

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ**

№5 2021

Направления:

**05.13.01 – СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА
ИНФОРМАЦИИ (технические науки)**

**05.13.06 – АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ
(технические науки)**

**05.13.11 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ
СЕТЕЙ (физико-математические науки)**

**05.13.11 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ
СЕТЕЙ (технические науки)**

**05.13.18 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ
МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ (технические науки)**

**05.13.19 – МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ,
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
(физико-математические науки)**

**Казань
2021**

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №5 2021г. – Казань: ООО «Рашин Сайнс», 2021. – 134 с.

ISSN 2079-5920

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (реестровая запись от 08.05.2019 серия ПИ № ФС 77 -75732)

Журнал размещен в открытом бесплатном доступе на сайте www.ntvp.ru, и в Научной электронной библиотеке (участвует в программе по формированию РИНЦ).

Журнал включен ВАК РФ в перечень научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» № E12025.

Главный редактор Р.Х. Шагимуллин

Редакционная коллегия

С.В. Анаников – д.т.н., проф.; Т.Р. Дебердеев – д.т.н., проф.; Б.Н. Иванов – д.т.н., проф.;

В.А. Жихарев – д.ф.-м.н., проф.; В.С. Минкин – д.х.н., проф.; А.Н. Николаев – д.т.н., проф.;

В.К. Половняк – д.х.н., проф.; В.Ф. Тарасов – д.ф.-м.н., проф.; Х.Э. Харлампиди – д.х.н., проф.

В журнале отражены материалы по теории и практике технических, физико-математических и химических наук.

Материалы журнала будут полезны преподавателям, научным работникам, специалистам научных предприятий, организаций и учреждений, а также аспирантам, магистрантам и студентам.

УДК 60

ББК 30-1

ISSN 2079-5920

© Рашин Сайнс, 2021 г.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>В.С. Минкин, М.Г. Кузнецов, Р.Х. Шагимуллин, Р.С. Сальманов, В.В. Харьков</i>	
ПАРОГАЗОДИНАМИЧЕСКИЙ РЕАКТИВНЫЙ ДВИЖИТЕЛЬ	7
05.13.01 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ	
<i>Д.А. Бахаева, И.Б. Гинзбург, В.А. Столярчук</i>	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ MOODLE ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ КОЛЛЕКТИВНОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ	10
<i>А.И. Калашников, Д.В. Моисеев</i>	
НОВАЯ ВЕРСИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА МАРШРУТИЗАЦИИ ПОЛЕТА ЛЕГКИХ БЕСПИЛОТНИКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫЧИСЛИТЕЛЯ INTLINPROG	13
<i>А.Е. Петров, Ч.Б. Бактыбеков</i>	
СИСТЕМА ПОЛЕОРИЕНТИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО СИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ	19
<i>В.В. Попцов</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ АВТОМОБИЛЕЙ SUBARU FORESTER ТРЕТЬЕГО ПОКОЛЕНИЯ	23
<i>М.В. Славащевич, В.Т. Бобронников, А.А. Морозов, А.В. Старков</i>	
МОНИТОРИНГ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА	26
05.13.06 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ	
<i>В.А. Бережной, О.А. Иващук, Ю.Н. Маслаков</i>	
РАЗРАБОТКА МЕТОДА СЕГМЕНТАЦИИ 3D МОДЕЛЕЙ ВЕГЕТАТИВНОЙ ЧАСТИ ПОБЕГА	30
<i>И.С. Горячев</i>	
СИНТЕЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СУДНА В СЛОЖНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ УСЛОВИЯХ	35
<i>А.С. Лапаева, Д.Ю. Соколов, А.В. Савчиц</i>	
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ДОЗИРОВАНИЯ РЕАГЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ НА ВОДОЗАБОРНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ	38
05.13.11 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ	
<i>М.П. Овчинцев</i>	
ПРЕДСТАВЛЕНИЕ НЕКОТОРЫХ АНАЛИТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ЧЕРЕЗ ТЭТА ФУНКЦИЮ ЯКОБИ	42
05.13.11 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ	
<i>Т.А. Деменкова, Ф.А. Игнатьев</i>	
ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ТЕСТИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ БЛОКОВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ	47
<i>Т.А. Деменкова, А.О. Индришенок</i>	
МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ АППАРАТНЫХ ЗАКЛАДОВ В ЦИФРОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ	50
<i>Е.Г. Макейкин, А.В. Хохлов, Г.С. Лазарев, А.И. Боровик</i>	
МИГРАЦИЯ БАЗЫ ДАННЫХ ИЗ СИСТЕМЫ «ЛОЦМАН:PLM 2014» В «ЛОЦМАН:PLM 2018 SE»	54
<i>Р.Э. Семенов</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ НА ОБЪЕКТЕ ОТВЕТСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ	57

05.13.18 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

<i>Н.Н. Беспалов, Ю.В. Горячкин, К.Ю. Панькин, И.О. Бектяшкин</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРЯМЫХ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И ТЕМПЕРАТУРНОГО КОЭФФИЦИЕНТА НАПРЯЖЕНИЯ ДИОДА Д242	60
<i>И.Н. Бояришинова, В.С. Хусаинов</i> ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ВЕСА	64
<i>С.Г. Буланов</i> АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ С НЕЛИНЕЙНОЙ ДОБАВКОЙ	67
<i>Е.С. Гольцов, Н.М. Труфанова</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ПРОЦЕСС ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА ПРИ СИЛАНОВОЙ СШИВКЕ	71
<i>В.А. Егоров, Д.С. Попов</i> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕАБИЛИТАЦИОННОГО ЭКЗОПРОТЕЗА НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА	75
<i>В.А. Иванов, И.А. Мутугуллина</i> ВЛИЯНИЕ ЗАКРУТКИ ВОЗДУШНОГО ЗАРЯДА НА КОНВЕКТИВНЫЙ ТЕПЛООБМЕН В ЦИЛИНДРЕ ДВС	79
<i>Исмаил Ахмед, М.Ю. Филимонов</i> ПРОЕКТ И МОДЕЛЬ РЕГУЛЯТОРА ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ПРИВОДА МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ	83
<i>А.А. Корелин, И.Я. Дятлов, Н.М. Труфанова</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ВУЛКАНИЗАЦИИ ПОЛИЭТИЛЕНОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ	87
<i>Н.И. Красовская, С.В. Якубовская, О.В. Красовская, А.В. Сычева, А.А. Лецев, Е.Ю. Иванова</i> ФОРМИРОВАНИЕ НАВЫКОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ПРОСТРАНСТВА У СТУДЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛИЧНОСТНО ОРИЕНТИРОВАННОЙ МОДЕЛИ ОБРАЗОВАНИЯ	91
<i>А.А. Нечаев, В.Ю. Мельцов</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВА КОНФИГУРАЦИИ ГИПЕРПАРАМЕТРОВ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ МАТРИЧНОЙ ФАКТОРИЗАЦИИ	96
<i>Д.С. Пинягин, Н.М. Труфанова</i> ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В СКВАЖИНЕ С ПРИЗАБОЙНЫМ НАГРЕВАТЕЛЕМ	101
<i>Н.А. Семькина, В.И. Суворов, И.А. Шаповалова</i> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ КОМПЬЮТЕРНЫМ АТАКАМ	104
<i>О.В. Соловьева, С.А. Соловьев, Р.С. Зарипова, А.В. Чупаев, А.В. Каляшина</i> ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОЙ ПОРИСТОСТИ ЯЧЕИСТОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ЗАДАЧ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГАЗА С ПОРИСТЫМ МАТЕРИАЛОМ	107
<i>Д.А. Шишкин, А.Г. Щербинин, С.В. Ершов</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СМЕШЕНИЯ ПОЛИМЕРОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ШНЕКА С ДВОЙНОЙ ВОЛНОЙ	111
<i>С.В. Якубовская, Н.И. Красовская, Н.Ю. Сильницкая, Е.Ю. Иванова, О.В. Красовская</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ДЕФОРМИРОВАНИИ ВО ВРЕМЕНИ	115

05.13.19 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ, ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

<i>Е.В. Бурькова, А.А. Рычкова</i> МЕТОДИКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ВЫБОРЕ СРЕДСТВ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ НА ОСНОВЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ	119
---	-----

АННОТАЦИИ

124

THE RELEASE MAINTENANCE

<i>V.S. Minkin, M.G. Kuznetsov, R.Kh. Shagimullin, R.S. Salmanov, V.V. Kharkov</i> STEAM GAS DYNAMIC JET PROPULSION	7
05.13.01 — TECHNICAL SCIENCES — SYSTEM ANALYSIS, MANAGEMENT AND INFORMATION PROCESSING	
<i>D.A. Bakhaeva, I.B. Ginzburg, V.A. Stolyarchuk</i> USING THE MOODLE DISTANCE LEARNING SYSTEM FOR COLLECTIVE EXPERTISE	10
<i>A.I. Kalashnikov, D.V. Moiseev</i> A NEW ISSUE OF SPECIAL SOFTWARE FOR PATH ROUTING OF MINI UAV USING THE SOLVER INTLINPROG	13
<i>A.E. Petrov, Ch.B. Baktybekov</i> FIELD-ORIENTED CONTROL SYSTEM FOR ENERGY-SAVING SYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE WITH PERMANENT MAGNETS FOR INDUSTRIAL EQUIPMENT	19
<i>V.V. Poptsov</i> RELIABILITY STUDY OF THE THIRD GENERATION SUBARU FORESTER	23
<i>M.V. Slavashevich, V.T. Bobronnikov, A.A. Morozov, A.V. Starkov</i> EMERGENCY MONITORING IN THE NORILSK AREA ACCORDING TO ERS DATA FROM SPACE VEHICLES	26
05.13.06 — TECHNICAL SCIENCES — AUTOMATION AND MANAGEMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND PRODUCTION	
<i>V.A. Berezhnoy, O.A. Ivaschuk, Y.N. Maslakov</i> DEVELOPMENT OF SEGMENTATION METHOD FOR THE 3D MODEL OF VEGETATIVE PLANT PART	30
<i>I.S. Goryachev</i> SYNTHESIS OF SPATIAL INFORMATION STREAMS FOR VESSEL CONTROL IN NAVIGATION CONDITIONS	35
<i>A.S. Lapaeva, D.Y. Sokolov, A.V. Savchic</i> DEVELOPMENT OF ALGORITHMS FOR DOSING REAGENTS FOR WATER TREATMENT AT WATER INTAKE TREATMENT FACILITIES	38
05.13.11 — PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES — MATHEMATICAL AND SOFTWARE OF COMPUTERS, COMPLEXES AND COMPUTER NETWORKS	
<i>M.P. Ovchintsev</i> REPRESENTATION OF SOME ANALYTIC FUNCTIONS THROUGH THE JACOBI THETA FUNCTION	42
05.13.11 — TECHNICAL SCIENCES — MATHEMATICAL AND SOFTWARE OF COMPUTERS, COMPLEXES AND COMPUTER NETWORKS	
<i>T.A. Demenkova, Ph.A. Ignatyev</i> SOFTWARE FOR TESTING DIGITAL UNITS OF COMPUTER SYSTEMS	47
<i>T.A. Demenkova, A.O. Indrishenok</i> METHODS FOR DETECTING HARDWARE BOOKMARKS IN DIGITAL COMPUTER SYSTEMS	50
<i>E.G. Makeykin, A.V. Khokhlov, G.S. Lazarev, A.I. Borovik</i> MIGRATION OF THE DATABASE FROM THE «LOODSMAN:PLM 2014» IN «LOODSMAN:PLM 2018 SE»	54
<i>R.E. Semenov</i> RESEARCH ON THE POSSIBILITIES OF DEVELOPING A WIRELESS NETWORK AT A RESPONSIBLE FACILITY	57
05.13.18 — TECHNICAL SCIENCES — MATHEMATICAL MODELING, NUMERICAL METHODS AND PROGRAM COMPLEXES	
<i>N.N. Bespalov, Y.V. Goryachkin, K.Y. Pankin, I.O. Bektyashkin</i> MODELING AND RESEARCH OF THE PARAMETERS OF DIRECT VOLT-AMPERE CHARACTERISTICS AND TEMPERATURE COEFFICIENT OF VOLTAGE OF D242 DIODE	60

<i>I.N. Boyarshinova, V.S. Husainov</i> THE OPTIMAL DESIGN OF STRUCTURES TO REDUCE WEIGHT	64
<i>S.G. Bulanov</i> STABILITY ANALYSIS OF SYSTEMS OF LINEAR DIFFERENTIAL EQUATIONS WITH NONLINEAR ADDITION	67
<i>E.S. Goltsov, N.M. Trufanova</i> NUMERICAL ANALYSIS OF HEAT AND MASS TRANSFER DURING THE PROCESS OF SILANE CROSSLINKING IN WATER BATH	71
<i>V.A. Egorov, D.S. Popov</i> MATHEMATICAL MODEL OF REHABILITATION EXOPROTHESIS OF THE LOWER LIMBS OF THE HUMAN	75
<i>V.A. Ivanov, I.A. Mutygullina</i> EFFECT OF AIR CHARGE TWIST ON CONVECTIVE HEAT TRANSFER IN THE CYLINDER OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE	79
<i>I. Ahmed, M.Yu. Filimonov</i> DESIGN AND MODEL DC MOTOR CONTROLLER FOR DIFFERENTIAL DRIVE MOBILE ROBOT APPLICATIONS	83
<i>A.A. Korelin, I.Ya. Dyatlov, N.M. Trufanova</i> MATHEMATICAL MODELING AND NUMERICAL ANALYSIS PROCESS VULCANIZATION OF POLYETHYLENE INSULATION	87
<i>N.I. Krasovskaya, S.V. Yakubovskaya, O.V. Krasovskaya, A.V. Sycheva, A.A. Leshchev, E.Y. Ivanova</i> BUILDING SKILLS IN MODELING SPACE FOR STUDENTS USING A PERSONALITY-ORIENTED MODEL OF EDUCATION	91
<i>A.A. Nechaev, V.Yu. Meltsov</i> INVESTIGATING THE HYPERPARAMETER CONFIGURATION SPACE OF MATRIX FACTORIZATION RECOMMENDATION MODELS	96
<i>D.S. Pinyagin, N.M. Trufanova</i> NUMERICAL STUDY OF HEAT AND MASS TRANSFER PROCESSES IN A WELL WITH A BOTTOM HEATER	101
<i>N.F. Semykina, V.I. Suvorov, I.A. Shapovalova</i> MATHEMATICAL MODEL OF COUNTERING COMPUTER ATTACKS	104
<i>O.V. Soloveva, S.A. Solovev, R.S. Zaripova, A.V. Chupaev, A.V. Kalyashina</i> ESTIMATION OF THE EFFECTIVE POROSITY OF AN OPEN CELL FOAM MATERIAL FOR THE PROBLEMS OF MATHEMATICAL MODELING OF THE INTERACTION OF GAS WITH A POROUS MATERIAL	107
<i>D.A. Shishkin, A.G. Shcherbinin, S.V. Ershov</i> ESTIMATION OF THE EFFICIENCY OF THE PROCESS OF MIXING OF POLYMERS WHEN USING A DOUBLE WAVE SCREW	111
<i>S.V. Yakubovskaya, N.I. Krasovskaya, N.Y. Silnitskaya, E.Yu. Ivanova, O.V. Krasovskaya</i> MODELLING OF THE STRESS STATE OF MULTILAYER STRUCTURES DURING DEFORMATION IN TIME	115

05.13.19 — PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES — METHODS AND SYSTEMS OF INFORMATION SECURITY, INFORMATION SECURITY

<i>E.V. Burkova, A.A. Rychkova</i> THE METHOD OF DECISION-MAKING SYSTEM FOR THE SELECTION OF PHYSICAL PROTECTION MEANS BASED ON THE HIERARCHY ANALYSIS METHOD	119
---	-----

ABSTRACTS	124
------------------	-----

05.13.06

¹В.С. Минкин д-р хим. наук, ^{2,4}М.Г. Кузнецов канд. техн. наук,
³Р.Х. Шагимуллин канд. техн. наук, ¹Р.С. Сальманов канд. техн. наук,
²В.В. Харьков канд. техн. наук

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
¹факультет наноматериалов и нанотехнологий,

кафедра Физики,

²факультет пищевой инженерии,

кафедра Оборудования пищевых производств,

³Главный редактор «Научно-технического вестника Поволжья»,

⁴Казанский государственный аграрный университет,
институт экономики,

кафедра Экономики и информационных технологий,

Казань, yerus@yandex.ru, max-kuzz@ya.ru, shagimullin@ntvp.ru, v.v.kharkov@gmail.com

ПАРОГАЗОДИНАМИЧЕСКИЙ РЕАКТИВНЫЙ ДВИЖИТЕЛЬ

Рассмотрены устройство и принцип действия парогазодинамического реактивного движителя. Отмечена способность перемещения объекта с реактивным движителем с огромной скоростью под водой, по воде и над водой. Дана теплоэнергетическая характеристика объекта с парогазодинамическим реактивным движителем.

