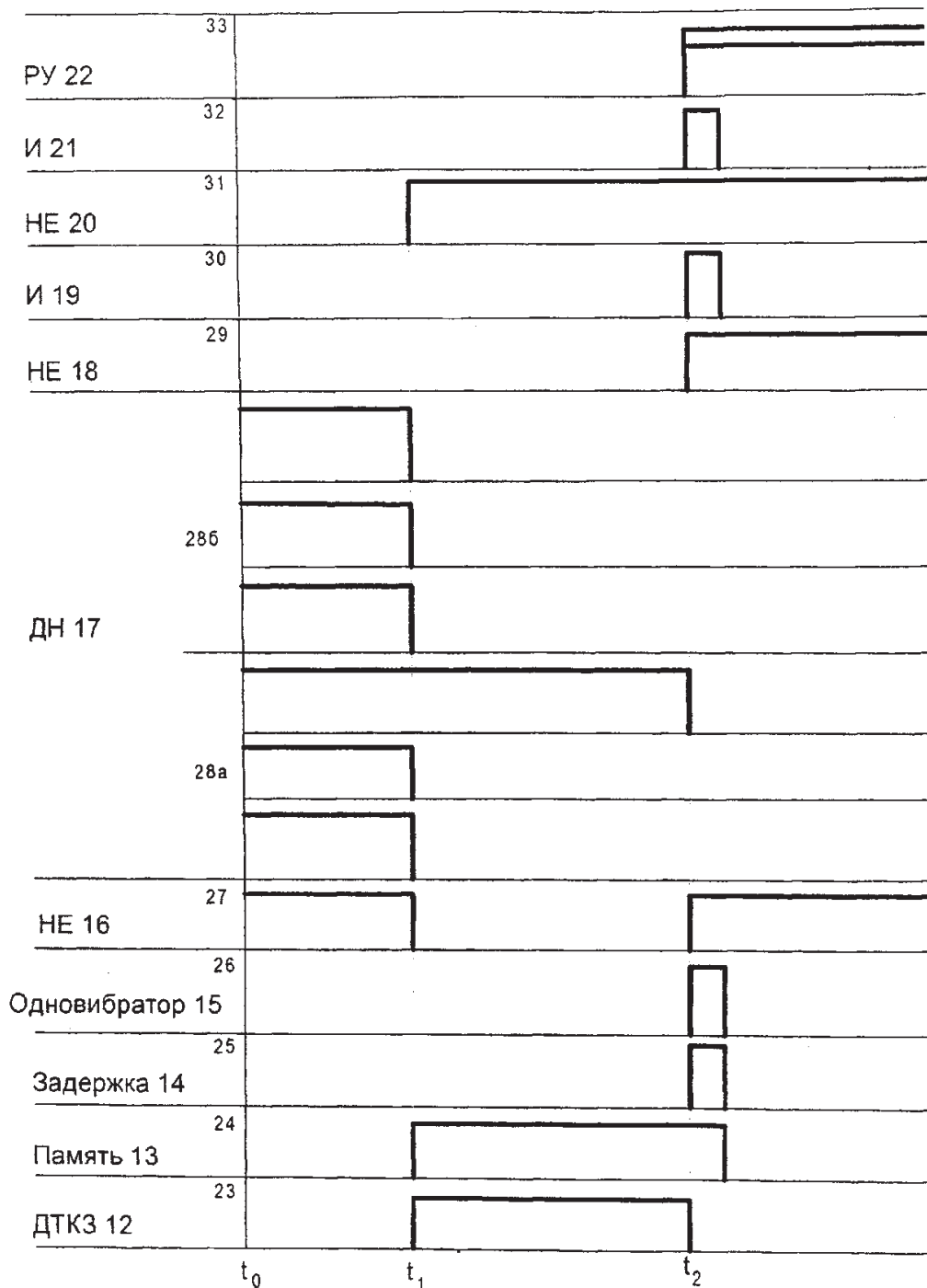


Рис. 2. Диаграммы выходных сигналов элементов: структурной схемы: t_1 — момент времени возникновения устойчивого КЗ в точке 4, t_2 — момент окончания времени выдержки отключения СВ 9

мени отключения СВ шин. При этом определяют вид КЗ и контролируют момент его исчезновения. И если два линейных напряжения исчезли в момент появления тока КЗ, а третье линейное напряжение и ток КЗ исчезли в момент окончания отсчета времени, то делают вывод об отказе отключения ГВ и отключении СВ при двухфазном КЗ. А если в момент появления тока КЗ исчезли все линейные напряжения, а в момент окончания отсчета времени исчез и ток КЗ, то делают вывод об отказе отключения ГВ и отключении СВ при трехфазном КЗ.

Суть способа поясняется рисунками, где: на рис. 1 — представлена структурная схема, содержащая элементы для реализации способа; на рис. 2 — диаграммы выходных сигналов элементов, показанных на рис. 1 при устойчивом КЗ в точке 4.

Способ осуществляется следующим образом.

В нормальном режиме работы кольцевой сети выключатели 2, 3, 5, 7, 8 и 10 включены, а выключатели 6 и 9 отключены. При работе кольцевой сети в режиме подстанционного резервирования выключатели 3, 5, 7, 8, 9 и 10 включены, а выключатели 2 и 6 отключены. При этом на выходе ДТКЗ 12 сигнала нет, поэтому схема находится в режиме контроля.

При устойчивом КЗ, например в точке 4, на выходе ДТКЗ 12 появится сигнал (рис. 2, диагр. 23, момент времени t_1) который поступит на вход элемента ПАМЯТЬ 13. Этот сигнал запомнится им (рис. 2, диагр. 24) и поступит на вход элемента ЗАДЕРЖКА 14. С выхода этого элемента сигнал появится через время, равное времени выдержки включения СВ 9. По истечении этого времени (рис. 2, диагр. 25, момент времени t_2) сигнал поступит на вход элемента ОДНОВИБРАТОР 15. Он произведет одно колебание (рис. 2, диагр. 26) и своим сигналом «сбросит» память с элемента 13 (рис. 2, диагр. 24) и поступит на первый вход элемента И 19. В это