Ключевые слова: генератор акустической энергии, поршневой акустический нагнетатель, газовая струя.

В работах [1,2] рассмотрен газодинамический генератор акустических колебаний, который может быть использован газодинамическим реактивным движителем для перемещения объектов по воде и под водой. Использование такого газодинамического генератора в качестве газодинамического реактивного движителя неэффективно при его использовании для пребывания объекта над водой из-за отсутствия охлаждения сильно нагретого кожуха работающего движителя и интенсивного загрязнения окружающего движитель воздуха.

В данной статье авторами предложена конструкция парогазодинамического реактивного движителя, схематично изображенного на рисунках 1 и 2. Такой движитель обеспечивает эффективное движение объекта как по воде и под водой, так и над водой.

Охлаждение сильно нагретого кожуха, находящегося под водой работающего парогазодинамического реактивного движителя, существенно увеличивает скорость его движения и заметно снижает загрязнение окружающего движитель воздуха.

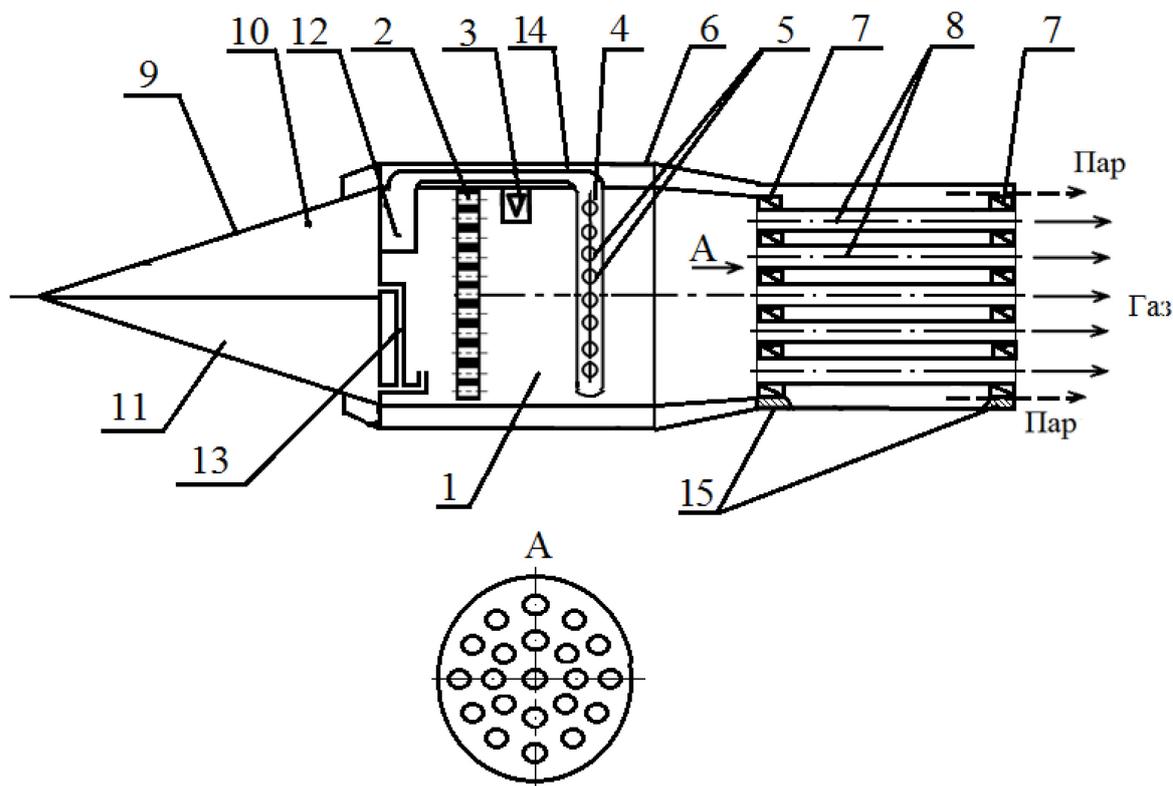


Рис. 1 – Парогазодинамический реактивный движитель:

- 1 – камера; 2 – перфорированная перегородка; 3 – свеча зажигания; 4 – полое кольцо;
 5 – отверстия; 6 – кожух; 7 – трубная решетка; 8 – труба; 9 – обтекатель; 10, 11 – отсеки;
 12 – емкость; 13, 14 – газопроводы; 15 – опора

Консультная часть камеры выполнена в форме обтекателя, разделенного на отсек 10 с окислителем и отсек 11 с топливом. Емкость заполнена сжатым воздухом. Отсеки соединены между собой газопроводом 13, свободный конец которого расположен в камере перед перфорированной перегородкой. Емкость 12 соединена газопроводом 14 с полым кольцом.

При нахождении парогазодинамического реактивного движителя на воде или под водой он будет работать, как парогазодинамический генератор.

Окислитель из отсека 10 и топливо из отсека 11 поступают в газопровод, в котором смешиваются и образовавшаяся горючая смесь под давлением выбрасывается в пространство камеры перед перфорированной перегородкой. Через перфорации в перегородке горячая смесь входит отдельными равномерно распределенными по сечению камеры струями в рабочий объем камеры. От свечи зажигания горючая смесь воспламеняется. Горение горючей смеси в камере в пространстве между перфорированной перегородкой и полым кольцом приводит к самовозбуждению колебаний газового потока. Это пространство камеры работает, как генератор колебаний газа с максимально достижимой температурой и еще недостаточно сильным проявлением пульсационного теплопереноса. При прохождении полого кольца сгорающая горючая смесь смешивается со свежей порцией воздуха, поступающего в полое кольцо по газопроводу 14 из емкости и выходящего равномерно распределенными по сечению камеры струями через отверстия 5 в полном кольце от периферии к центру. Такая аэродинамическая обстановка обеспечивает сильную турбулизацию взаимодействующих газовых потоков, интенсивное перемешивание свежего воздуха с горячей смесью горючего газа.

В пространстве камеры за полым кольцом температура горячей газовой смеси и амплитуда пульсаций скорости газового потока резко возрастает, что приводит к повышению пульсационного теплопереноса и существенному увеличению скорости теплоотдачи в трубах. Из труб продукты сгорания газовой смеси выбрасываются в водное пространство

(сплошные стрелки на рисунке), за счет чего возникает реактивная тяга, толкающая движитель в противоположную выбрасываемым из труб газовым струям сторону.

При движении движителя вода из водного пространства устремляется через кольцевую щель за обтекателем в кожух, в котором интенсивно вскипает, отбирая тепло от горячих стенок труб. Образующийся пар выбрасывается в водное пространство (штриховые стрелки), создавая дополнительную реактивную тягу.

При движении движителя над водой он будет работать, как газодинамический движитель. В этом случае трубы охлаждаются воздухом, поступающим из воздушного пространства через кольцевую щель за обтекателем в кожух, из которого, уже нагретый, уходит в воздушное пространство.

Более эффективное охлаждение труб при нахождении реактивного движителя над водой можно осуществить подачей воды в кожух по водопроводу из емкости, установленной в каком-либо из отсеков. В этом случае движитель будет работать, как парогазодинамический генератор, получая дополнительную реактивную тягу и увеличенную скорость движения в воздушном пространстве.

Парогазодинамический двигатель может быть установлен на различных устройствах, которые смогут передвигаться под водой, по воде и над водой.

Энергоэффективность движителя можно оценить критерием, рассчитываем по формуле [2,3]:

$$K_d = \frac{V_d}{\sum Q}, \quad (1)$$

где V_d – скорость движения движителя (объекта), м/с;

$\sum Q$ – суммарная тепловая нагрузка, Вт/с.

Коэффициент полезного действия движителя можно определить по формуле:

$$\eta_d = \frac{Q_d}{\sum Q}, \quad (2)$$

где Q_d – тепловая нагрузка, необходимая для генерации автоколебаний в движителе.

Предлагаемая конструкция парогазодинамического реактивного движителя позволяет:

1. Обеспечить объекту высокую скорость движения.
2. Обеспечить перемещение объекта под водой, по воде, над водой.
3. Снизить степень загрязнения окружающей среды.

Список литературы

1. Минкин В.С., Кузнецов М.Г., Шагимуллин Р.Х., Сальманов Р.С. Генерация резонансных акустических колебаний и их использование. Научно-технический вестник Поволжья. №7,2020г. -Казань: ООО "Рашин Сайнс", 2020.-с7-10.
2. Кузнецов М.Г., Коротков Ю.Ф., Ларионов В.М. Генераторы акустических колебаний. – Казань: Казанский ГАУ, 2016. -100 с.
3. Минкин В.С., Кузнецов М.Г., Шагимуллин Р.Х., Вахитов М.Р., Галеева Э.И. Акустические нагнетатели газожидкостных сред. Научно-технический вестник Поволжья. №1,2021г. - Казань: ООО "Рашин Сайнс", 2021.-с6-8.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И
ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ (05.13.01)**

05.13.01

Д.А. Бахаева, И.Б. Гинзбург канд. техн. наук, В.А. Столярчук канд. техн. наук

ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»,
кафедра «Прикладная информатика»,
Москва, daria.bakhaeva@yandex.ru, iliagi@mail.ru, stolyarchukva609@mail.ru

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ MOODLE
ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ КОЛЛЕКТИВНОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ**

В статье рассматриваются проблемы повышения качества и актуализации учебных материалов в системах дистанционного обучения, а также привлечения к этому процессу самих учащихся, чтобы одновременно стимулировать их инновационную и научную активность. Для решения этих проблем предлагается использовать подходы к организации процессов коллективной экспертизы результатов интеллектуальной деятельности и информационных материалов в сочетании с программной системой дистанционного обучения Moodle. Это позволяет выявить и устранить недостатки, а также интенсифицировать научную работу студентов.

Ключевые слова: коллективная экспертиза, результаты интеллектуальной деятельности, организация дистанционного обучения, средства дистанционного обучения, научная работа студентов.

В динамично развивающихся отраслях остро стоит задача обучения специалистов. Быстрое развитие требует быстрого изменения созданных учебных материалов вслед за развитием отрасли. Это особенно актуально для инженерных дисциплин в области вычислительной техники и информационных технологий. При использовании традиционных бумажных учебных материалов для поддержания их в актуальном состоянии приходилось: переиздавать учебные пособия целиком, чтобы что-то добавить; издавать дополнения в виде отдельных пособий, что неудобно, т. к. нужно ждать, пока наберется необходимый объем информации для нового пособия и невозможно исправить то, что уже устарело в другом пособии; делать модульные учебники, состоящие из небольших модулей-тем на одно-два занятия, которые можно печатать на обычном принтере и регулярно перепечатывать при изменении – это пришло из обучения иностранным языкам, где учебник бывает совмещен с рабочей тетрадью и требует перепечатывания для каждого следующего учащегося, т. к. предыдущий учащийся уже заполнил все поля форм.

С развитием информационного обеспечения учебного процесса [1], распространением веб-приложений [2, 3] и систем дистанционного обучения (СДО), таких как Moodle, постепенно текстовые учебные материалы трансформируются в цифровой учебный контент для СДО. Это возможно благодаря тому, что современные учебные издания создаются в электронном виде [4] и могут быть преобразованы в веб-представление для загрузки в СДО. Однако в процессе преобразования часто не учитывается возможная нелинейность освоения материала пособия и специфика структурирования материала для веб-представления СДО, что может вызвать трудности при освоении. Часто наличие таких проблем проявляется в виде типовых ошибок, допущенных студентами при выполнении письменных заданий или прохождении тестирования в СДО. При возникновении таких сигналов преподавателю приходится внимательно разбираться, что послужило причиной ошибок: массовое списывание, ошибка на лекции или ошибка в учебных материалах. Без инструментов для

организации общения между студентами и преподавателем, а также без налаженного процесса усовершенствования учебных материалов такие проблемы приходится находить самому преподавателю и самому решать, как нужно их справлять.

При увеличении объема учебных материалов, созданных одним преподавателем в СДО, поиск и решение проблем в одиночку становится все более трудным. Все большее количество проблем ускользает от внимания преподавателя и не находит своего решения в короткий срок. Это ведет к снижению качества учебных материалов и падению уровня усвоения материалов студентами.

При организации научной работы студентов преподаватель тоже должен уделять много времени каждому учащемуся и студенческому коллективу, что ограничивает количество участников научной работы, количество одновременно проводимых научных проектов у одного преподавателя, а также интенсивность обмена информацией и скорость проверки результатов научной работы.

Чтобы избежать снижения качества учебных материалов и повысить интенсивность научной работы студентов предлагается использовать коллективную экспертизу информационных материалов и результатов интеллектуальной деятельности, размещенных в СДО. При таком подходе повышается производительность учебного процесса, выявляются и устраняются недостатки обучения, появляются новые предложения от студентов по решению проблем.

Без автоматизации коллективная экспертиза проводилась путем сбора письменных замечаний и предложений. После сбора данных вручную проводился их анализ, что занимало существенное время и не могло происходить постоянно параллельно основной деятельности. Чтобы вести такую работу постоянно требуются средства автоматизации процесса сбора, хранения полученной от студентов информации, ранжирования замечаний и предложений, выработки коллективных предложений.

Предпринимались попытки автоматизировать процесс коллективной экспертизы на платформах Google Docs и Microsoft 365. Сбор требований происходил в Google Forms и Microsoft Forms. Экспертам предлагалось сформулировать замечание и описать значимость данного замечания. Понятно, что студент не всегда может достоверно оценить значимость своего замечания. Необходимой оказалась автоматизация анализа и выработки совместных предложений по улучшению оцениваемых объектов. Недостатками данного подхода явилось отсутствие возможностей:

1. редактирования и обсуждения внесенных предложений;
2. просмотра всех предложений и контроля дубликатов;
3. групповой оценки внесенных предложений.

В ходе исследования возможных способов автоматизации процесса коллективной экспертизы, учитывая широкое распространение СДО Moodle, предложено решение, построенное на основе методов коллективной экспертизы [5] и возможностей СДО, для создания подсистемы проведения коллективной экспертизы и площадки обмена мнениями по выработанным предложениям на базе СДО Moodle.

Реализация предложенного решения в СДО Moodle может быть выполнена на основе следующих модулей, используемых в качестве элементов курса:

1. Семинар (Workshop) – с помощью данного модуля студенты могут загружать в СДО результаты выполненных учебных или научных работ в виде файлов различных форматов или простого текста, созданного в редакторе самой СДО, для оценивания преподавателем и другими студентами. При этом каждый студент может выступать в качестве рецензента для работ других студентов. Также в качестве оцениваемого материала могут выступать объекты учебных курсов в СДО, что позволяет при должной формулировке вопросов к аудитории получить необходимые ответы относительно восприятия материала учащимися.

2. База данных (Database) – с помощью данного модуля может быть организован банк записей на любую тему, представляющий собой таблицу, в которой преподаватель и студенты могут создавать, отображать, искать записи, а также голосовать за них и менять сортировку в зависимости от значения полей. Формат и структура этих записей могут быть любыми и включать в себя текст, числа, изображения, файлы, URL-адреса и пр.

3. Обратная связь (Feedback), Опрос (Choice), Анкета (Survey) – с помощью данных модулей преподаватель может задать студентам вопросы об определенных материалах курса или проблемах освоения материалов и собирать ответы.

4. Форум (Forum) – с помощью данного модуля осуществляется групповое обсуждение с фиксацией результата общения и обмен приватными сообщениями.

В результате внедрения коллективной экспертизы информационных материалов, размещенных в СДО Moodle, удается выявить и устранить недостатки учебных материалов и повысить их качество, а также интенсифицировать проектное взаимодействие учащихся в рамках студенческой научной работы. Применение данного подхода на постоянной основе в качестве повседневной практики позволяет поддерживать учебные материалы в актуальном состоянии и осуществлять активный обмен мнениями в рамках студенческой научной работы.

Список литературы

1. *Бродский А.В., Гинзбург И.Б., Столярчук В.А.* Эволюция способов дистанционного обучения // *Научно-технический вестник Поволжья.* – 2020. – №11. – С. 24-26.
2. *Гинзбург И.Б.* Концепция построения распределенных систем информационной поддержки технического обслуживания аэрокосмической техники с использованием функционально насыщенных веб-клиентов // *Научно-технический вестник Поволжья.* – 2014. – №5. – С. 159–161.
3. *Гинзбург И.Б., Падалко С.Н., Терентьев М.Н.* Концепция систем дистанционного мониторинга процессов производства и испытаний аэрокосмической техники на основе многошлюзовой беспроводной сенсорной сети с автономным веб-приложением // *Научно-технический вестник Поволжья.* – 2015. – №4. – С. 58–61.
4. *Гинзбург И.Б., Ермаков А.А., Падалко С.Н.* Быстрый старт дистанционного обучения с использованием сети Интернет // *Научно-технический вестник Поволжья.* – 2020. – №12. – С. 29-31.
5. *Бакурская Н.Е.* Современные методы коллективной экспертизы // *Государственная служба.* – 2016. – №2 (100). – С. 116-119.

05.13.01

¹А.И. Калашников, ²Д.В. Моисеев канд. техн. наук¹АО НПО им. С.А.Лавочкина,
Химки, aka@laspace.ru,²ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»,
кафедра «Системный анализ и управление»,
Москва, moiseev801@mail.ru

НОВАЯ ВЕРСИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА МАРШРУТИЗАЦИИ ПОЛЕТА ЛЕГКИХ БЕСПИЛОТНИКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫЧИСЛИТЕЛЯ INTLINPROG

В статье обсуждается новая версия программного комплекса маршрутизации полета легких беспилотников, в котором в качестве ядра используется вычислитель intlinprog пакета MATLAB. Проведен сравнительный анализ различных вариантов настроек вычислителя. Даны рекомендации по варианту настроек (опций), который наилучшим образом подходит для решения задач маршрутизации полета легких беспилотников.

Ключевые слова: *маршрут полета, оптимальная маршрутизация, точечные объекты, протяженные объекты, легкий беспилотник, ветер в зоне полета, метод ветвей и границ, программная реализация, эффективность расчета, MATLAB, intlinprog.*

В ряде работ [1, 2] в качестве перспективного направления развития беспилотных технологий сбора информации о расположенных на земной поверхности объектах называется автоматизация процесса управления полетом беспилотных летательных аппаратов (БЛА). Из различных этапов полета в этом смысле наибольшее внимание привлекает этап полета по маршруту. На этом этапе БЛА должен пролететь над определенными участками земной поверхности и провести их мониторинг. Этот этап полета непосредственно связан с выполнением целевой миссии. От его рациональной организации существенно зависит целевая эффективность БЛА. Становится актуальной задача повышения эффективности целевого применения БЛА за счет оптимизации маршрутного этапа полета. Задача планирования маршрута является частью предполетной подготовки. Это означает, что она решается в условиях ограниченных вычислительных и временных ресурсов. Это обстоятельство предъявляет дополнительные требования к математическому и программно-алгоритмическому обеспечению, разрабатываемому для решения задач маршрутизации полета.

Для рассматриваемых в статье легких БЛА предполагается, что маршрутный полет проходит на постоянной высоте. Под легкими понимаются БЛА, массогабаритные характеристики которых, а также воздушная скорость таковы, что ветер является возмущающим фактором, существенно влияющим на путевую скорость аппарата. Поскольку для легких БЛА время и зона полета относительно невелики, направление и скорость ветра полагаются постоянными.

Для позиционирования объектов наблюдения и задания курсовых углов движения БЛА используется прямоугольная система координат, связанная с земной поверхностью. Исходные данные, используемые при решении задачи маршрутизации, делятся на две группы. Первая из них содержит информацию о целевой обстановке в зоне полета. Это координаты объектов наблюдения и информация о скорости и направлении ветра в зоне полета. Вторая содержит данные о технических характеристиках БЛА, в частности воздушной скорости и, при необходимости, о предельной длительности полета. Требуется найти оптимальный, например, наискорейший замкнутый маршрут однократного облета объектов заданной конфигурации. Маршрут должен указывать последовательность облета объектов, а также курсовые углы при полете между ними.

Среди различных подходов к решению задач маршрутизации полета одним из наиболее перспективных является подход, предусматривающий сведение задачи маршрутизации к определенной постановке бивалентного линейного программирования. Такой подход органично позволяет вводить неизвестные, связывая их с наличием или отсутствием переходов между парами маршрутных точек. В [3] было показано как в рамках указанного подхода формализовать задачу нахождения маршрута облета не только точечных, но и протяженных объектов.

Решение задач бивалентного линейного программирования, в случае если они имеют достаточно большие размеры, а время расчетов ограничено, является серьезной проблемой. Соответственно к программному обеспечению предъявляются высокие требования, а его разработка весьма актуальна.

Новое программное обеспечение представляет собой усовершенствованную версию программного комплекса UAVRouting [4]. В обновленной версии программы были доработаны и улучшены: модуль ввода исходных данных, модуль генерации бивалентной математической постановки задачи, модуль расчета времени полета БЛА, вычислительный модуль задачи оптимизации, модуль поиска и исключения подциклов, а также модули вывода результатов и отображения маршрута в OpenStreetMap. В результате, новая версия программы получила возможность рассчитывать оптимальные маршруты полета не только для одиночных аппаратов, но и для группы БЛА, как это описано в [5]. При этом маршрутом могут связываться как точечные, так и протяженные объекты. Такое наращивание возможностей программного обеспечения стало возможным благодаря модульному принципу построения и открытой архитектуре комплекса UAVRouting. Естественно, что в новой программе эти принципы были сохранены. Кроме того, был сохранен принцип выделения в программном комплексе в качестве отдельного модуля вычислительного ядра, использующего определенную стандартную программу решения задачи бивалентного линейного программирования. Это дает возможность постоянного наращивания вычислительных возможностей комплекса за счет использования появляющихся новых программ решения задач бивалентного линейного программирования.

В ядре новой версии используется обновленный вычислитель *intlinprog*, который является стандартной программой решения задач смешанного целочисленного программирования в современных версиях MATLAB *Optimization Toolbox*. Этот вычислитель дает возможность использовать более эффективные и современные методы решения задач целочисленной оптимизации. Существенным преимуществом данного вычислителя является то, что он верифицирован. Однако справедливо также и то, что результаты работы вычислителя *intlinprog* весьма зависят от его настроек. Другими словами, весьма важным оказывается подбор таких настроек вычислителя, которые наилучшим образом подходят для решения рассматриваемой задачи с учетом ее специфики.

В вычислителе *intlinprog* применяются следующие группы настроек:

- 1) Установка точности получаемого решения;
- 2) Установка алгоритма отсечений;
- 3) Задание алгоритма ветвления;
- 4) Задание алгоритма выбора узла дерева;
- 5) Установка применяемых эвристик;
- 6) Включение предобработки и постобработки целочисленного решения;
- 7) Установка условий останова вычисления;
- 8) Особенности применяемого симплекс метода.

Было выяснено, что при базовых настройках (*default*) время расчета маршрута при одинаковом количестве объектов существенно зависит от их расположения в зоне полета. Для дальнейшего анализа работы алгоритма был выбран такой вариант расположения объектов, который потребовал при базовых настройках наибольшего времени расчета.

При анализе были рассмотрены следующие варианты процедур решения: метод ветвей и границ без эвристик и отсечений, метод ветвей и границ с эвристическими и метод ветвей и границ с отсечениями. Наиболее эффективные схемы ветвления, выявленные при анализе настроек метода ветвей и границ, применялись в процедурах, использующих эвристики и отсечения.

Среди всех опций зафиксируем те, которые определяют точностные характеристики решения (*AbsoluteGapTolerance*, *ConstraintTolerance*, *IntegerTolerance*, *LPOptimalityTolerance*, *RelativeGapTolerance*) и использования симплекс метода (*RootLPAlgorithm*, *RootLPMaxIterations*), и будем варьировать методические, а именно, отсечение – *CutGeneration*, ветвление – *BranchingRule*, выбор следующего узла – *NodeSelection*, эвристика – *Heuristics*, предобработка решения – *IntegerPreprocess*, условия останова – *MaxTime* и *MaxNodes*. Критериями выбора набора опций будет время расчета и близость получаемого решения к оптимуму. Изменение настроек (*MaxFeasiblePoints*, *ObjectiveCutOff*) не приводит к гарантированному улучшению результата и оставляются по умолчанию.

Продемонстрируем влияние настроек вычислителя *intlinprog* на задаче с 20 точечными и 20 протяженными объектами. Воздушная скорость БЛА при этом составляет 50 км/ч, скорость ветра 5,5 м/с.

Решив данную задачу с опциями по умолчанию получаем оптимальный маршрут. При этом признаком оптимальности решения являются нулевые погрешности решения. В таблицах 1 и 2 представлено оптимальное решение (1-default) и решение с вариациями метода ветвей и границ без использования эвристик и отсечений.

Из таблиц 1 и 2 следует, что применение метода ветвей и границ, как правило, дает оптимальное решение при достаточном количестве рассматриваемых узлов дерева решений, при этом время расчета оказывается сравнительно высоким (опции 2). Отметим так же опции 6 и 10, характеризующиеся высоким быстродействием, для которых решения оказываются достаточно близкими к оптимальному.

Таблица 1 – Опции *intlinprog* без эвристик и отсечений

	1-def	2	3	4	5
CutGeneration	basic	none	none	none	none
MaxTime, с	7200	600	600	600	600
BranchRule	reliab.	maxpjscost	strongpjsc.	reliab.	strongpjsc.
Heuristics	basic	none	none	none	basic
IntPreprocess	basic	none	basic	none	advanced
NodeSelection	simplebest	simplebest	mininfeas	none	mininfeas
MaxNodes	1E+07	1E+05	1E+05	1E+05	1E+05
Подциклы	68	99	76	74	67
Кол-во шагов	17	27	20	18	17
T расчета, с	2086	1838	1583	1200	2091
T полета, ч	3.4166	3.4166	3.418	3.4184	3.4166

Таблица 2 – Опции *intlintprog* без эвристик и отсечений

	6	7	8	9	10
CutGeneration	none	none	none	none	none
MaxTime, с	600	600	600	600	600
BranchRule	strongpscost				
Heuristics	none	none	none	none	none
IntPreprocess	basic	basic	none	advanced	none
NodeSelection	basic	mininfeas	mininfeas	mininfeas	simplebest
MaxNodes	1E+05	1E+04	1E+04	1E+04	1E+04
Подциклы	150	288	267	273	97
Кол-во шагов	37	73	64	82	24
T расчета, с	411	903	483	14294	564
T полета, ч	3.5021	3.4325	3.8368	3.4325	3.4325

Уменьшение числа рассматриваемых узлов может приводить к отклонению решения от оптимального, но время расчета при этом может сократиться в разы. Таким образом, в качестве рекомендуемых для условия ветвления определены опции *strongpscost* с расчетом псевдоцены, и *simplebestproj* как условие выбора следующего узла дерева. Для получения эффективного решения рекомендуется последовательно увеличивать число рассматриваемых узлов дерева от 10^3 до 10^5 .

В таблицах 3 и 4 рассмотрены 10 вариантов опций метода ветвей и границ с эвристикami.

Таблица 3 – Опции *intlintprog* с эвристикami и без отсечений

	11	12	13	14	15
CutGeneration	none	none	none	none	none
MaxTime, с	600	600	600	600	600
BranchRule	strongpscost				
Heuristics	basic	intermediate	advanced	rss	rins
IntPreprocess	none	none	none	none	none
NodeSelection	simplebestproj				
MaxNodes	1E+04	1E+04	1E+04	1E+04	1.00E+04
Подциклы	136	184	102	136	193
Кол-во шагов	34	50	25	34	54
T расчета, с	317	807	443	294	530
T полета, ч	3.4415	3.4494	3.4348	3.4415	3.4339

Таблица 4 – Опции *intlintprog* с эвристикami и без отсечений

	16	17	18	19	20
CutGeneration	none	none	none	none	none
MaxTime, с	600	600	600	600	600
BranchRule	strongpscost				
Heuristics	round	diving	rss-diving	rins-diving	round-diving
IntPreprocess	none	none	none	none	none
NodeSelection	simplebestproj				
MaxNodes	1E+04	1E+04	1E+04	1E+04	1E+04
Подциклы	137	126	179	171	176
Кол-во шагов	36	32	49	46	47
T расчета, с	358	369	671	633	742
T полета, ч	3.4326	3.4166	3.4377	3.4347	3.4339

Из анализа результатов следует, что, подключив эвристические процедуры удается получить решение со сравнительно высоким быстродействием. Полученные значения критерия оптимальности решений с применением эвристик ухудшились менее чем на 2%. Однако, если не знать точного решения, эти результаты необходимо рассматривать как приближенные решения, так для опций 17 относительная погрешность $relativegap=3.5$, а абсолютная $absolutegap=0.15$. Отметим, что оперативность получения решения для опций 14 и 17 можно увеличить в 2 раза, точность решения при этом снизится на 1%.

Наиболее эффективными эвристиками при этом являются *rss* – поиск допустимого решения с округлением (опция 14) и *diving* – погружение в дерево решений в глубину без образования боковых ответвлений (опция 17).

В таблице 5 собраны результаты для анализа того, как метод ветвей и границ с отсечениями работает с рекомендованными опциями ветвления.

Таблица 5 – Опции *intlinprog* с отсечениями

	21	22	23	24	25	26
CutGeneration	basic	intermed.	advan.	basic	intermed.	advan.
MaxTime, c	600	600	600	600	600	600
BranchRule	strongpscost					
Heuristics	none	none	none	none	none	none
IntPreprocess	none	none	none	none	none	none
NodeSelection	simplebestproj					
MaxNodes	1E+03	1E+03	1E+03	1E+04	1E+04	1E+04
Подциклы	241	118	142	104	104	97
Кол-во шагов	63	27	35	27	27	24
T расчета, с	393	388	479	563	657	671
T полета, ч	3.49	3.4166	3.4166	3.4184	3.4166	3.4325

Из приведенной таблицы видно, что наибольшее быстродействие показали отсечения *intermediate*, причем данное решение оказалось оптимальным. Также отметим, что с увеличением рассматриваемого числа узлов быстродействие ухудшается (опции 24-26) без потери оптимальности решения.