момент времени (t_2 см. рис. 2) СВ 9 отключится и отключит ток КЗ, поэтому существовавший до этого сигнал на первом выходе ДН 17, при устойчивом двухфазном КЗ в точке 4, исчезнет (рис. 2, диагр. 28а, момент времени t_2). А если в точке 4 будет устойчивое трехфазное КЗ, то сигнал со второго выхода ДН 17 исчезнет в момент времени t_1 (рис. 2, диагр. 28б). Отсутствие сигнала на первом выходе ДН 17 при двухфазном КЗ приведет к появлению выходного сигнала на элементе НЕ 18 (рис. 2, диагр. 29). Этот сигнал поступит на третий вход элемента И 18. Отключение тока КЗ приведет также к исчезновению выходного сигнала с ДТКЗ 12 (рис. 2, диагр. 23) и появлению при этом сигнала на выходе элемента НЕ 16 (рис. 2, диагр. 27, момент времени t_2), который поступит на второй вход элемента И 19 на второй вход элемента И 21. Элемент И 19 сработает (рис. 2, диагр. 30) и его сигнал поступит в РУ 22 и там появится информация о том, что произошел отказ отключения ГВ 3 и отключение СВ 9 при двухфазном КЗ. При трехфазном КЗ в точке 4 на элемент И 21 входные сигналы поступят с элементов ОДНОВИБРАТОР 15, НЕ 16 и НЕ 20 (рис. 2, диагр. 26, 27 и 31 соответственно) и он сработает в момент времени t_2 и его выходной сигнал (рис. 2, диагр. 32) поступив в РУ 22 обеспечит появление нем информации об отказе отключения ГВ 3 и отключении СВ 9 при трехфазном КЗ.

Таким образом, при реализации и использовании разработанной структурной схемы можно своевременно получать информацию об отказе отключения головного и отключении секционного выключателей при работе кольцевой сети в режиме подстанционного резервирования с определением вида короткого замыкания. Это позволит принять правильные решения по устранению возникшей неисправности и сократить время недоотпуска электрической энергии.

Литература:

1. Патент РФ №2504062, опубл. 10.09.2014, бюл. №25.

Контроль отказа запрета автоматического включения резерва в линии кольцевой сети

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

Описан способ контроля отказа запрета автоматического включения резерва в линии кольцевой сети, разработана структурная схема и описана ее работа с изображением выходных сигналов.

Ключевые слова: силовой трансформатор, автоматическое включение резерва, головной выключатель, короткое замыкание, датчик тока короткого замыкания, регистрирующее устройство.

Control failure disable the automatic transfer switch in line ring network

Surov L. D.; Filippov V. V.;
Orel State Agrarian University

Describes a method of control failure disable automatic transfer switch in the ring line, a block diagram is developed and described her work with the image of the output signals.

Keywords: power transformer, automatic source, head switch, sensor short circuit current.

Двухтрансформаторные подстанции с высоким напряжением 35–110 кВ и двухстороннем питанием, в сельском электроснабжении составляют примерно 70%. Большая протяженность и разветвленность распре-

делительных сетей напряжением 10 кВ, в отдельных случаях при строительстве сетей, позволяет применять сетевое резервирование. При этом разные линии одной двухтрансформаторной подстанции питаются от разных

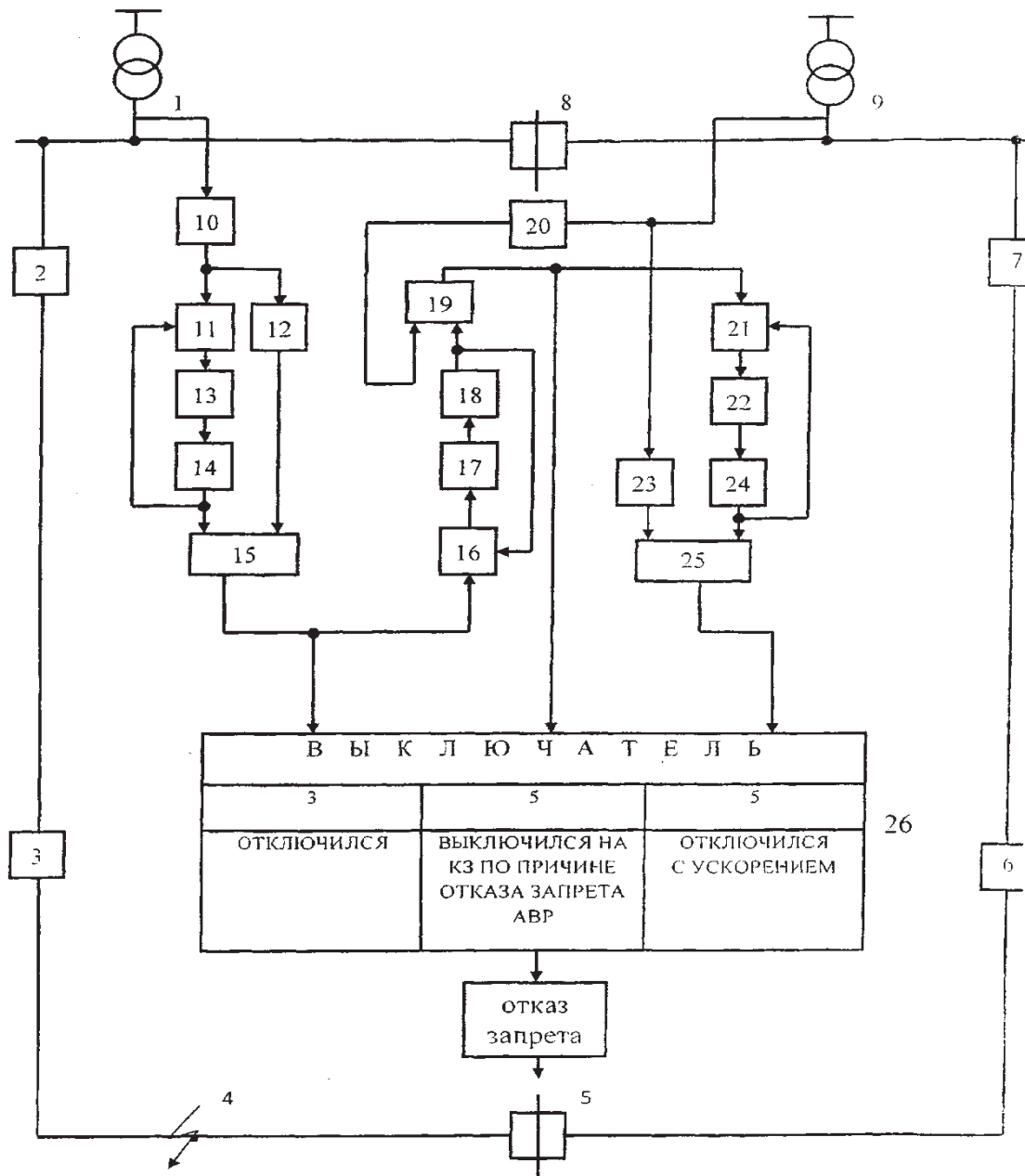


Рис. 1. Упрощенная однолинейная схема двухтрансформаторной подстанции и структурная схема способа