Заключение

1. Разработан усовершенствованный программный комплекс маршрутизации полета легких БЛА, использующий в качестве вычислительного ядра программу *intlinprog* пакета MATLAB и позволяющий находить оптимальные, например, наискорейшие маршруты облета как точечных, так и протяженных объектов.

2. Определены наиболее эффективные для решения задачи маршрутизации полета БЛА опции вычислителя *intlinprog*. В частности, показано, что для повышения быстродействия целесообразно использовать опции ветвления *BranchingRule=strongpscost* и выбора узла *NodeSelection= simplebestproj*, а при использовании *intlinprog* с эвристиками рекомендуется использовать *Heuristics=rss* или *Heuristics=diving*.

3. Время решения задачи существенно зависит от взаимного расположения объектов. Для расчета наискорейшего маршрута облета 30 точечных и 30 протяженных объектов при различных вариантах взаимоположения объектов на компьютере с процессором Intel Core i5 2,8ГГц потребовалось не более 5 минут.

Список литературы

1. Злотников К.А., Верба В.С., Татарский Б.Г., Прищепина Ю.В., Слесарев А.Ю. и др. Комплексы с беспилотными летательными аппаратами. В 2-х кн. Книга 2 Робототехнические комплексы на основе беспилотных летательных аппаратов: Монография. – М.: Радиотехника, 2016, 824 с.
2. Моисеев В.С., Гущина Д.С., Моисеев Г.В. Основы теории создания и применения информационных авиационных комплексов; Монография. - Казань: Изд-во МОиН РТ, 2010. -196 с., ил. (Серия «Современная прикладная математика и информатика»).
3. Моисеев Д.В., Моисеева С.Г., Односталко И.А. Планирование наискорейшего маршрута облета легким дроном точечных и протяженных объектов в поле постоянного ветра // Тезисы докладов 16-ой Международной конференции «Авиация и космонавтика – 2017», 20-24 ноября 2017г., Москва. – М.: Типография «Люксор», 2017 – С.279 – 278.
4. Моисеев Д.В., Моисеева С.Г., Односталко И.А., Чинь В.М. Программный комплекс планирования оптимальных маршрутов полета легких дронов с учетом действия ветра в зоне полета // Тезисы докладов 23-ой Международной научной конференции "Системный анализ, управление и навигация», с 1 июля по 8 июля 2018 г., г. Евпатория, Крым, Россия. – М.: МАИ, 2018 – С.139-141.
5. Моисеев Д.В., Моисеева С.Г., Односталко И.А. Координированная маршрутизация полета группы легких беспилотных летательных аппаратов с учетом ветра в зоне полета // Тезисы докладов 22-ой Международной научной конференции "Системный анализ, управление и навигация», со 2 июля по 9 июля 2017 г., г. Евпатория, Крым, Россия. – М.: Изд-во МАИ, 2017 – С.153-154.

05.13.01

А.Е. Петров д-р техн. наук, Ч.Б. Бактыбеков

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,
Москва, Baktybekovchb@yandex.ru

СИСТЕМА ПОЛЕОРИЕНТИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО СИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Система полеориентированного управления энергосберегающего синхронного электропривода с постоянными магнитами для промышленного оборудования представляет собой регулирование, при котором в качестве переменных в системе используются значения напряжений, токов и потокосцеплений, в пространственных векторах. Используемые методы для достижения повышения эффективности системы управления данного синхронного электропривода с постоянными магнитами на основе разработки математической модели, информационных и интеллектуальных алгоритмов, реализованы параметрами систем позволяющей использовать представленное управление энергосберегающего электропривода.

Цель данной научной статьи – разработка системы полеориентированного управления энергосберегающего синхронного электропривода с постоянными магнитами для промышленного оборудования.

Метод, используемый в разработке системы полеориентированного управления безредукторного синхронного электропривода с постоянными магнитами, был основан исходя из параметров реального приводного ленточного конвейера, с учетом особенностей конструкции высокомоментных двигателей.

В работе решаются задачи системы полеориентированного управления энергосберегающего электропривода и состоят в том, чтобы найти такое решение, которое обеспечит допустимое управление высокими показателями динамических характеристик, которое повысит эффективность производительности данного энергосберегающего безредукторного синхронного электропривода с постоянными магнитами.

Ключевые слова: система управления, полеориентированное, синхронный, электропривод, безредукторный, энергоэффективный, энергосберегающий, электродвигатель.

Энергосберегающие безредукторные синхронные электроприводы с постоянными магнитами очень часто применяются в промышленности и в производстве электромобилей из-за их выдающихся технических характеристик. Энергосберегающие электроприводы обладают высокой эффективностью, высокой мощностью и большим отношением крутящего момента к весу электропривода [1].

Высокопроизводительная полеориентированная система управления синхронного безредукторного электропривода с постоянными магнитами требует хорошей реакции слежения, устойчивости к помехам, адаптации к изменениям параметров и широкого диапазона регулируемых скоростей [2]. Векторная диаграмма декомпозиции тока на основе начального положения ротора представлена на рис. 1. Поэтому для повышения производительности систем было предложено множество регуляторов скорости, таких как самонастраивающийся регулятор.

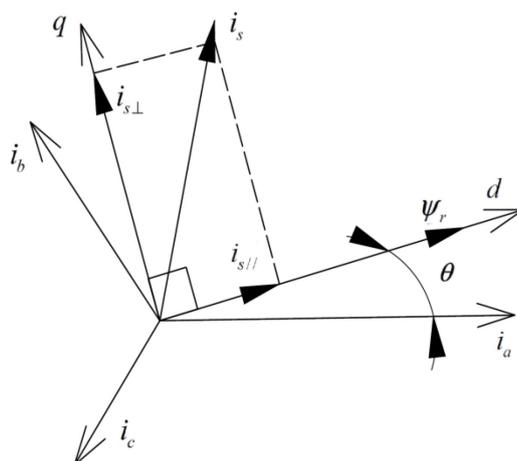


Рис. 1 – Векторная диаграмма декомпозиции тока на основе начального положения ротора

Когда команда скорости настроена на реверс направления вращения, система фиксирует опорный ток i^*q и замедляет скорость вращения ротора до определённого порогового значения скорости для условия переключения. Когда частота вращения ротора ниже вышеуказанного значения, сигнал обратной электродвижущей силы недостаточно велик и значительно подвержен влиянию шума, что приводит к неточному получению оценщиком информации о положении угла поворота ротора [3]. Таким образом, система переходит в режим управления i^*f . Контроль энергосбережения имеет важное экономическое значение для промышленных предприятий и ключевой проблемой системы управления энергосбережения для синхронного электропривода заключается в том, как разложить ток статора путем точной оценки положения и скорости ротора [4]. Затем формируется двойной замкнутый контур управления током и скоростью статора, чтобы ток статора проводил двигатель в движение как весь крутящий момент.

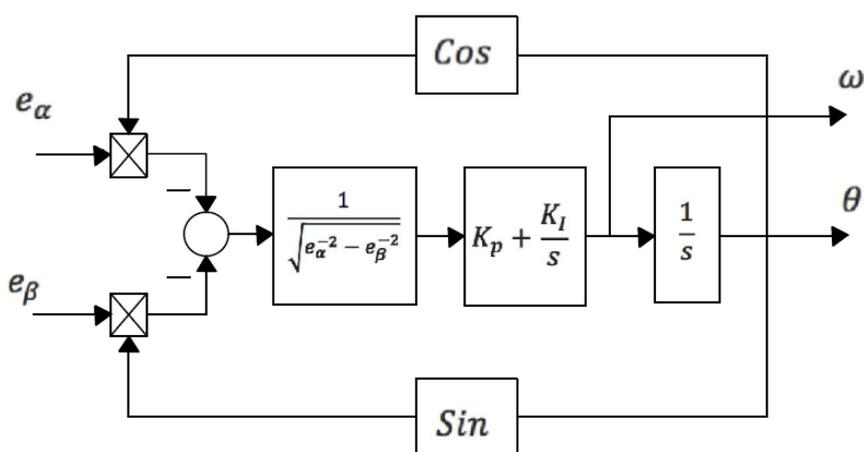


Рис. 2 – Структура фазовой автоподстройки частоты

Предложенный на рис. 2 алгоритм оценки может использовать текущую модель энергосберегающего синхронного безредукторного электропривода в качестве эталонной модели для оценки частоты вращения и положения ротора на этапах пуска. Он не зависит от обратной электродвижущей силы, которая используется общим алгоритмом оценки. Однако сопротивление будет меняться с изменением температуры обмоток статора, и эти изменения приведут к тому, что модель опорного тока будет неточной и повлияет на точность оценки частоты вращения и положения ротора [5]. Таким образом, алгоритм оценки запуска переключается на предложенный алгоритм оценки работы, основанный на теории скользящего режима и не зависящий от параметров двигателя. Преимущества алгоритма оценки запуска и алгоритма оценки работы объединяются для формирования гибридного

контроллера [6]. Этот гибридный контроллер осуществляет точную оценку скорости и положения ротора от запуска до достижения максимального крутящего момента [7]. Энергосберегающие синхронные электроприводы с постоянными магнитами для промышленного оборудования почти всегда питаются от инвертора источника напряжения.

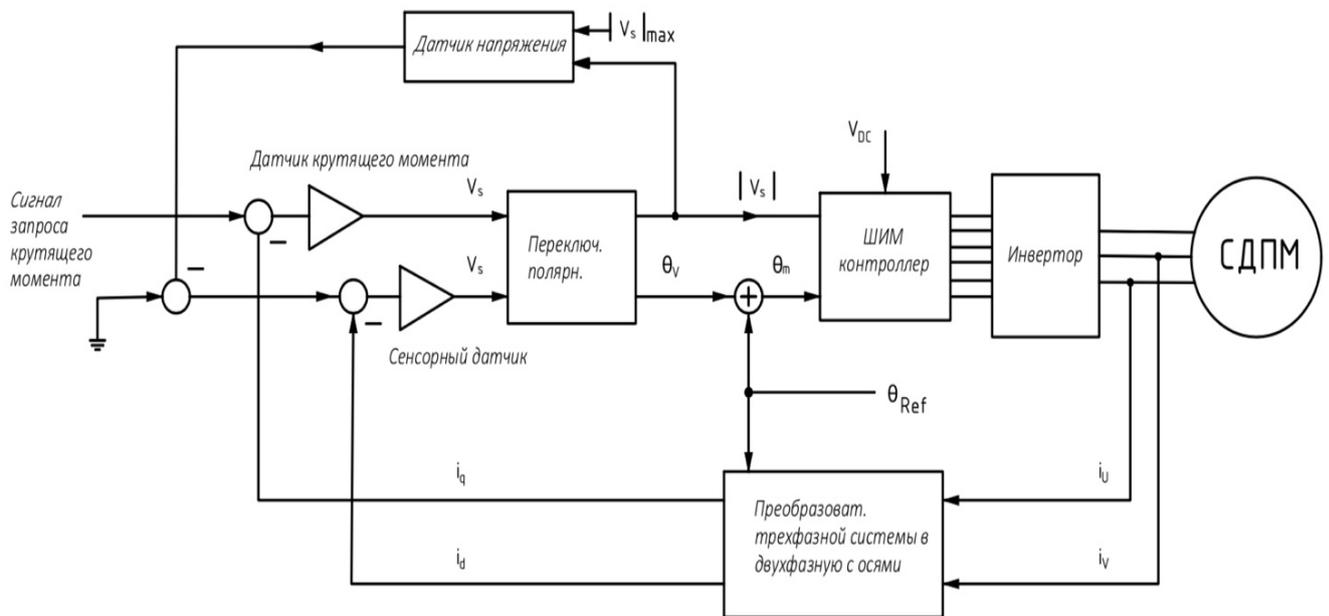


Рис. 3 – Схема системы полеориентированного управления энергосберегающего синхронного электропривода с постоянными магнитами

Схема разработанной системы полеориентированного управления предложена на рис. 3. Алгоритмы применяемые в системе полеориентированного управления позволяют контролировать как скорость вращения двигателя, так и его крутящий момент. В синхронном электроприводе обмотки статора такие же, как и в асинхронном электроприводе, поэтому при подключении к трех фазному источнику питания создается вращающееся магнитное поле [8]. Вместо цилиндрического ротора с клеточной обмоткой, которая автоматически приспособляется к числу полюсов статора, синхронный электропривод имеет ротор с обмоткой постоянного возбуждения (питаемой через скользящие кольца). Ротор способен «синхронизироваться» с вращающимся магнитным полем, создаваемым статором [9]. Как только ротор синхронизирован, он будет работать точно с такой же скоростью, что и вращающееся поле. Поэтому при работе на постоянной частоте, скорость будет оставаться постоянной до тех пор, пока частота питания стабильна, несмотря на изменение нагрузки [10]. Таким образом, работа системы полеориентированного управления заключается в измерении сигналов обратной связи (значений токов и напряжений для статора, углового положения ротора), преобразовании значений в двухфазную цепь, вычислении новых значений фазных напряжений с одновременным преобразованием в трехфазную цепь, и наконец, в управлении силовым модулем инвертора.

В этой статье было показано, что разработанная система полеориентированного управления энергосберегающего электропривода определяет такое решение, которое обеспечит допустимое управление высокими показателями динамических характеристик, которое повысит эффективность производительности данного энергосберегающего безредукторного синхронного электропривода с постоянными магнитами. Использование системы полеориентированного управления для энергосберегающего синхронного электропривода с постоянными магнитами является подходящей альтернативой, поскольку для создания магнитной мощности в роторе или других видов энергии не требуется никакого

дополнительного тока. Кроме того, из полученных результатов можно с достаточной степенью вероятности ожидать, что текущая замена промышленных двигателей будет ускорена в пользу синхронного электропривода с полеориентированной системой управления. Предложенный вариант алгоритм оценки автоподстройки фазовой частоты, не зависящий от параметров энергосберегающего синхронного безредукторного электропривода с постоянными магнитами, может гарантировать точную оценку частоты вращения и положения ротора в случае переменных параметров синхронного электропривода.

Список литературы

1. *Kozyaruk A.E.* Modern and promising algorithmic support for frequency-controlled electric drives/ SPB: St. Petersburg Electrotechnical Company, – 2004. pp. 127.
2. «Motor Control Reference Designs for Smart Fusion Using Field Oriented Control and SV PWM» – 2010. – pp. 3 – 17.
3. *Guo Q.* System Efficiency Improvement for Electric Vehicles Adopting a Permanent Magnet Synchronous Motor Direct Drive System. – 2017. – pp. 5 – 28.
4. Efficient Torque Control of an Interior Permanent Magnet Synchronous Motor in Electric. – January 2017. – pp. 410.
5. Permanent Magnet Synchronous Motor with Different Rotor Structures for Traction Motor in High Speed Trains. – 2018. – pp. 57.
6. Stability Analysis of Deadbeat-Direct Torque and Flux Control for Permanent Magnet Synchronous Motor Drives with Respect to Parameter Variations., ENAS. – 2018. – pp. 27.
7. *Likhachev V.L.* Asynchronous electric motors/ M.: Solomon-R, – 2002. pp. 304.
8. *Gulkov G.I.* Automated control systems for electric drives/ Novoe znanie, – 2007. – pp. 394.
9. *Terekhin V.B.* Simulation of electric drive systems in Simulink (Matlab 7.0.1)/ National Research Tomsk Polytechnic University. Tomsk Polytechnic University Publishing House, – 2010. pp. 292.
10. *Sergeev A.S.* Basics of automated electric drive/ VolgSTU. - Volgograd – Press publishing house, – 2013. – pp. 114.

05.13.01

В.В. Попцов

Тюменский индустриальный университет,
Институт транспорта,
кафедра «Сервиса автомобилей и технологических машин»,
Тюмень, portsov.victor@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЁЖНОСТИ АВТОМОБИЛЕЙ SUBARU FORESTER ТРЕТЬЕГО ПОКОЛЕНИЯ

В статье опубликованы результаты исследования надежности автомобилей Subaru Forester. Произведен сбор и обработка статистических материалов по отказам на различных СТО г. Тюмени. Выполнен анализ параметра потока отказов и выявлены закономерности его изменения. Результатом выполненной работы является разработка рекомендаций по повышению надежности автомобилей указанной марки.

Ключевые слова: *надёжность, параметр потока отказов, наработка, интервалы отказов, неисправность.*

Надёжность - это показатель качества любого технического изделия, в том числе и автомобиля, но он не остаётся постоянным в течении всего срока службы автомобиля и зависит от многочисленных факторов, таких как интенсивность эксплуатации, природно-климатические условия, срок службы автомобиля, соблюдение регламента обслуживания, технологические процессы ремонта и другие факторы [1, 2, 3].

Целью данной работы является повышение надежности автомобилей в процессе эксплуатации. Объектом исследования является надежность автомобилей в процессе эксплуатации.

Выдвинута рабочая гипотеза - для повышения надежности автомобилей необходимо усиление контроля выполнения процессов ТО и ремонта автомобилей Subaru Forester.

Представленные исследования предлагают решение следующих задач:

- оценить изменение показателей надежности автомобилей в процессе эксплуатации;
- установить причины изменения надежности автомобилей;
- предложить рекомендации по повышению надежности автомобилей;
- рекомендовать варианты практической реализации разработанных предложений.

В работе применены аналитические методы исследований, включающие сбор статистической информации и математическую обработку данных.

Использованы известные методы расчета показателей надежности для восстанавливаемых объектов и методы математического анализа [2, 4].

Опыт эксплуатации автомобилей показывает, что надежность не остается постоянной величиной в течение всего срока службы. По мере изнашивания деталей, механизмов и агрегатов надежность уменьшается и вероятность выхода из строя деталей увеличивается. Заложенная степень надежности автомобиля определяется фактическим пробегом [3, 4].

Предлагается оценить надёжность по анализу закономерностей её изменения в процессе эксплуатации по пробегу автомобилей.

Считаем, что автомобиль относится к восстанавливаемым объектам, то есть при отказе каких-либо систем автомобиля они могут быть восстановлены и автомобиль продолжает работать [4].

Для оценки надежности автомобилей с различной наработкой по пробегу в данной работе был проведен сбор данных по обращениям клиентов для устранения неисправностей и отказов автомобилей.

Общее количество обращений в выбранных данных составило 200 автомобилей, имеющих различный пробег с начала эксплуатации.

В результате анализа статистических данных определено количество отказов по системам автомобиля, представленных в таблице 1.

Таблица 1 – Распределение количества отказов по системам автомобиля

Наименование	Числовое значение
Общее количество всех отказов в выборке, ед.	200
В том числе:	
Отказы электрооборудования, ед.	23
Отказы подвески, ед.	83
Отказы сцепления, ед.	4
Отказы двигателя, ед.	18
Отказы трансмиссии, ед.	43
Отказы рулевого управления, ед.	9
Отказы тормозной системы, ед.	6
Отказы элементов салона и кузова, ед.	9

Произведён расчёт коэффициентов отказов по различным системам автомобилей.

Наибольшее число отказов связано с такими системами автомобиля как: подвеска (42%), трансмиссия (22%) и электрооборудование (11%). Выбранные массивы данных по отказам были систематизированы и распределены по интервалам наработки автомобилей по пробегу с начала эксплуатации. Интервалы приняты укрупненно, равными 50 тыс. км.

Полученные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Количество отказов по интервалам наработки

Наименование	Числовое значение					
	1	2	3	4	5	6
Границы интервала, тыс. км.		0–50	50–100	100–150	150–200	>200
Общее количество всех отказов в интервале, ед.		4	9	26	67	94
В том числе:						
электрооборудования, ед.		2	3	3	8	7
подвески, ед.		1	0	5	23	54
сцепления, ед.		0	0	0	1	3
двигателя, ед.		0	2	1	4	11
трансмиссии, ед.		1	4	8	18	12
рулевого управления, ед.		0	0	2	3	4
тормозной системы, ед.		0	0	2	3	1
элементов салона и кузова, ед.		0	0	5	3	1

Расчетные значения отношения количества отказов к наработке в интервалах представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Расчетные значения отношения количества отказов к наработке в пределах интервала

Наименование	Значение				
	1	2	3	4	5
Интервал наработки					
Среднее значение интервала наработки, тыс. км.	25	75	125	175	225
Границы интервала наработки, тыс. км	0 - 50	50 - 100	100 - 150	150 - 200	>200
Количество всех отказов в интервале, ед.	4	9	26	67	94
Отношение количества отказов к наработке, ед./ тыс. км.	0.08	0.18	0.52	1.34	1.88

Следовательно, по мере наработки, значения параметра потока отказов возрастают.

Изменение отношения количества отказов к наработке характеризует скорость изменения потока отказов.

Учитывая, что значения параметра потока отказов при увеличении наработки нарастают с увеличением интенсивности приращения следует, что общее количество отказов по мере увеличения наработки автомобиля возрастает с нарастающей интенсивностью. Можно сделать вывод, что надежность автомобиля, как системы, с увеличением наработки снижается.

Такой порядок изменения показателей надежности характерен для периода старения.

Для задач, поставленных в данной работе, этого вывода из математического анализа вполне достаточно.

Выполненные исследования позволяют сделать выводы:

1. В процессе эксплуатации исследуемых автомобилей происходит ухудшение показателей надежности с нарастающей интенсивностью по мере наработки, в характеристике параметра потока отказов практически отсутствует участок нормальной эксплуатации.

2. Причинами изменения надежности автомобилей по мере наработки являются процессы старения и износа составных элементов автомобиля с ухудшением технического состояния автомобиля, зависящего от условий эксплуатации, включая процессы ТО и ремонта.

3. Для улучшения надежности автомобилей в процессе эксплуатации необходимо обеспечить стабилизацию параметра потока отказов.

Это достигается если:

- обеспечить неизменность условий эксплуатации, постоянный высокий уровень соблюдения технологии ТО и ремонта (в том числе неизменный уровень квалификации персонала);

- при выполнении ТО и ремонта максимально выявлять при помощи диагностирования и немедленно устранять критические или близкие к ним состояния элементов, особенно приводящие к зависимым отказам;

- обеспечить качество запасных частей и материалов на стабильно высоком уровне, применением только товаров, проверенных производителей с обязательным сплошным входным и выходным контролем.

Повышение надежности автомобилей Subaru Forester при эксплуатации в условиях г. Тюмени возможно путем стабилизации параметра потока отказов при соблюдении требований к проведению ТО и ремонта.

Список литературы

1. Аленичев А.А. Общий анализ надёжности автомобильных трансмиссий // Молодой учёный. – 2017. - № 20 (154). – С. 3-5.
2. Денисов Ив.В., Денисов Ил.В. Методика определения общей вероятности безотказной работы технических систем (на примере передней подвески ВАЗ-2170) // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9-7. – С. 1425-1429.
3. Гусейнов Р.В., Султанова Л.М. Определение показателей надёжности автомобилей // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2015. - № 3(38). – С. 43-48.
4. Муратбакиев А.М. Зависимость потока отказов элементов автомобиля от температурных условий // Транспортное дело России. – 2016. - №3. – С. 88-91.

05.13.01

**М.В. Славашевич, В.Т. Бобронников д-р техн. наук,
А.А. Морозов, А.В. Старков д-р техн. наук**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»,
кафедра «Системный анализ и управление»,
Москва, slavashevich.maks@mail.ru, starkov@goldstar.ru,
Научный центр оперативного мониторинга Земли АО
«Российские космические системы»,
Москва, aamorozko@mail.ru

МОНИТОРИНГ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА

В работе рассматриваются вопросы обработки данных дистанционного зондирования Земли из космоса для оценки техногенной нагрузки. В качестве исследуемого явления выбрана авария 29 мая на территории ТЭЦ-3 Норильско-Таймырской энергетической компании. Визуальное дешифрирование космических снимков со спутника Sentinel-2 L2A позволило сделать вывод о значительном воздействии на территорию.

Ключевые слова: *Данные ДЗЗ, космические снимки, нефтяное загрязнение.*

Введение

При решении многочисленных задач нефтегазового комплекса осуществляется дистанционное зондирование различных объектов, расположенных на суше и на море. В случае аварий на этих объектах происходят утечки нефтяных и газовых компонентов, которые приводят к загрязнению окружающей среды. При этом аэрокосмическими средствами мониторинга регистрируются различные изменения на поверхности и под поверхностью земли и воды, которые происходят в результате деятельности объектов нефтегазовой отрасли.

В работе рассматривается методика оценки техногенной нагрузки на основе дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса. В качестве исследуемого явления выбрана авария 29 мая на территории ТЭЦ-3 Норильско-Таймырской энергетической компании (НТЭК, входит в группу «Норильский никель»). На объекте разгерметизировался резервуар с дизельным топливом.

Предельно допустимая концентрация вредных веществ на водных объектах в Норильске, по данным доклада главы Росприроднадзора Светланы Радионовой, была превышена в десятки тысяч раз. Она также сообщила, что в грунт попали около 6 тыс. тонн нефтепродуктов, в водные объекты - порядка 15 тыс. тонн.

Мониторинг разливов нефти на поверхности акватории позволяет решить следующие задачи:

- Выявление фактов аварийного разлива нефти;
- Выявление фактов сброса топлива с кораблей;
- Информационное обслуживание работ по предотвращению и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов;
- Исследование, анализ и оценку экологических последствий возникших разливов;
- Оценка направления дрейфа нефтяного пятна.

Основным документом, устанавливающим правила проведения мониторинга ЧС на объектах нефтегазовой отрасли, является Постановление Правительства РФ от 15 апреля 2002 г. N 240 «О порядке организации мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории Российской Федерации».

Обработка данных ДЗЗ

Современные космические средства обеспечивают получение снимков с высоким разрешением и высокой оперативностью.

Для решения задачи детектирования нефтяного разлива были использованы снимки спутника с КА Sentinel-2.

Sentinel-2 оснащен оптико-электронным мультиспектральным сенсором для съемок с разрешением от 10 до 60 м в видимой, ближней инфракрасной (VNIR) и коротковолновой инфракрасной (SWIR) зонах спектра, включающих в себя 13 спектральных каналов. Орбита высотой в среднем 785 км, наличие в миссии двух спутников позволяет проводить повторные съемки каждые 5 дней на экваторе и каждые 2–3 дня в средних широтах.

Увеличение ширины полосы обзора наряду с высокой повторяемостью съемок позволяет отслеживать быстро изменяющиеся процессы, такие как мониторинг масштабных чрезвычайных ситуаций. Данные Sentinel-2 обеспечивают сервисы GMES, связанные с управлением земельными ресурсами, сельскохозяйственным производством и лесным хозяйством, а также мониторингом стихийных бедствий и гуманитарных операций. Уникальность миссии Sentinel-2 связана с сочетанием большого территориального охвата, частых повторных съемок и систематическим получением полного покрытия всей Земли мультиспектральной съемкой высокого разрешения. [1]

Орбита КА «Sentinel – 2» – солнечно-синхронная, позволяет обеспечивать постоянное поддержание угла падения солнечного света на поверхность Земли. Помимо небольших сезонных колебаний, привязка орбиты спутников к углу наклона солнца сводит к минимуму потенциальное влияние теней и уровней освещенности на землю. Это обеспечивает согласованность во времени и имеет решающее значение при оценке данных временных рядов.

Спутники Sentinel – 2А и Sentinel – 2В занимают одну и ту же орбиту, но разделены на 180°. Средняя высота орбиты составляет 786 км. Наклон орбиты составляет 98,62°, а среднее местное солнечное время (MLST) в нисходящем узле составляет 10:30 (am). Это значение MLST было выбрано в качестве компромисса между подходящим уровнем солнечной освещенности и минимизацией потенциального облачного покрова. Значение MLST близко к местному времени прохождения эстакады Landsat и почти идентично значению Spot-5, что позволяет интегрировать данные Sentinel-2 с современными и старыми миссиями и способствует сбору данных о долгосрочных временных рядах. [2,3]

В таблице содержится краткое изложение полезной орбитальной информации для Sentinel-2А и –2В:

Таблица 1 – Параметры орбиты КА Sentinel-2

Высота	Наклонение	Период	Цикл	Отклонение траектории	Местное время в нисходящем узле
786 км	98.62°	100.6 мин	10 дней	± 2 км	10:30 (ч:мин)

В качестве метода исследования выбрано визуальное дешифрирование разновременных космических снимков исследуемой территории. Поскольку при автоматическом дешифрировании выявляется большое количество ложных объектов, не представляющих практического интереса. Для процесса дешифрирования использовались различные комбинации спектральных каналов в комплексе с вегетационным индексом, который позволяет определить потенциальные зоны разливов нефти и нефтяных загрязнений почв и водоемов.

Для выполнения проекта использовалось программное обеспечение: Scanex IMAGE Processor. Мониторинг нефтяного разлива в акватории был проведен по следующим этапам:

В первую очередь отобраны подходящие архивные снимки с учётом облачности. Один из космических снимков территории до случившейся аварии представлен на рис. 1



Рис. 1 – Р. Амбарная до утечки топлива.

Снимок со спутника Sentinel-2 L2A в натуральных цветах R-G-B. 27 мая 2020 г. [4]

На втором этапе работы было необходимо выполнить подбор комбинации каналов снимка, при котором объект интереса будет отличаться по цвету от тех, что похожи в «натуральных» цветах.

В практике дешифрирования нефтяных пятен в общих случаях используют комбинацию «естественные цвета» (комбинация каналов для Sentinel-2 – 4-3-2), так как нефтяные пятна довольно хорошо прослеживаются в ней [5]. Однако, иногда трудно дешифровать небольшие утечки или чётче ограничить большие площади разлива нефти. Причиной является невысокое пространственное разрешение спутников Sentinel (10-20 метров). Поэтому, для более точного выявления нефтяных пятен было проведён подбор наиболее подходящих комбинаций каналов для детектирования нефтяных загрязнений. Самое наглядное изображение дало сочетание оптических каналов 4-3-1. Также, качество снимка было улучшено с помощью регулирования гистограммы так, что большинство объектов интереса на снимке смотрелось более контрастно и четко.

Далее на рис. 2 представлен снимок до обработки, а на рис. 3 – снимок, обработанный в программном обеспечении ScanEX Image Processor.



Рис. 2 – Снимок в натуральных цветах R-G-B. 31.05.2020



Рис. 3 – Снимок в сочетании каналов 4-3-1. 31.05.2020

Нефтяной разлив более различим, не сливается с другими объектами.

При данном сочетании каналов чётче прослеживаются области нефтяных загрязнений и становится проще определить мелкие участки нефтеразливов.

Заключение

Использование предложенного подхода позволило наиболее объективно оценить уровень техногенного воздействия на объекте исследования, дать более точную оценку повреждениям, принесённым экосистеме области, загрязнения акватории, пострадавших от нефтяных разливов, при решении геоэкологических проблем, связанных с нефтеразливами (рис. 2–3). Данное исследование актуально в связи с увеличением производства в объектах нефтегазового комплекса и сильного влияния нефтяных загрязнений на окружающую среду.

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Применение данных дистанционного зондирования Земли в целях обнаружения аварий на нефтегазовых объектах является эффективным и оправданным методом, который позволяет своевременно получить достоверную информацию.

2. По данным космических снимков стало возможным оценить масштаб экологической катастрофы и воздействие на территорию.