шин и соединяются сетевым пунктом (СП) автоматического включения резерва (АВР), выключатель которого в нормальном режиме работы сети отключен (рис. 1). Такое резервирование позволяет в автоматическом режиме при повреждении отдельных участков секционированных линий подключить неповрежденный участок линии к резервному источнику питания (другому трансформатору этой подстанции). Признаком для включения выключателя СП является исчезновение напряжения со стороны основного источника питания (для АВР одно-стороннего действия). С целью предотвращения неоправданного включения выключателя СП на короткое замыкание (КЗ) когда они происходят на смежном участке линии, например в точке К4 (рис. 1), пункты оборудуются устройствами запрета. Однако, по причине разных обстоятельств, запрет может отказать и тогда произойдет включение выключателя СП на КЗ. При этом сработает его защита и он отключится. Информация о двух бросках тока КЗ произошедших в сети может быть зарегистрирована на подстанции, однако информация о состоянии выключателей Q3 и Q5 остается неизвестной. С целью получения информации об отключении выключателя Q3,

отказе запрета, включении на КЗ выключателя Q5 и последующем его отключении разработан способ [2].

Согласно этому способу с момента появления первого броска тока короткого КЗ на шинах трансформатора основного источника питания начинают отсчет времени, равный времени выдержки срабатывания защиты секционирующего выключателя (СВ) линии, питающейся от трансформатора основного источника питания. При этом контролируют момент отключения первого броска тока КЗ и, если в момент окончания отсчитываемого времени ток КЗ отключится, то делают вывод об отключении СВ. С момента отключения первого броска тока КЗ начинают отсчет времени, равный времени выдержки включения выключателя сетевого пункта АВР плюс времени выдержки срабатывания защиты с ускорением этого выключателя. И, если в момент окончания времени выдержки включения выключателя СП АВР появляется второй бросок тока КЗ на шинах трансформатора резервного источника питания, а в момент окончания времени выдержки срабатывания защиты с ускорением ток КЗ отключается, то делают вывод о включении выключателя сетевого пункта АВР на КЗ по причине отказа запрета АВР и его последующем отключении.

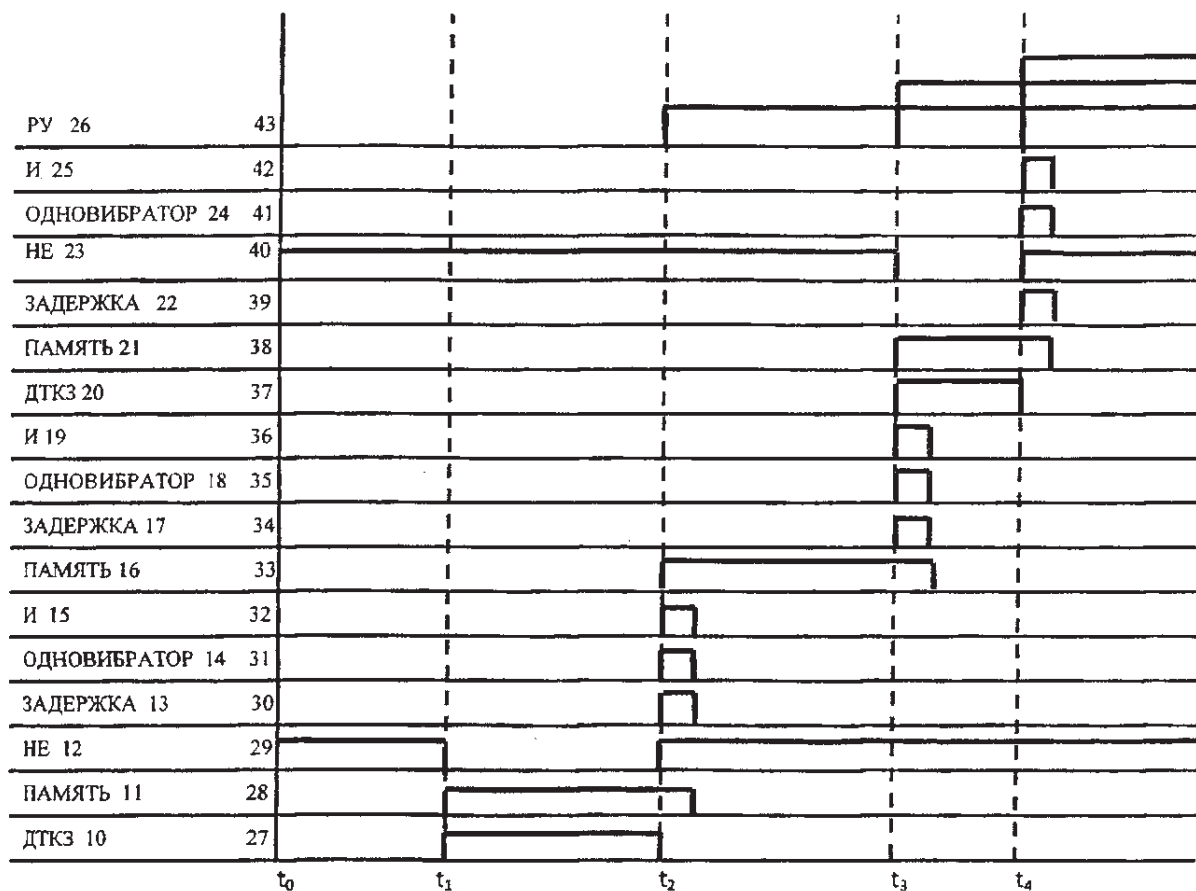


Рис. 2. Диаграммы выходных сигналов элементов структурной схемы: t_1 — момент времени возникновения КЗ, t_2 — момент времени отключения тока КЗ, t_3 — момент времени включения выключателя 5 сетевого пункта АВР, t_4 — момент времени отключения выключателя 5 сетевого пункта АВР с ускорением

Суть способа поясняется рисунками, где: на рис. 1 — представлена структурная схема, содержащая элементы для реализации способа; на рис. 2 — диаграммы сигналов на выходах элементов, показанных на рис. 1 при КЗ в точке 4.

Схема (см. рис. 1) содержит: силовой трансформатор 1 основного источника питания, головной выключатель (ГВ) 2 линии основного источника питания, СВ 3 линии основного источника питания, точку КЗ 4, выключатель 5 сетевого пункта АВР с устройством запрета АВР на КЗ, СВ 6 линии резервного источника питания, ГВ 7 линии резервного источника питания, выключатель 8 шинного АВР, силовой трансформатор 9 резервного источника питания, датчик тока короткого замыкания (ДТКЗ) 10, элемент ПАМЯТЬ 11, элемент НЕ 12, элемент ЗАДЕРЖКА 13, элемент ОДНОВИБРАТОР 14, элемент И 15, элемент ПАМЯТЬ 16, элемент ЗАДЕРЖКА 17, элемент ОДНОВИБРАТОР 18, элемент И 19, ДТКЗ 20, элемент ПАМЯТЬ 21, элемент ЗАДЕРЖКА 22, элемент НЕ 23, элемент ОДНОВИБРАТОР 24, элемент И 25, регистрирующее устройство (РУ) 26.

Способ осуществляется следующим образом.

В нормальном режиме работы линии кольцевой сети выключатели 2, 3, 6 и 7 включены, а выключатели 5 и 8 отключены, короткого замыкания в точке 4 нет, поэтому на выходе ДТКЗ 10 сигнала нет и схема находится в режиме контроля.

При устойчивом КЗ в точке 4 (см. рис. 1) на выходе ДТКЗ 10 появится сигнал (рис. 2, диагр. 27, момент времени t_1). Он поступит на вход элемента НЕ 12. при этом существовавший до этого его выходной сигнал исчезнет (рис. 2, диагр. 29). Параллельно с этим выходной сигнал ДТКЗ 10 поступит на вход элемента. ПАМЯТЬ 11, он запомнится им (рис. 2, диагр. 28) и поступит на вход, элемента ЗАДЕРЖКА 13 с выхода которого он появится через время, равное времени выдержки срабатывания защиты СВ 3 (рис. 2, диагр. 30, момент времени t_2). По истечении этого времени сигнал поступит на элемент ОДНОВИБРАТОР 14, он совершит одно колебание и своим сигналом (рис. 2, диагр. 31) «сбросит» память с элемента 11 и поступит на первый вход элемента И 15. В этот момент времени (t_2 , см. рис. 2) СВ 3 под действием своей защиты отключится и отключит первый бросок тока КЗ, поэтому с выхода ДТКЗ 10 сигнал исчезнет (рис. 2, диагр. 27). При этом на выходе элемента НЕ 12 вновь появится сигнал (рис. 2, диагр. 29), который поступит на второй вход элемента И 15. Наличие двух входных сигналов на И 15 приведет к появлению его выходного сигнала (рис. 2, диагр. 32). Этот сигнал поступит в РУ 26 и обеспечит

появление в нем информации о том, что СВ 3 отключился (рис. 2, диагр. 43). А также он поступит на вход элемента ПАМЯТЬ 16, где запомнится (рис. 2, диагр. 33) и поступит на вход элемента ЗАДЕРЖКА 17. С выхода этого элемента сигнал появится через время, равное времени выдержки включения выключателя 5 сетевого пункта АВР (рис. 2, диагр. 34, момент времени t_3) и поступит на вход элемента ОДНОВИБРАТОР 18. Он совершит одно колебание и своим сигналом (рис. 2, диагр. 35) «сбросит» память с элемента 16 и поступит на второй вход элемента И 19. В этот момент времени (рис. 2, момент времени t_3) произойдет включение выключателя 5 сетевого пункта АВР по причине отказа запрета, вызванного какой-либо неисправностью, поэтому на выходе ДТКЗ 20 появится сигнал (рис. 2, диагр. 37), который поступит на первый вход элемента И 19 и на его выходе появится свой сигнал (рис. 2, диагр. 36). Этот сигнал поступит в РУ 26 и там появится информация о включении выключателя 5 сетевого пункта АВР на КЗ по причине отказа запрета, а также сигнал поступит на вход элемента ПАМЯТЬ 21, где запомнится (рис. 2, диагр. 38), с выхода этого элемента сигнал поступит на вход элемента ЗАДЕРЖКА 22 и задержится в нем на время, равное времени выдержки срабатывания защиты с ускорением выключателя 5 сетевого пункта АВР (рис. 2, диагр. 39). Выйдя из последнего элемента сигнал поступит в элемент ОДНОВИБРАТОР 24, он совершит одно колебание (рис. 2, диагр. 41) и своим сигналом «сбросит» память с элемента 21 и поступит на первый вход элемента И 25. В этот момент времени (рис. 2, момент времени t_4) выключатель 5 сетевого пункта АВР отключится с ускорением, при этом ток КЗ исчезнет и на выходе элемента НЕ 23 вновь появится сигнал (рис. 2, диагр. 40), исчезнувший в момент повторного появления тока КЗ. Этот сигнал поступит на второй вход элемента И 25 и на его выходе появится свой сигнал (рис. 2, диагр. 42), который поступит в РУ 26 и обеспечит появление в нем информации о том, что выключатель 5 сетевого пункта АВР отключился с ускорением.

Таким образом, при реализации рассмотренной структурной схемы можно своевременно с шин подстанции получать информацию о возникновении устойчивого КЗ на смежном с СП участке линии, отключении секционирующего выключателя, отказе запрета, выключении выключателя СП на КЗ и последующем его отключении. Это позволит обслуживающему персоналу правильно оценить ситуацию и сократить время на устранение КЗ и восстановление электроснабжения, предлагаемый способ позволяет получить информацию об отказе запрета АВР в линии кольцевой сети.

Литература:

1. Основные направления развития распределительных электрических сетей на период до 2015 год. М.; ОАО «РОСЭП», 2004.
2. Патент РФ №2461945, опубл. 20.09.2012, бюл.№26.

Механические и тепловые воздействия на РЭС

Таньков Георгий Васильевич, доцент;
Горячев Николай Владимирович, доцент;
Кочегаров Игорь Иванович, доцент
Пензенский государственный университет

Известно, что реальные радиоэлектронные средства (РЭС) при эксплуатации могут испытывать механические и тепловые воздействия. Такие воздействия могут быть отнесены к дестабилизирующим факторам и зачастую становятся причинами отказов РЭС. Ниже рассмотрим возможные отказы РЭС, вызванные механическими и тепловыми воздействиями.

Механические воздействия — вибрации, удары могут вызывать:

1. Поломки и деформации несущих конструкций.
2. Отслаивание печатных проводников на наружных слоях печатного узла.
3. Паразитная модуляция сигналов.
4. Обрывы проводов и выводов ЭРИ.
5. Отрыв навесных ЭРИ.
6. Поломка (растрескивание) керамических и ситалловых подложек.
7. Изменение паразитных связей.

Под влиянием механических воздействий может произойти изменение параметров полупроводниковых ЭРИ. Прежде всего воздействия могут сказаться на вольтамперных характеристиках диодов, транзисторов, тиристорных, емкости и обратных напряжениях р-п переходов, коэффициенте передачи тока транзисторов.

ЭРИ и механические части РЭС характеризуются термостойкостью — т. е. способностью материалов и компонентов кратковременно выдерживать воздействие высоких и низких температур, а также резких изменений температуры (термоудар).