Список литературы

1. ЕКА миссия «Сентинэл» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2> - . – Дата доступа: 24.02.2021.
2. Емельянов А.А., Малышев В.В., Старков А.В., Гришанцева Л.А., Зубкова К.И., Зай Яр Вин: Анализ и формирование показателей эффективности в задаче распределения потоков целевой информации при функционировании космических систем ДЗЗ // Научно-технический вестник Поволжья №8 2019, с. 28-31
3. Еремеев В.В., Зинина И.И., Кузнецов А.Е., Мятов Г.Н., Пошихонов В.И., Филатов А.В., Юдаков А.А.: Технология потоковой обработки данных ДЗЗ высокого разрешения // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса, №1 18 Том, 2021, с.11-18
4. Снимки получены с портала Copernicus Open Access Hub [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://scihub.copernicus.eu/> – Дата доступа: 02.03.2021.
5. Майоров А.А., Матерухин А.В. Анализ существующих технологий обработки потоков пространственно-временных данных для современных информационно-измерительных систем // Измерительная техника. – 2017. – № 4. – С. 31–34.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ (05.13.06)**

05.13.06

В.А. Бережной, О.А. Иващук д-р техн. наук, Ю.Н. Маслаков

НИУ «БелГУ»,
институт инженерных и цифровых технологий,
кафедра информационных и робототехнических систем,
Белгород, vaber93@mail.ru, ivaschuk@bsu.edu.ru, maslakov.yn@gmail.com

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА СЕГМЕНТАЦИИ 3D МОДЕЛЕЙ
ВЕГЕТАТИВНОЙ ЧАСТИ ПОБЕГА**

В статье рассматривается один из этапов фенотипирования растений – сегментация 3D модели растений на органы. Авторы исследуют вегетативную часть побега, состоящую из ствола и листьев и предлагают оригинальный метод сегментации. Апробация метода проведена на 792 3D моделях растений 6 видов, приведены метрики качества.

Ключевые слова: *автоматизированная система фенотипирования, математическое моделирование, сегментация, 3D моделирование.*

Введение.

Регистрацией параметров растений цифровыми методами занимается наука на стыке биологии и информатики – феномика, основная задача которой – фенотипирование, что по сути является автоматизированной регистрацией параметров растений за счет цифровых методов [1]. Одним из этапов фенотипирования является сегментация растений на органы – ствол, листья. Результаты сегментации используются для расчета морфометрических показателей и анализа роста и развития растений. Подобные методы широко используются в автоматизированных системах фенотипирования [2, 3] и интеллектуальных системах поддержки принятия решений по управлению выращиванием растений [4].

Методика.

Рассматриваемый метод сегментации разрабатывался для работы с 3D моделями растений, представленных в виде облака точек, или набора вокселей, и состоит из следующих шагов:

1. По модели растения создается связанный граф растения.
2. Производится поиск нижней (базовой) точки стебля растения.
3. Производится поиск сегмента растения максимальной длины.
4. Сохранение найденного сегмента и удаление его из графа растения. Если в графе остались вершины, перейти к п. 3, иначе вернуть сегменты растения и принадлежащие этим сегментам вершины.
5. Определение класса сегмента.

Детализируем каждый шаг из алгоритма выше.

Шаг 1. Модель растения используется для создания связанного графа. Для этого инициализируется граф G и в него добавляются центры всех вокселей или точек из облака точек как исходные вершины графа. Далее происходит процесс формирования ребер между вершинами. Для каждой вершины графа производится поиск ближайших вершин в радиусе r . Если вершины-соседи существуют, то между текущей вершиной и соседней вершиной создается связь в виде ребра графа. После прохода по всем вершинам возвращается сформированный граф модели растения.

Шаг 2. Поиск базовой вершины стебля растения. Примем центр начала стебля растения за базовую вершину. Для ее локализации по графу растения ищется множество вершин с минимальным значением высоты z . В полученном множестве рассчитываются координаты центра p_{mean} как среднее по всем вершинам в множестве. Вершина, лежащая ближе всего к p_{mean} принимается за центральную вершину стебля и используется для дальнейших расчетов.

Шаг 3. Сегментация графа G начинается с вычислений кратчайшего пути с использованием алгоритма Дейкстры для всех вершин графа до базовой вершины p_{base} . Далее производится инициализация множества Y , в которое добавляются все вершины из графа G . Данное множество используется для итеративного удаления из него рассматриваемых вершин в процессе сегментации до тех пор, пока оно не станет пустым.

В процессе сегментации осуществляется поиск вершины p_{end} , которая располагается дальше всего от начала растения в вершине p_{base} . Для каждой промежуточной вершины на пути от p_{end} до p_{base} строится нормальная плоскость. Уравнение для плоскости, проходящей через точку p_i с координатами (x_i, y_i, z_i) перпендикулярную вектору $\overrightarrow{p_i p_{i+1}}$ имеет вид:

$$(x_{i+1} - x_i)(x - x_i) + (y_{i+1} - y_i)(y - y_i) + (z_{i+1} - z_i)(z - z_i) = 0 \quad (1)$$

Шаг 4. В каждой из полученных плоскостей в радиусе r производится поиск входящих вершин из множества Y для которых отмечается принадлежность к текущему сегменту. Найденные вершины удаляются из Y , сегмент и множество принадлежащих ему вершин добавляются в массив сегментов растения и итерация повторяется, пока $Y \neq \emptyset$. Таким образом каждый сегмент состоит из последовательности вершин, которые являются кратчайшим путем S_{path_i} от двух наиболее удаленных точек сегмента, и относящихся к ним вершинам, которые лежат в нормальной плоскости к векторам, полученным из последовательного соединения вершин в кратчайшем пути.

Блок-схема алгоритма сегментации представлена на рис 1.

Шаг 5. Для каждого сегмента определим принадлежность к классу стебля “Stem” или к классу листьев “Leaf”.

Для этого среди полученных сегментов производится поиск сегмента $S_{highest}$ с максимальным значением высоты z . В найденном сегменте для каждой промежуточной вершины v_i на пути $S_{path_{highest}}$ от p_{base} до p_{end} строится нормальная плоскость к вектору $\overrightarrow{v_i, v_{i+1}}$, производится поиск вершин принадлежащих полученной плоскости и расстояния от наиболее удаленной вершины до v_i . Найденное расстояние добавляется в массив $distances$, в котором после заполнения производится поиск участков сужения стебля растения. Если участок сужения с максимальным значением высоты совпадает с верхними вершинами растения или отсутствует вовсе, то весь сегмент $S_{highest}$ может быть классифицирован как стебель, а если имеющийся участок сужения находится на определенном расстоянии от верхней точки сегмента, то сегмент $S_{highest}$ имеет на конце лист. В этом случае $S_{highest}$ разбивается на два сегмента – сегмент со стеблем и сегмент с листом.

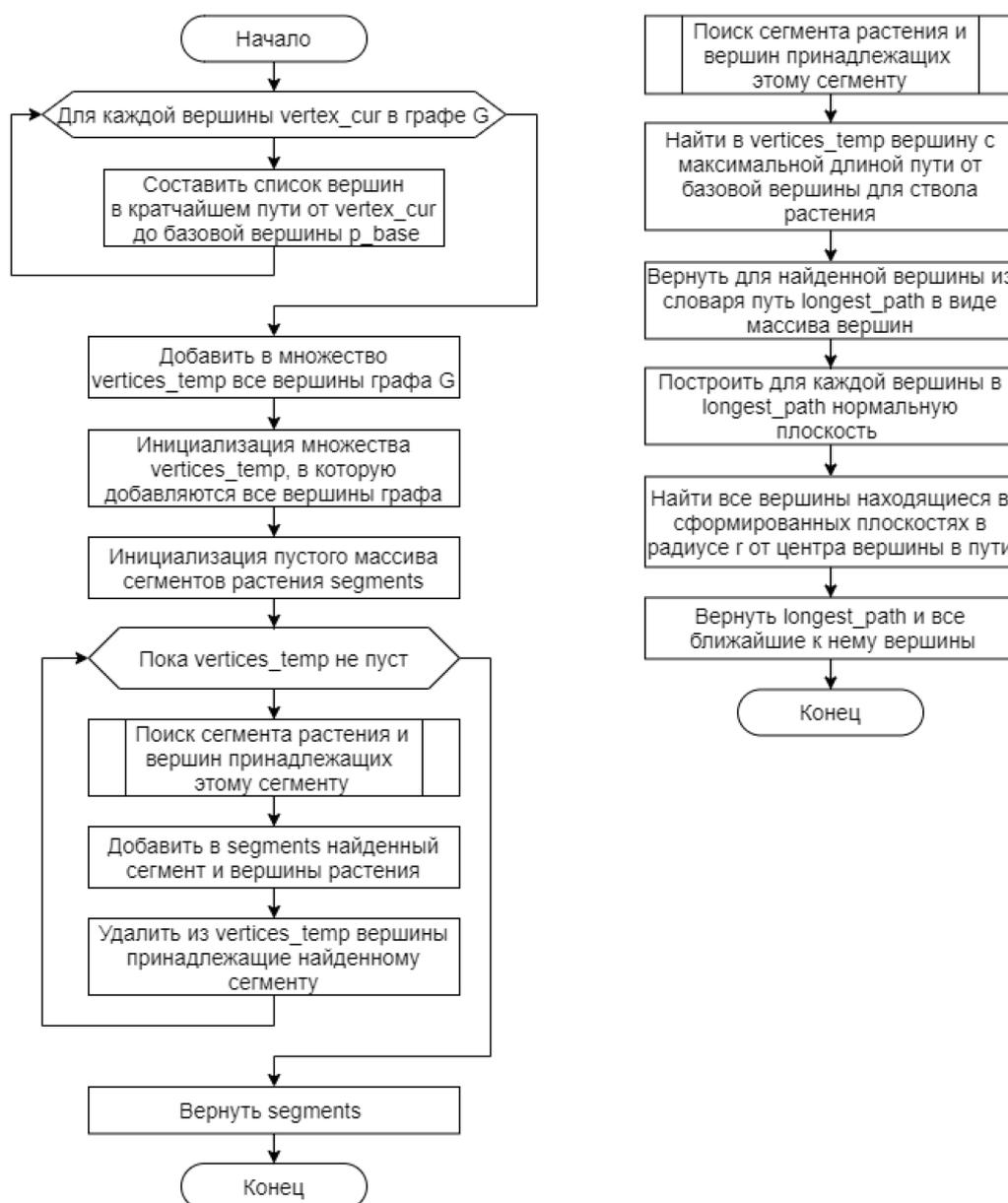


Рис. 1 – Сегментация графа растения на элементы

Для всех оставшихся сегментов оценивается взаимное перекрытие и если сегмент i включает в себя вершины сегмента j в соотношении выше порогового th_{vert} , то они объединяются. В конце всем оставшимся вершинам присваивается класс листьев.

Блок-схема алгоритма определения класса сегментов представлена на рис. 2.

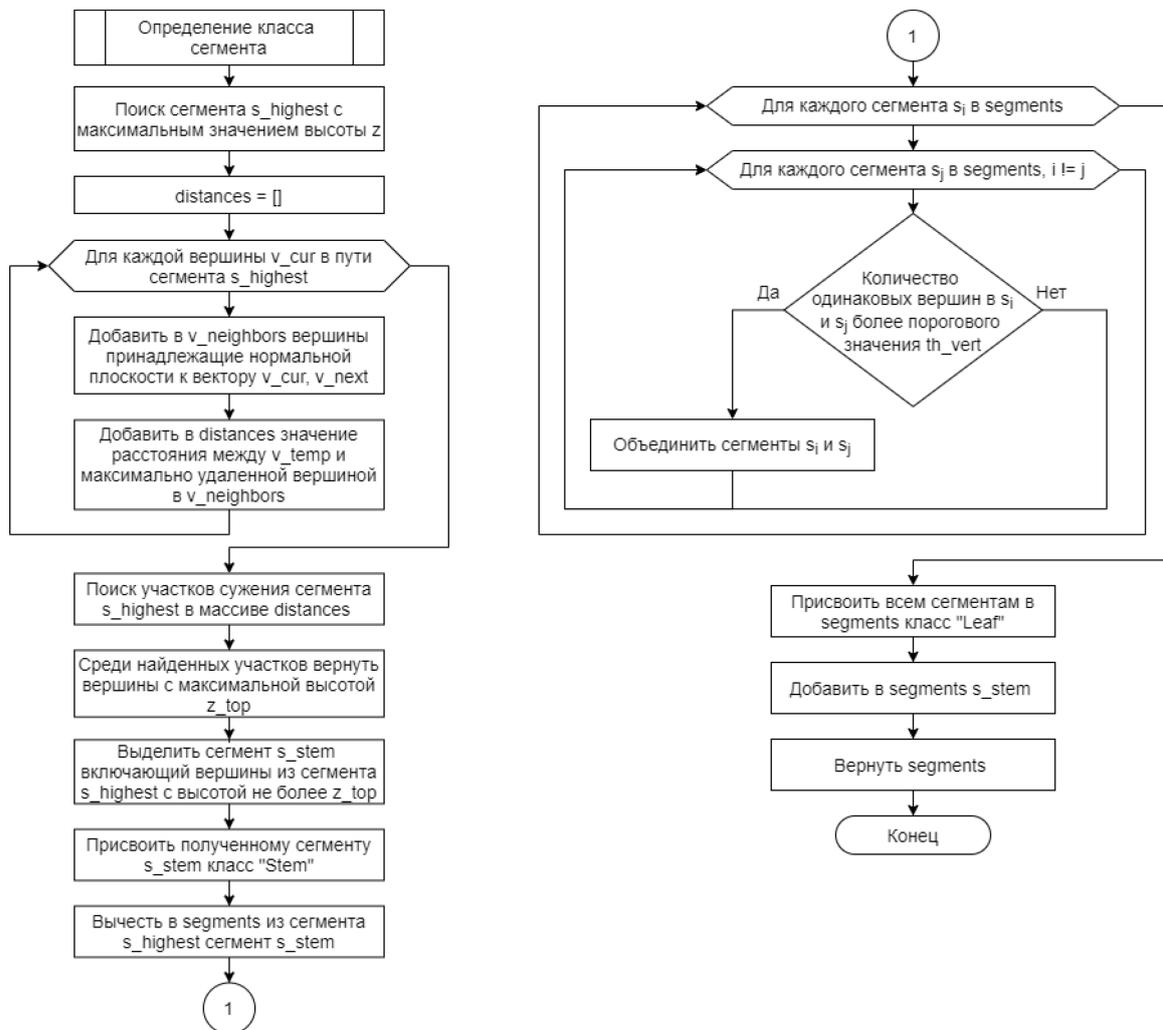


Рис. 2 – Определение класса сегментов

Верификация метода сегментации производилась на 792 3D моделях растений 6 видов: Ficus Lyrata, Anubias Congensis, Erysimum Asperum, Secale Cereale, Pisum Sativum, Campanula Persicifolia. Рассчитаны значения метрик MAE (Mean Absolute Error), MSE (Mean Square Error), MAPE (Mean Absolute Percentage Error) и MPE (Mean Percentage Error) для каждого вида растений и в среднем, результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Метрики качества сегментации растений по видам и в среднем

Растение	MAE	MSE	MAPE	MPE
Ficus Lyrata	0.785	1.785	0.077	0.0178
Anubias Congensis	0.167	0.167	0.017	0.017
Erysimum Asperum	0.333	0.333	0.055	0.055
Secale Cereale	0.417	0.583	0.089	0.035
Pisum Sativum	0	0	0	0
Campanula Persicifolia	0	0	0	0
Среднее	0.298	0.514	0.041	0.003

Пример сегментации образца растения *Anubias Congensis* приведен на рис. 3.