Термостойкость определяют по температуре, соот-

ветствующей началу существенных изменений свойств или параметров компонентов. Например, термостойкость р-п-переходов транзистора ограничена при высоких температурах собственной проводимостью кристалла полупроводника. Считается, что допустимая температура германиевого перехода составляет 85–110°C, кремниевого — 125–150°C, для материалов из стекловолокна, пропитанного эпоксидными лаками допустимая температура ограничена значением +133°C.

Тепловые воздействия могут вызывать:

1. Ухудшение изоляционных свойств материалов.
2. Изменение электрических параметров р-п перехода полупроводниковых ЭРИ.
3. Изменение значений емкости и сопротивления ЭРИ.
4. В случае различных ТКЛР материалов возникают внутренние напряжения, приводящие к деформациям конструкций и вызывающие обрывы проводников и электрических соединений.

Существует большое число способов по обеспечению теплозащиты и виброзащиты, а также обеспечения ЭМС и др. Но перед конструкторами РЭС всегда стоит задача синтеза при неформализованных показателях эффективности и неопределенной размерности задачи. Одновременно, частные задачи конструирования имеют почти регулярные решения при умолчании об уровне решения других задач. Например, расчеты теплозащиты абстрагируются от способов виброзащиты, обеспечения ЭМС и др., несмотря на то, что все эти меры разрабатываются для одной и той же РЭС и направлены на обеспечение ее надежности.

Литература:

1. Воробьев, Д. В. Характеристики и источники механических воздействий на радиоэлектронные средства / Д. В. Воробьев, Н. С. Реута, Н. В. Горячев // Молодой ученый. — 2014. — № 19. — с. 182–185.
2. Бростилов, С. А. Метрологический анализ измерительной подсистемы информационно-измерительной системы для исследования средств воздушного охлаждения / С. А. Бростилов, Н. В. Горячев, Т. Ю. Бростилова // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2014. Т. 2. с. 127–129.
3. Трифоненко, И. М. Обзор систем сквозного проектирования печатных плат радиоэлектронных средств / И. М. Трифоненко, Н. В. Горячев, И. И. Кочегаров, Н. К. Юрков // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2012. Т. 1. с. 396–399.
4. Меркульев, А. Ю. Системы охлаждения полупроводниковых электрорадиоизделий / А. Ю. Меркульев, Н. В. Горячев, Н. К. Юрков // Молодой ученый. — 2013. — № 11. — с. 143–145.
5. Петрянин, Д. Л. Анализ систем защиты информации в базах данных / Д. Л. Петрянин, Н. В. Горячев, Н. К. Юрков // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2013. Т. 1. с. 115–122.
6. Граб, И. Д. Алгоритм функционирования компьютерной программы стенда исследования теплоотводов / И. Д. Граб, Н. В. Горячев, А. В. Лысенко, Н. К. Юрков // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2011. Т. 1. с. 244–246.

7. Белов, А. Г. Обзор современных датчиков утечки воды/А. Г. Белов, Н. В. Горячев, В. А. Трусов, Н. К. Юрков // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2013. Т. 2. с. 34–36.
8. Подложенов, К. А. Разработка энергосберегающих технологий для теплиц/К. А. Подложёнов, Н. В. Горячев Н. К. Юрков // Современные информационные технологии. 2012. № 15. с. 193–194.
9. Шуваев, П. В. Формирование структуры сложных многослойных печатных плат/П. В. Шуваев, В. А. Трусов, В. Я. Баннов, И. И. Кочегаров, В. Ф. Селиванов, Н. В. Горячев // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2013. Т. 1. с. 364–373.
10. Grab, I.D., Sivagina U.A., Goryachev N.V., Yurkov N.K. Research methods of cooling systems. Innovative Information Technologies: Materials of the International scientific — practical conference. Part 2. — М.: HSE, 2014, 443–446 pp.
11. Горячев, Н. В. Уточнение тепловой модели сменного блока исследуемого объекта/Н. В. Горячев, И. Д. Граб, Н. К. Юрков // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2013. Т. 1. с. 169–171.
12. Сивагина, Ю. А. Обзор современных симплексных ретрансляторов радиосигналов/Ю. А. Сивагина, И. Д. Граб, Н. В. Горячев, Н. К. Юрков // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2012. Т. 1. с. 74–76.
13. Прошин, А. А. Базовая структура системы выбора радиатора электрорадиоизделия/А. А. Прошин, Н. В. Горячев, Н. К. Юрков // Молодой ученый. — 2014. — № 20. — с. 206–209.
14. Сивагина, Ю. А. Разработка ретранслятора радиосигналов и его компьютерной модели/Ю. А. Сивагина, Н. В. Горячев, Н. К. Юрков, И. Д. Граб, В. Я. Баннов // Современные информационные технологии. 2013. № 17. с. 207–213.
15. Горячев, Н. В. Проектирование топологии односторонних печатных плат, содержащих проволочные или интегральные переключки/Н. В. Горячев, Н. К. Юрков // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2011. Т. 2. с. 122–124.
16. Воробьев, Д. В. Шумы осциллографа при исследовании электронных средств/Д. В. Воробьев, Н. С. Реута, Н. В. Горячев // Молодой ученый. — 2014. — № 19. — с. 185–187.
17. Горячев, Н. В. Концептуальная схема разработки систем охлаждения радиоэлементов в интегрированной среде проектирования электроники/Н. В. Горячев, Н. К. Юрков // Проектирование и технология электронных средств. 2009. № 2. с. 66–70.
18. Граб, И. Д. Совершенствование метода термокомпенсации синтезатора частоты с использованием бесконтактного датчика температуры/И. Д. Граб, Н. В. Горячев, Н. К. Юрков // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2011. Т. 2. с. 129–130.
19. Горячев, Н. В. Исследование и разработка средств и методик анализа и автоматизированного выбора систем охлаждения радиоэлектронной аппаратуры/Горячев Н. В., Танатов М. К., Юрков Н. К. // Надежность и качество сложных систем. 2013. № 3. с. 70–75.
20. Стрельцов, Н. А. SDR-трансиверы и их применение/Н. А. Стрельцов, Н. В. Горячев, В. А. Трусов // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2014. Т. 1. с. 281–282.
21. Воробьев, Д. В. Применение унифицированных электронных модулей при создании генератора гармонических колебаний/Д. В. Воробьев, Н. В. Горячев, Н. К. Юрков // Молодой ученый. — 2014. — № 20. — с. 114–117.

Гибридная система управления с запаздыванием по состоянию

Шевко Денис Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент;
 Козюра Виктория Евгеньевна, заместитель директора общеобразовательного лицея
 Дальневосточный государственный аграрный университет (г. Благовещенск)

Рассматривается объект управления, описываемый уравнениями

$$\frac{dx(t)}{dt} = A(\xi)x(t) + \Gamma(\xi)x(t - h) + B(\xi)u(t) + f_{\xi}(t), \quad y(t) = L^T(\xi)x(t),$$

$$v(t) = G^T y(t), \quad x(\theta) = \varphi(\theta), \quad \theta \in [-h; 0],$$

где $x(t) \in R^n$ — вектор состояния; $y(t) \in R^l$ — вектор выхода; $v(t) \in R^m$ — обобщенный вектор выхода; $u(t) \in R^m$ — вектор управления; $n \geq l \geq m \geq 1$; $h = const > 0$ — величина запаздывания; $\varphi(\theta) \in C_h$ — началь-

ная функция; C_h — пространство ограниченных непрерывных функций; A, Γ, B, L — матрицы, числовые значения которых зависят от вектора неизвестных значений $\xi \in \Xi$; Ξ — известное множество; G — постоянная матрица, элементы которой подлежат выбору; $f_\xi(t) \in R^n$ — вектор помех (возмущений), который может как удовлетворять неравенству

$$\int_0^\infty \|f_\xi(t)\|^2 dt < \infty, \tag{1}$$

так и быть ограниченным по норме, но не затухающим во времени

$$\|f_\xi(t)\| \leq f_0 = const. \tag{2}$$

Структура адаптивного регулятора задана в виде $u_k = \chi_{1,k}r_* + \chi_{2,k}v_k + \chi_{3,k}v_{k-s}$, $u(t) = u_k$ при $t_k \leq t < t_{k+1}$, $v_k = v(t_k)$, $v_{k-s} = v(t_{k-s}) = v(t_k - h)$, где $\chi_{1,k}, \chi_{2,k}, \chi_{3,k}$ — матрицы настраиваемых коэффициентов регулятора; $r_* \in R^m$ — постоянный вектор задающих воздействий; $t_k = k\tau$ — дискретный аналог времени; $\tau = const > 0$ — шаг дискретизации; $k = 0, 1, 2, \dots$ — номер шага; s — число тактов запаздывания, причем $s = h/\tau$.

Задача 1. Если внешние помехи удовлетворяют соотношению (1), то при любых начальных условиях $x(0)$, $\chi_{1,0}$, $\chi_{2,0}$, $\chi_{3,0}$ и $\xi \in \Xi$ синтезировать систему адаптации, обладающую свойствами

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \|r_* - v(t)\| = 0, \lim_{k \rightarrow \infty} \chi_{j,k} = \chi_{j,*} = const, j = 1, 2, 3. \tag{3}$$

Задача 2. Если вектор возмущений $f(t)$ удовлетворяет ограничению (2), но противоречит условию (1), то при любых начальных условиях $x(0)$, $\chi_{1,0}$, $\chi_{2,0}$, $\chi_{3,0}$ и $\xi \in \Xi$ построить гибридную систему со свойствами

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \|r_* - v(t)\| \leq \sigma = const > 0, \lim_{k \rightarrow \infty} \chi_{j,k} \leq \chi_{j,*} = const, j = 1, 2, 3.$$

В рамках критерия гиперустойчивости можно показать, что достижение цели (3) возможно за счет следующих алгоритмов настройки регулятора:

$$\begin{aligned} \chi_{1i,k} &= \chi_{1i,k-1} + h_{1i} \varepsilon_{i,k} \|\varepsilon_k\|^q r_{i,*}, h_{1i} = const > 0, i = \overline{1, m}, \\ \chi_{2i,k} &= \chi_{2i,k-1} + h_{2i} \varepsilon_{i,k} \|\varepsilon_k\|^q v_{i,k}, h_{2i} = const > 0, i = \overline{1, m}, \\ \chi_{3i,k} &= \chi_{3i,k-1} + h_{3i} \varepsilon_{i,k} \|\varepsilon_k\|^q v_{i,k-s}, h_{3i} = const > 0, i = \overline{1, m}, \end{aligned} \tag{4}$$

где $\varepsilon_k = r_* - v_k$, $v_k = G^T y_k$, $y_k = y(t_k)$.

Для построения контура настройки, работоспособного в условиях постоянного действия внешних возмущений (2), проводят регуляризацию (огрубление) алгоритмов. Наиболее часто это достигается за счет введения в контур адаптации местных отрицательных обратных связей. Алгоритмы (4) в огрубленном виде могут быть представлены следующими робастными алгоритмами:

$$\begin{aligned} \chi_{1i,k} &= \chi_{1i,k-1} + h_{1i} \varepsilon_{i,k} \|\varepsilon_k\|^q r_{i,*} - \alpha_i \chi_{1i,k-1}, \\ h_{1i} &= const > 0, \alpha_i = const \geq 0, i = \overline{1, m}, \\ \chi_{2i,k} &= \chi_{2i,k-1} + h_{2i} \varepsilon_{i,k} \|\varepsilon_k\|^q v_{i,k} - \beta_i \chi_{2i,k-1}, \\ h_{2i} &= const > 0, \beta_i = const \geq 0, i = \overline{1, m}, \\ \chi_{3i,k} &= \chi_{3i,k-1} + h_{3i} \varepsilon_{i,k} \|\varepsilon_k\|^q v_{i,k-s} - \gamma_i \chi_{3i,k-1}, \\ h_{3i} &= const > 0, \gamma_i = const \geq 0, i = \overline{1, m}. \end{aligned} \tag{5}$$

Литература:

1. Еремин, Е.Л., Еремина В.В., Семичевская Н.П., Шевко Д.Г. Алгоритмы и S-модели гибридных систем адаптивного управления — Благовещенск, 2005. — 205 с.
2. Еремин, Е.Л., Шевко Д.Г. Гибридная нелинейно преобразованная система прямого адаптивного управления // Радиоэлектроника, информатика, управление. — 2002. — №2. — с. 142–147.
3. Еремин, Е.Л., Шевко Д.Г. Имитационное моделирование технически эквивалентных гибридных систем управления // Информатика и системы управления. — 2001. — №2. — с. 36–42.