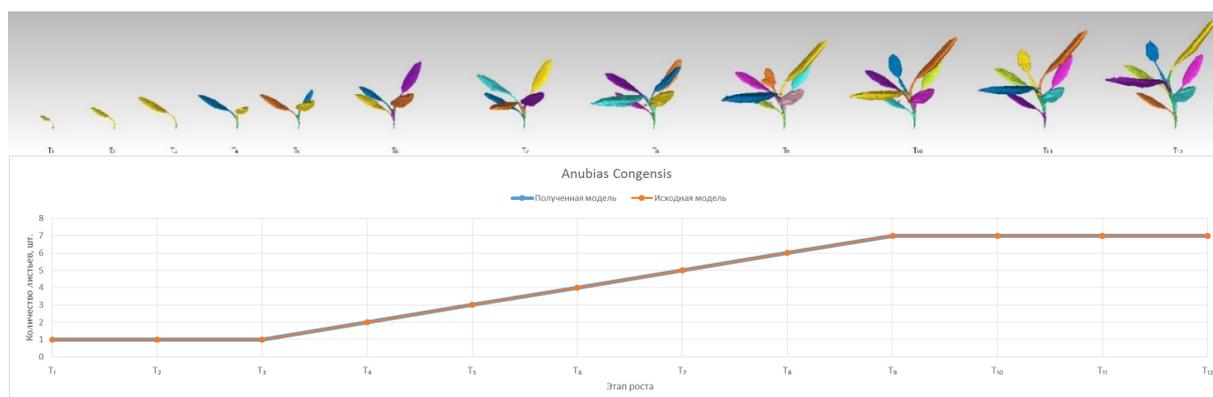


Рис. 3 – Пример сегментации образца растения *Anubias Congensis*

Прикладная значимость разработанного метода заключается в возможности его использования в математическом обеспечении автоматизированных систем фенотипирования.

Список литературы

1. *Афонников Д.А.* Методы высокопроизводительного фенотипирования растений для массовых селекционно-генетических экспериментов / Д.А. Афонников, М.А. Генаев, А.В. Дорошков, Е.Г. Комышев, Т.А. Пшеничникова // *Генетика*, 2016. – Т. 52. – №. 7. – С. 788-803.
2. *Chéné Y.* On the use of depth camera for 3D phenotyping of entire plants / Y. Chéné, D. Rousseau, P. Lucidarme, J. Bertheloot, V. Caffier, P. Morel, F. Chapeau-Blondeau // *Computers and Electronics in Agriculture*, 2012. – Vol. 82. – P. 122-127.
3. *Chaudhury A.* Machine vision system for 3D plant phenotyping / A. Chaudhury, C. Ward, A. Talasaz, A.G. Ivanov, M. Brophy, B. Grodzinski, J.L. Barron // *IEEE/ACM transactions on computational biology and bioinformatics*, 2018. – Vol. 16. – №. 6. – P. 2009-2022.
4. *Berezhnoy V.A.* Approaches for Automated Monitoring and Evaluation of In Vitro Plant's Morphometric Parameters / V.A. Berezhnoy, O.A. Ivashchuk, Y.N. Maslakov, V.I. Fedorov, V.M. Yacenko // *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, 2020. – Vol. 17. – №. 9-10. – P. 4725-4732.

05.13.06

И.С. Горячев

Керченский государственный морской технологический университет,
кафедра Электрооборудования судов и автоматизации производства,
Керчь. ivan_goryachev@list.ru

СИНТЕЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СУДНА В СЛОЖНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ УСЛОВИЯХ

Динамические объекты в процессе взаимодействия на ограниченном пространстве формируют открытые сложные динамические морские системы. Информация о текущей ситуации является неполной и неточной, активность взаимодействующих объектов в общем случае может быть сложно предсказуема. Нормативные регуляторы активности, накладывающие ограничения на возможные действия по управлению, являются противоречивыми и недостаточно определенными, в статье приведены основные математические модели квитиования сигнала и их адаптация.

Ключевые слова: Судно, сигнал, информационная модель, координаты.

Актуальность исследования. В некоторых системах распознавания, ориентированных на применение в условиях стабильности описаний морского объекта (судна) и эталона, возможно описание эталона достаточно простым соотношением. Рассматривая структуру объекта как пространственную последовательность квитиования сигналов формируемых основным движением G , которое определяется последовательностью операций h_i формирования структуры объекта [1-3]: $G_i = G_i(h_1, h_2, \dots, h_i)$, следовательно, для квитиования сигнала W : $W = h_1 U h_2 U h_3 U \dots U h_n$. Определено что синтез морского объекта с пространственной нечеткое периодичностью можно определить как последовательность операций на судах.

Целью исследования является синтез информационных потоков с пространственной нечеткой периодичностью для управления судном в сложных ситуациях.

Методы исследования – теория распознавания образов, теория инвариантности, алгебра логики, аналитическая геометрия и элементы теории групп. Для математического моделирования применялось прикладное программное обеспечение.

Результаты исследований

Данное описание сохранит свойство периодичности квитиования. Плоское изображение морского объекта, содержит форму $W(x, y)$ и пространства $f(x, y)$, поэтому с учетом структуры морского объекта квитиование описывается переключательной функцией $I(x, y)$:

$$I(x, y) = \begin{cases} W(x, y) & IF \quad x \notin h \\ f(x, y) & IF \quad x \in h \end{cases} \quad (1)$$

Основываясь на данном подходе, обычно для простого переплетения используется упрощенная модель как аппроксимация поверхности отклика первой гармоникой двумерного ряда Фурье. Это позволяет сохранить предположение аддитивности, считая что амплитуда отклика уточных A_x и основных A_y описываются синусными координатными функциями с пространственными частотами ω_x и ω_y .

$$U(x, y) = A_0 - A_x \cos(\omega_x x) - A_y \cos(\omega_y y) \quad (2)$$

Однако реально структура морского объекта, существенно искажается из-за не идеальности и неравномерности объекта.

Импульсная переходная функция, позволяет объединить в используемой модели свойства, необходимые для расчета датчика и тракта обработки сигнала. Так, используя среднюю по времени изображения F :

$$U(x, y, t) = \lim_{T \rightarrow \infty} \left\{ \frac{1}{2} \int_{-T}^T F(x, y) L(t) dt \right\}, \quad (3)$$

где $L(t)$ - временная весовая функция. Вводя пространственную дельта функцию:

$$\delta(x, y) = \begin{cases} \infty & \text{если } x = y = 0 \\ 0 & \text{если } x \neq y \neq 0 \end{cases},$$

получаем для мгновенного значения пространственной импульсной весовой функции

$$F(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F(\alpha, \beta) \delta(x - \alpha, y - \beta) d\alpha d\beta \quad (4)$$

Естественно, при таком подходе легко сопрягается модель (6), использованная при описании объекта с требованием описания взаимодействия объекта с датчиком, имеющим весовую функцию H . Реакция датчика определяется сверткой:

$$F(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F(x_1, y_1) H(x_1 - x, y_1 - y) dx_1 dy_1 \quad (5)$$

Как следует из (5), возможна постановка задачи создания оптимального датчика, обеспечивающего наилучшее выделение сигнала. Данная задача сводится к определению оптимального распределения энергии H^* в сканирующем элементе [3-5]. Переходя к спектральному представлению, получаем описание с периодическим продолжением структуры по кватированию. Элементы кватирования представлены в виде билинейного ряда с векторами координатными ϕ , и оператором отображения S_H :

$$\begin{aligned} \vec{\phi}_{mx}^T &= (\cos mx, \sin mx); & S_H &= \begin{pmatrix} \mathbf{a}M_{01} \mathbf{h} & \mathbf{a}M_{02} \mathbf{h} \\ \mathbf{a}M_{03} \mathbf{h} & \mathbf{a}M_{04} \mathbf{h} \end{pmatrix} \\ \vec{\phi}_{ny}^T &= (\cos ny, \sin ny); & & \end{aligned} \quad (6)$$

$$U(x, y) = \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \lambda_{m,n} \vec{\phi}_{ny}^T S_H \vec{\phi}_{mx}$$

Билинейный вектор $\mathbf{a}=(a, b, c, d)$ определен как коэффициент ряда Фурье и модель морского объекта который описывается по контролируемому параметру. Билинейный вектор $\mathbf{h}=(h^a_{m,n}, h^b_{m,n}, h^c_{m,n}, h^d_{m,n})$ определяется соотношениями:

$$\begin{aligned} h^a_{mn} &= \int_{\Omega} H(x, y) \cos(mx) \cos(ny) dx dy, & h^b_{mn} &= \int_{\Omega} H(x, y) \sin(mx) \cos(ny) dx dy, \\ h^c_{mn} &= \int_{\Omega} H(x, y) \cos(mx) \sin(ny) dx dy, & h^d_{mn} &= \int_{\Omega} H(x, y) \sin(mx) \sin(ny) dx dy. \end{aligned} \quad (7)$$

В этом выражении Ω - область существования реакции и матрицы M_{0i} имеют вид:

$$\begin{aligned} M_{01} &= \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}; & M_{02} &= \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}; \\ M_{03} &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}; & M_{04} &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \end{aligned} \quad (8)$$

Учитывая характерные ограничения, связанные с реализуемостью переходной функции сканирующего элемента, из-за особенностей конструкции оптического датчика ограничимся рассмотрением щелевой диафрагмы с Гауссовым распределением, используемой в устройствах определения плотности объекта [4-7]. Компоненты спектральной матрицы разлагающего элемента:

$$\begin{aligned}
 A_{mn} &= 4a_{mn} \exp(-m^2 / 4a^2) \sin(L/2) / nd\pi^2, \\
 B_{mn} &= 4b_{mn} \exp(-m^2 / 4a^2) \sin(L/2) / nd\pi^2, \\
 C_{mn} &= 4c_{mn} \exp(-m^2 / 4a^2) \sin(L/2) / nd\pi^2, \\
 D_{mn} &= 4d_{mn} \exp(-m^2 / 4a^2) \sin(L/2) / nd\pi^2.
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

Как известно, сигнал сканирования описывается соотношением:

$$i(x, y) = \varepsilon \iint \rho(x', y') E(x - x', y - y') dx' dy' \tag{10}$$

В этом выражении $\rho(x, y)$ - импульсная переходная функция сканирующего элемента, а $E(x, y)$ - распределение освещенности объекта. Как видно из (10), максимальная амплитуда сигнала сканирования обеспечивается при совпадении эффективной ширины сканирующей диафрагмы. Для получения системы, свободной от ошибок связанных с неравномерностью переплетений, использован принцип компенсации информационных потоков.

Однако существенного упрощения получить не удастся, так как возмущения по структуре сохраняются:

$$\begin{aligned}
 a'_{m,n} &= \frac{1}{|B|L_x L_y} \int_{-L_x}^{L_x} \int_{-L_y}^{L_y} f(x_1, y_1) \cos(n_{11}x_1) \cos(-m_{21}x_1 + m_{22}y_1) dx_1 dy_1; \\
 b'_{m,n} &= \frac{1}{|B|L_x L_y} \int_{-L_x}^{L_x} \int_{-L_y}^{L_y} f(x_1, y_1) \sin(n_{11}x_1) \cos(-m_{21}x_1 + m_{22}y_1) dx_1 dy_1; \\
 c'_{m,n} &= \frac{1}{|B|L_x L_y} \int_{-L_x}^{L_x} \int_{-L_y}^{L_y} f(x_1, y_1) \cos(n_{11}x_1) \sin(-m_{21}x_1 + m_{22}y_1) dx_1 dy_1; \\
 d'_{m,n} &= \frac{1}{|B|L_x L_y} \int_{-L_x}^{L_x} \int_{-L_y}^{L_y} f(x_1, y_1) \sin(n_{11}x_1) \sin(-m_{21}x_1 + m_{22}y_1) dx_1 dy_1.
 \end{aligned}$$

Выводы. Следовательно, при идентификации качества квитиования сигнала объекта с пространственной нечеткой периодичность Фурье это представление модели объекта описывающей прием и передачу. С точки зрения определения состояния структуры объекта, эти подсистемы равноценны, и можно просто рассматривать только одну компоненту, что резко упрощает задачу описания объекта.

Список литературы

1. Фишберн П. Теория полезности для принятия решений. М.: Наука, 1978. –352с.
2. Льюинг Л. Идентификация систем. Теория для пользователей. М.: Наука, 1991. –432с.
3. Доровской В.А. Идентификация профессиональных знаний операторов полиэргатических систем: дис. док. техн. наук: 05.13.06. – Херсонский национальный университет, Херсон, 2004 – 380 с.
4. Нырко А.П., Соколов С.С., Черный С.Г., Бориев З.В. К вопросу обеспечения безопасности передачи данных в информационных системах на транспорте с точки зрения эталонной модели взаимодействия открытых систем // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2016. № 2. С. 28-34.
5. Нырко А.П., Жиленков А.А., Черный С.Г. Модели мониторинга и управления процессами стабилизации обменных колебаний мощности в автономных электроэнергетических системах // Проблемы управления. 2016. № 4. С. 22-28.
6. Ivanovskii N., Chernyi S.G., Zhilenkov A., Emelianov V. Development of Algorithms for Identifying Parameters of the Maritime Vessel Motion Model in Operating Conditions with Elements of Intellectual Analysis // J. Mar. Sci. Eng. 2021, 9, 418. <https://doi.org/10.3390/jmse9040418>
7. Chernyi S.G., Erofeev P., Novak B., Emelianov V. Investigation of the Mechanical and Electromechanical Starting Characteristics of an Asynchronous Electric Drive of a Two-Piston Marine Compressor // J. Mar. Sci. Eng. 2021, 9, 207. <https://doi.org/10.3390/jmse9020207>

05.13.06

А.С. Лапаева, Д.Ю. Соколов, А.В. Савчиц канд. техн. наук

Волжский политехнический институт – филиал
Волгоградского технического университета,
автомеханический факультет,
кафедра автоматике, электроники и вычислительной техники,
Волжский, dron.123.ru@yandex.ru

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ДОЗИРОВАНИЯ РЕАГЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ НА ВОДОЗАБОРНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ

Данная статья посвящена разработке алгоритмов дозирования реагентов в процессе очистки природной воды, поступающей в городские сети. Разработанные алгоритмы обеспечивают повышения качества очистки воды и позволяют снизить расход дозируемых реагентов. Для реализации алгоритмов выбрана программа SimInTech.

Ключевые слова: дозирование реагентов, очистные сооружения, алгоритм дозирования, информационные технологии.

Вода является неотъемлемой частью жизни каждого человека. Подача в населенные пункты чистой и обеззараженной воды имеет большое гигиеническое значение, потому что в природной воде содержатся бактерии и микроорганизмы, негативно сказывающиеся на здоровье человека. Так же, обеспечение достаточным количеством очищенной воды, поднимает общий уровень благоустройства этих населенных пунктов.

Очищение воды и подача воды в городскую сеть из природных источников осуществляется с помощью водозаборных очистных сооружений. Они должны обеспечивать прием и подачу воды потребителю при минимальных и максимальных уровнях воды в источнике водоснабжения, а также удовлетворять санитарным нормам.

Производственные мощности промышленных предприятий стремительно возрастают с каждым днем, а также растет городское население, укрепляются источники загрязнения компонентов природной среды, в том числе и гидросферы и расширяется перечень загрязняющих веществ, поступающих в нее ежедневно.

Необходимость проведения исследования на выбранную тему обусловлена тем, что действующие очистные сооружения не обеспечивают должный уровень качества очистки.

Рассмотрим систему автоматического дозирования реагентов, используемых в водозаборных очистных сооружениях.

Для реагентной обработки воды применяются кальцинированная сода, гипохлорит натрия, флокулянты и коагулянты.

Добавление в воду вышеперечисленных реагентов приводит к объединению мелких взвешенных частиц в более крупные, за счет изменения электрохимического потенциала. С помощью предварительной коагуляции происходит дестабилизация частиц, после этого в воду вводятся флокулянты. После химической реакции собранные частицы поднимаются вверх и на поверхности воды образуются белые хлопья[1].