4. Еремин, Е.Л., Шевко Д.Г. Синтез и упрощение технической реализации гибридной нелинейно преобразованной системы прямого адаптивного управления // Вычислительные технологии. — 2003. — Т. 8, №3. — с. 47–57.
5. Островерхий, В.В., Шевко Д.Г. Задачи, решаемые автоматической системой управления шасси гусеничной машины // Вестник Амурского государственного университета. Серия: Естественные и экономические науки. — 2011. — №53. — с. 69–73.
6. Шевко, Д.Г. Алгоритмы настройки для гибридной системы управления с запаздыванием // Молодой ученый. — 2014. — №19. — с. 262–263.
7. Шевко, Д.Г. Метод синтеза гибридных систем адаптации // Молодой ученый. — 2014. — №21. — с. 251–253.
8. Шевко, Д.Г. Гибридная система прямого адаптивного управления неминимально-фазовым объектом // Информатика и системы управления. — 2002. — №1. — с. 112–120.
9. Шевко, Д.Г. Критерий гиперустойчивости и синтез нелинейно-преобразованных гибридных систем прямого адаптивного управления // Вестник Амурского государственного университета. Серия: Естественные и экономические науки. — 2012. — №57. — с. 65–69.
10. Шевко, Д.Г. Модели и алгоритмы нелинейно преобразованных гибридных систем прямого адаптивного управления: дис. ... канд. техн. наук. — Благовещенск, 2003. — 149 с.
11. Шевко, Д.Г. Модели и алгоритмы нелинейно преобразованных гибридных систем прямого адаптивного управления: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Хабаровск, 2003. — 20 с.
12. Шевко, Д.Г. Гибридная система прямого адаптивного управления неминимально-фазовым объектом // Информатика и системы управления. — 2002. — №1 (3). — с. 112–120.
13. Шевко, Д.Г. Синтез алгоритмов самонастройки регулятора дискретной системы управления и сравнительный анализ качества процессов адаптации // Информатика и системы управления. — 2001. — №1. — с. 97–105.
14. Шевко, Д.Г. Синтез и нелинейные преобразования гибридных систем прямого адаптивного управления // Информатика и системы управления. — 2002. — №2 (4). — с. 133–144.

Особенности программируемых логических устройств

Шишкин Филипп Дмитриевич, студент;
Горячев Николай Владимирович, доцент;
Трусов Василий Анатольевич, доцент
Пензенский государственный университет

В последние годы программируемые логические устройства (PLD) почти заменили логические устройства специального назначения, такие как счетчики, мультиплексоры, и т.д. PLD — чип, который может быть запрограммирован один или несколько раз для выполнения множества логических функций. Разница между аппаратным и программным обеспечением за последнее время постепенно стерлась. Теперь инженеры создают основную часть цифровой схемы на таких языках программирования, как VHDL и Verilog. Эта статья поможет вам разобраться в программируемой логике.

Основная цель для использования программируемой логики — сократить общие расходы. Это происходит благодаря нескольким причинам. Одним из важнейших преимуществ разработки с помощью PLD является то, что она происходит гораздо быстрее, это уменьшает время, требуемое для вывода продукта на рынок. Программируемые устройства также позволяют снизить риски, связанные с разработкой продукта так как они позволяют произвести изменения в последнюю минуту, часто без необходимости полной модернизации платы плат. Так как ПЛИС часто

заменяет сразу несколько других устройств специального назначения, конструкция, как правило, имеет меньше компонентов. Это снижает размер печатной платы, монтаж, испытания и затраты на ремонт. Использование ПЛИС также требует меньшего количества деталей, находящихся на складе, что снижает затраты на хранение. Так как большинство логики интегрировано в каждый чип количество межсоединений значительно уменьшается, что увеличивает надежность продукта.

Конечно, в каждой технологии кроме преимуществ есть недостатки. Проектирование с применением ПЛИС требует дополнительных аппаратных и программных средств разработки, которые часто очень дорогие. Может потребоваться обучение персонала для освоения новых инструментов разработки. К тому же, компоненты должны быть запрограммированы до того, как они будут собраны в конечный продукт. Несмотря на эти недостатки программируемая логика обычно имеет экономические преимущества, за исключением очень простых (здвижки, некоторые декодеры) очень сложных (центральный процессор) или очень быстрых цепей (контроллер DRAM). По срав-

нению с ASICs (стандартная схема или логическая матрица) PLD предлагает пониженные затраты на разовые расходы на проектирование и внедрение в производство (Non-Recurring Engineering cost) — ноль против десятков тысяч долларов, быстрый (1 час против нескольких недель) полный цикл разработки, более низкий риск и более простые средства проектирования. С другой стороны, ASICs работают при более высоких скоростях и менее затратные в больших объемах (как правило, несколько тысяч партий).

CPLD — сложные программируемые логические устройства. Для большинства практических целей CPLD могут считаться как несколько PLD устройств (и некоторые программируемые межсоединения) в одном чипе. Большой размер CPLD позволяет внедрить больше логических уравнений или более сложный дизайн. В отличие от программируемых межсоединений внутри PLD, матричный коммутатор в CPLD может или не может быть полностью соединен. Другими словами, некоторые из теоретически возможных соединений между логическим блоком входов и выходов фактически может не поддерживаться в данном CPLD. Эффект этого состоит в том, чтобы сделать 100%-е использование макроячеек трудно осуществимым. Некоторые аппаратные проекты просто не будут вписываться в данной CPLD. Некоторые аппаратные проекты попросту не будут соответствовать данному CPLD даже при том что есть достаточно логических

вентилей и триггеров. Поскольку CPLD может вмещать большие проекты чем PLD, их потенциальное использование гораздо шире. Они все еще используются для простых приложений вроде дешифровки адреса, но чаще содержат высокоэффективные логические устройства или сложные автоматы.

FPGA — программируемая пользователем матрица вентилей (ППМВ). FPGA может быть использована для внедрения в практически любой аппаратный проект. Обычно используется для еще более сложных устройств с гибкой архитектурой. Главное преимущество ППМВ заключается в том, что изменить ее можно в любой момент в процессе эксплуатации. Она состоит из нескольких конфигурируемых модулей. В цифровой схеме они реализуют двоичные операции OR, AND, XOR, NAND и т.д.

ППМВ идеальны для проектов, требующих большое количество логики, т.к. возможно объединений нескольких регистров хранения, арифметических и логических схем, контроллеров и т.д. на одном устройстве. Одно из недостатков FPGA — относительно большие задержки распространения. Эти задержка тяжело предсказать до завершения проектирования схемы. Это связано с необходимостью маршрутизации сигналов через несколько уровней логики и взаимосвязи блоки. Другой недостаток — дорогое (3000 \$ и более) и медленное программное обеспечение.

Литература:

1. Стрельцов, Н. А. SDR-трансиверы и их применение/Н. А. Стрельцов, Н. В. Горячев, В. А. Трусов // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2014. Т. 1. с. 281–282.
2. Воробьев, Д. В. Применение унифицированных электронных модулей при создании генератора гармонических колебаний/Д. В. Воробьев, Н. В. Горячев, Н. К. Юрков // Молодой ученый. — 2014. — №20. — с. 114–117.
3. Бростилов, С. А. Метрологический анализ измерительной подсистемы информационно-измерительной системы для исследования средств воздушного охлаждения/С. А. Бростилов, Н. В. Горячев, Т. Ю. Бростилова // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2014. Т. 2. с. 127–129.
4. Горячев, Н. В. Тепловая модель учебной системы охлаждения/Н. В. Горячев, Д. Л. Петрянин // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2014. №2. с. 197–209.
5. Белов, А. Г. Обзор современных датчиков утечки воды/А. Г. Белов, Н. В. Горячев, В. А. Трусов, Н. К. Юрков // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2013. Т. 2. с. 34–36.
6. Горячев, Н. В. К вопросу выбора вычислительного ядра лабораторного стенда автоматизированного лабораторного практикума/Н. В. Горячев, Н. К. Юрков // Современные информационные технологии. 2009. №10. с. 128–130.
7. Петрянин, Д. Л. Анализ систем защиты информации в базах данных/Д. Л. Петрянин, Н. В. Горячев, Н. К. Юрков // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2013. Т. 1. с. 115–122.
8. Горячев, Н. В. Проектирование топологии односторонних печатных плат, содержащих проволочные или интегральные переключки/Н. В. Горячев, Н. К. Юрков // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2011. Т. 2. с. 122–124.
9. Меркульев, А. Ю. Системы охлаждения полупроводниковых электрорадиоизделий/А. Ю. Меркульев, Н. В. Горячев, Н. К. Юрков // Молодой ученый. — 2013. — №11. — с. 143–145.
10. Горячев, Н. В. Концептуальная структура СППР в области выбора теплоотвода электрорадиоэлемента/Н. В. Горячев // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2012. Т. 2. с. 241–241.
11. Горячев, Н. В. Уточнение тепловой модели сменного блока исследуемого объекта/Н. В. Горячев, И. Д. Граб, Н. К. Юрков // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2013. Т. 1. с. 169–171.
12. Подложенов, К. А. Разработка энергосберегающих технологий для теплиц/К. А. Подложенов, Н. В. Горячев, Н. К. Юрков // Современные информационные технологии. 2012. №15. с. 193–194.

13. Grab, I.D., Sivagina U.A., Goryachev N.V., Yurkov N.K. Research methods of cooling systems. Innovative Information Technologies: Materials of the International scientific — practical conference. Part 2. — M.: HSE, 2014, 443–446 pp.
14. Горячев, Н.В. Концептуальная схема разработки систем охлаждения радиоэлементов в интегрированной среде проектирования электроники/Н.В. Горячев, Н.К. Юрков // Проектирование и технология электронных средств. 2009. №2. с. 66–70.
15. Горячев, Н.В. Тепловая модель сменного блока исследуемого объекта/Н.В. Горячев // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2012. Т. 1. с. 263–263.
16. Шуваев, П.В. Формирование структуры сложных многослойных печатных плат/П.В. Шуваев, В.А. Трусов, В.Я. Баннов, И.И. Кочегаров, В.Ф. Селиванов, Н.В. Горячев // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2013. Т. 1. с. 364–373.
17. Горячев, Н.В. Индикатор обрыва предохранителя как элемент первичной диагностики отказов РЭА/Н.В. Горячев, Н.К. Юрков // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2010. Т. 2. с. 78–79.
18. Трифоненко, И.М. Обзор систем сквозного проектирования печатных плат радиоэлектронных средств/И.М. Трифоненко, Н.В. Горячев, И.И. Кочегаров, Н.К. Юрков // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2012. Т. 1. с. 396–399.
19. Горячев, Н.В. К вопросу реализации метода автоматизированного выбора системы охлаждения/Н.В. Горячев, И.И. Кочегаров, Н.К. Юрков // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2013. №3 (25). с. 16–20.
20. Сивагина, Ю.А. Разработка ретранслятора радиосигналов и его компьютерной модели/Ю.А. Сивагина, Н.В. Горячев, Н.К. Юрков, И.Д. Граб, В.Я. Баннов // Современные информационные технологии. 2013. №17. с. 207–213.
21. Горячев, Н.В. Исследование и разработка средств и методик анализа и автоматизированного выбора систем охлаждения радиоэлектронной аппаратуры/Горячев Н.В., Танатов М.К., Юрков Н.К. // Надежность и качество сложных систем. 2013. №3. с. 70–75.

Молодой ученый

Ежемесячный научный журнал

№ 1 (81) / 2015

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор:

Ахметова Г. Д.

Члены редакционной коллегии:

Ахметова М. Н.
Иванова Ю. В.
Каленский А. В.
Лактионов К. С.
Сараева Н. М.
Авдеюк О. А.
Алиева Т. И.
Ахметова В. В.
Брезгин В. С.
Данилов О. Е.
Дёмин А. В.
Дядюн К. В.
Желнова К. В.
Жуйкова Т. П.
Игнатова М. А.
Коварда В. В.
Комогорцев М. Г.
Котляров А. В.
Кузьмина В. М.
Кучерявенко С. А.
Лескова Е. В.
Макеева И. А.
Матроскина Т. В.
Мусаева У. А.
Насимов М. О.
Прончев Г. Б.
Семахин А. М.
Сенюшкин Н. С.
Ткаченко И. Г.
Яхина А. С.

Ответственные редакторы:

Кайнова Г. А., Осянина Е. И.

Международный редакционный совет:

Айрян З. Г. (Армения)
Арошидзе П. Л. (Грузия)
Атаев З. В. (Россия)
Борисов В. В. (Украина)
Велковска Г. Ц. (Болгария)
Гайич Т. (Сербия)
Данатаров А. (Туркменистан)
Данилов А. М. (Россия)
Досманбетова З. Р. (Казахстан)
Ешиев А. М. (Кыргызстан)
Игисинов Н. С. (Казахстан)
Кадыров К. Б. (Узбекистан)
Кайгородов И. Б. (Бразилия)
Каленский А. В. (Россия)
Козырева О. А. (Россия)
Лю Цзюань (Китай)
Малес Л. В. (Украина)
Нагервадзе М. А. (Грузия)
Прокопьев Н. Я. (Россия)
Прокофьева М. А. (Казахстан)
Ребезов М. Б. (Россия)
Сорока Ю. Г. (Украина)
Узаков Г. Н. (Узбекистан)
Хоналиев Н. Х. (Таджикистан)
Хоссейни А. (Иран)
Шарипов А. К. (Казахстан)

Художник: Шишков Е. А.

Верстка: 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:

420126, г. Казань, ул. Амирхана, 10а, а/я 231.

E-mail: info@moluch.ru

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

Учредитель и издатель:

ООО «Издательство Молодой ученый»

ISSN 2072-0297

Тираж 1000 экз.

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