Кальцинированная сода применяется в целях корректировки рН воды, подаваемой в водопроводную сеть для снижения ее коррозионной способности.

Обеззараживание питьевой воды осуществляется 0.7-0.8% раствором гипохлорита натрия, получаемого методом электролиза раствора поваренной соли.

Дозирование реагентов зависит от следующих параметров исходной воды:

- рН;
- цветность;
- мутность;
- концентрация хлора.

Доза коагулянта зависит от цветности воды. При цветности менее 100 градусов используется сульфат алюминия, при цветности более 100 градусов полихлорид алюминия[2].

Формула (1) для расчета дозы:

$$D_k = 4 * \sqrt{C} \tag{1}$$

где, D_k -доза коагулянта, мг;

C -Цветность воды, град.

Реализация алгоритма дозирования коагулянта в программной среде SimInTech представлена на рисунке 1.

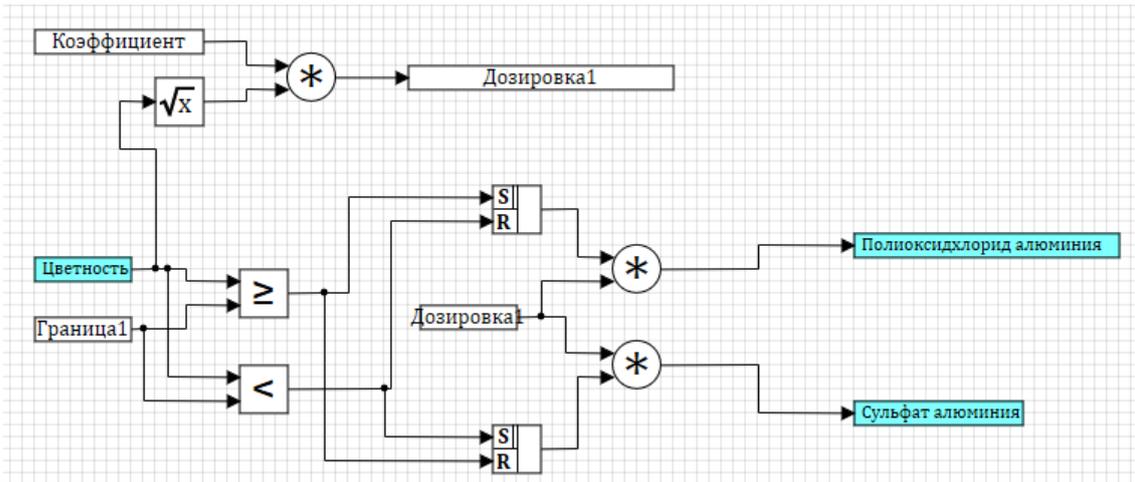


Рис. 1 – Реализация алгоритма дозирования коагулянта в SimInTech

В качестве флокулянта при применении коагулянта сульфата алюминия используется катионный флокулянт, а при использовании коагулянта полиоксихлорид алюминия применяется нейтральный флокулянт[3].

Доза флокулянта представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Зависимость дозы флокулянта от мутности воды

Мутность исходной воды, мг/л	Доза флокулянта мг/л
Менее 10	1-1.5
От 10 до 100	0.3-0.6
От 100 до 500	0.2-0.5
Более 500	0.1-0.2

Реализация алгоритма дозирования флокулянта в программной среде SimInTech представлена на рисунке 2.

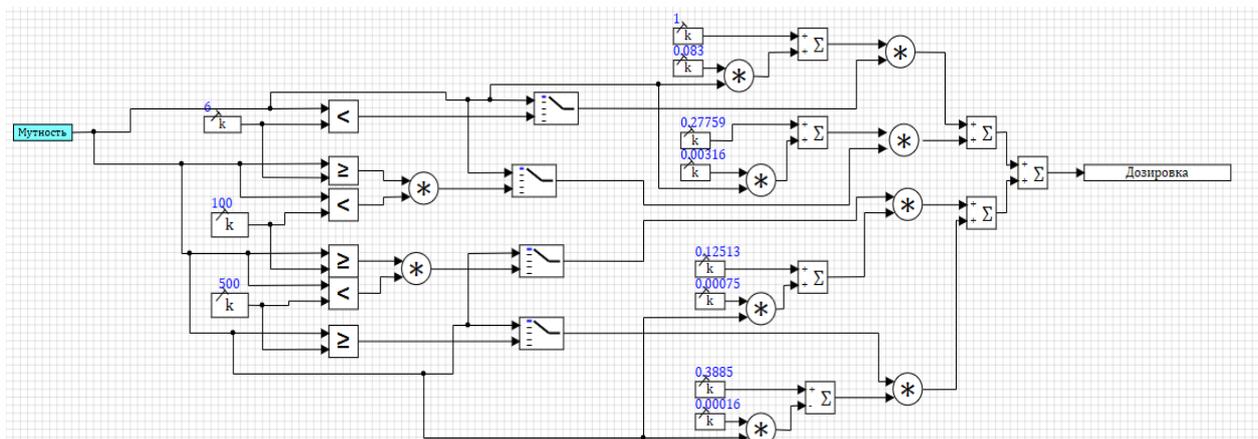


Рис. 2 – Реализация алгоритма дозирования флокулянта в SimInTech

Доза кальцинированной соды представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Зависимость дозы кальцинированной соды от рН воды

рН	Доза кальцинированной соды мг/л
Менее 6	3-4
От 6 до 6.2	2.5-3
От 6.2 до 6.4	2-2.5
Более 6.4	1.5-2

Реализация алгоритма дозирования кальцинированной соды в программной среде SimInTech представлена на рисунке 3.

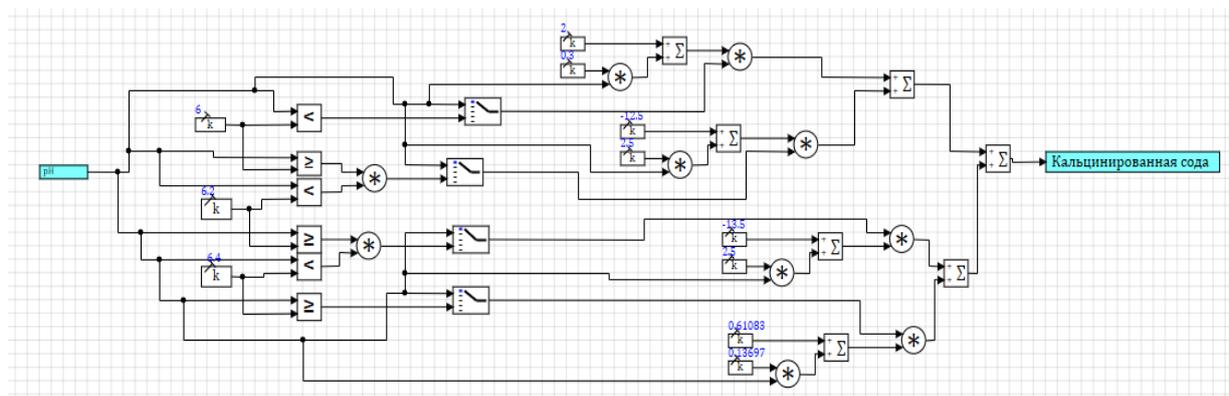


Рис. 3 – Реализация алгоритма дозирования кальцинированной соды в SimInTech

Реализация алгоритма дозирования флокулянта в программной среде SimInTech представлена на рисунке 3.

Дозирование гипохлорита натрия зависит от количества хлора в исходной воде и рассчитывается по формуле (2):

$$D_x = 1.2 - X \quad (2)$$

где, D_x -доза гипохлорита натрия мг;

X - хлор в исходной воде, мг/л.

Для проверки правильности работы алгоритмов, в качестве имитации входных сигналов с датчиков применяется сигнал «Пила».

Получившиеся результаты представлены на рисунке 3.

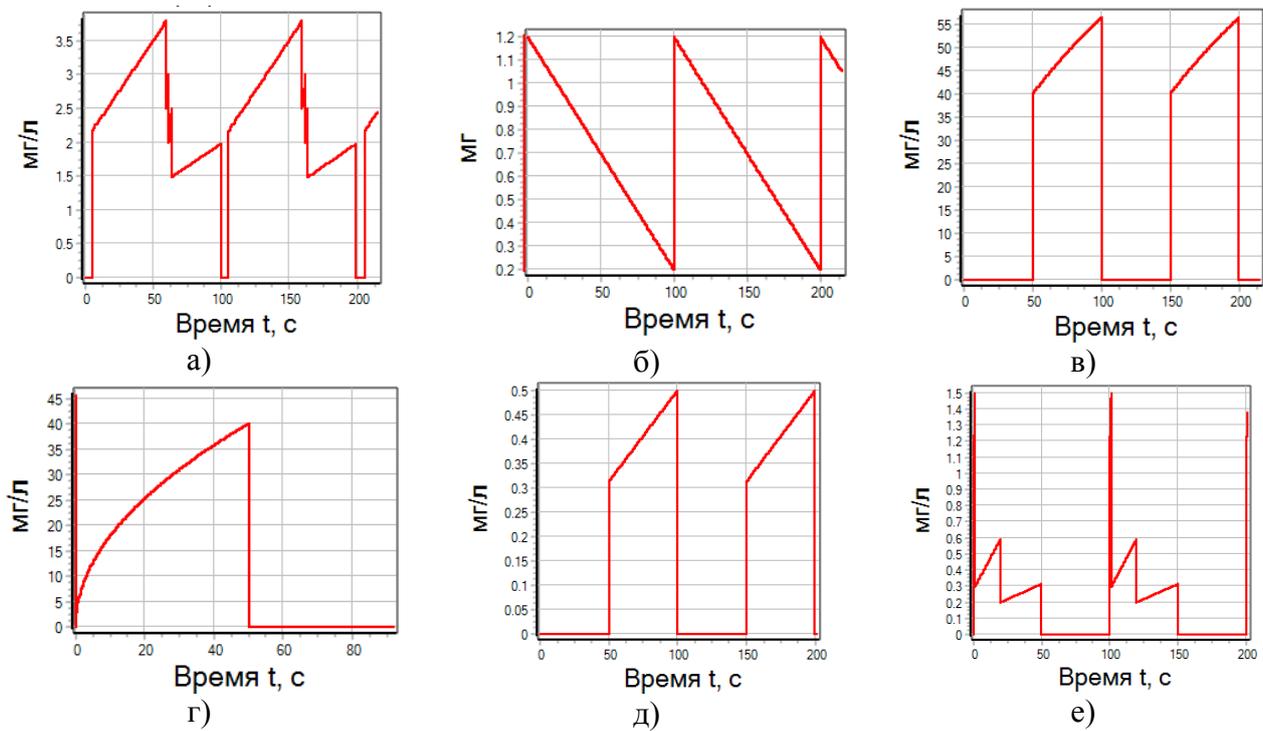


Рис. 4 – График дозирования реагентов:

- а) кальцинированная сода; б) гипохлорит натрия; в) полиоксидхлорид алюминия;
- г) сульфат алюминия; д) катионный флокулянт; е) нейтральный флокулянт

Выводы: По полученным графикам можно наблюдать, что выходные сигналы, реализованных алгоритмов дозирования реагентов для очистки воды, соответствуют формульным и табличным расчётам дозировок. Следовательно, данные алгоритмы можно применять для моделирования процесса дозирования реагентов на водозаборных очистных сооружениях.

Список литературы

1. *Алексеев Л.С.* Контроль качества воды / Л.С. Алексеев - М.: ИН ФРА-М, 2012. - 159 с
2. Патент РФ № 2012104763/05, 10.02.2012. Журба М.Г., Говоров О.Б., Говорова Ж.М., Черников Е.Г., Магомадов З.Р. Способ определения рабочих доз коагулянта в процессах очистки природных вод// Патент России № 2489360. 1998. Бюл. № 22.
3. *Имашов А.Н.* Система автоматического дозирования флокулянта // Омский научный вестник. – – 2003. – С. 75-78.

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И
ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ
И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ (05.13.11)**

05.13.11

М.П. Овчинцев канд. физ.-мат. наук

ФГБУ ВО НИУ «Московский государственный строительный университет»,
Институт фундаментального образования,
кафедра прикладной математики,
6714543@rambler.ru

**ПРЕДСТАВЛЕНИЕ НЕКОТОРЫХ АНАЛИТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ
ЧЕРЕЗ ТЭТА ФУНКЦИЮ ЯКОБИ**

В представленной работе несколько аналитических функций определяются через тэта функцию Якоби. Статья состоит из двух частей. В первой части приводятся определения тэта функции Якоби, функции Робинсона, комплексной функции Грины и аналитической функции, введенной в работах В.В. Восканяна, а также их свойства. Во второй части эти функции выражаются через тэта функцию Якоби. Здесь же доказываются тождества, которым удовлетворяют указанные функции. В конце работы комплексная функция Грина, заданная в круговом кольце выражается через тэта функцию Якоби и через функцию Робинсона.

Ключевые слова: *тэта функция Якоби, функция Грина, комплексная функция Грина, функция Робинсона, экстремальная функция.*

1. Введение.

Пусть имеется круговое кольцо $K = \{z: r < |z| < 1\}$, где r – заданное число ($0 < r < 1$). Обозначим через $\gamma_0 = \{z: |z| = 1\}$ – внешний, а $\gamma_1 = \{z: |z| = r\}$ – внутренний контуры. Напомним определение хорошо известной в теории эллиптических функций тэта функции Якоби и приведем некоторые ее свойства, которые нам в дальнейшем потребуются (см. [1]-[2]). Тэта функция Якоби определяется следующим образом :

$$\theta(z) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} r^{n^2} z^n, \quad (1)$$

где $0 < r < 1$. Эта функция аналитична в области $0 < |z| < \infty$. Функция $\theta(z)$ обладает следующими легко проверяемыми свойствами

$$\theta(z) = \theta\left(\frac{1}{z}\right), \quad (2)$$

$$\theta(\bar{z}) = \overline{\theta(z)}, \quad (3)$$

$$\theta(z) = rz \theta(r^2 z). \quad (4)$$

Точка $-r$ является нулем функции $\theta(z)$:

$$\theta(-r) = 0. \quad (5)$$

(Вообще, нулями тэта функции служат точки :

$$-\frac{1}{r}, -\frac{1}{r^3}, \dots, -\frac{1}{r^{2v-1}}, \dots; -r, -r^3, \dots, -r^{2v-1}, \dots).$$

В области $0 < |z| < \infty$ функция $\theta(z)$ разлагается в бесконечное произведение :

$$\theta(z) = \prod_{v=1}^{\infty} (1 - r^{2v}) (1 + r^{2v-1} z) (1 + r^{2v-1} z^{-1}). \quad (6)$$

Аналитическая в замкнутом круговом кольце \bar{K} функция Робинсона $H(z; a)$ удовлетворяет следующим условиям:

$$H(a; a) = 0, \quad H(z, a) \neq 0, z \neq a, \tag{7}$$

$$|H(z; a)|_{\gamma_0} = 1, \tag{8}$$

$$|H(z; a)|_{\gamma_1} = |a|. \tag{9}$$

Если к ним добавить еще одно, а именно нормировочное условие

$$H(1; a) = 1, \tag{10}$$

то этими четырьмя условиями $H(z, a)$ определяется единственным образом. Функция $H(z; a)$ однолистно и конформно отображает кольцо K на единичный круг с разрезом по некоторой дуге окружности с центром в нуле и радиусом, равным $|a|$. Функция $H(z; a)$ введена Р. Робинсоном в работе [3] при исследовании некоторых экстремальных задач в кольце. Ее называют функцией Робинсона (см. также [4]). В случае, когда $a < 0$

$$H(z; a) = z \frac{\theta\left(\frac{r}{|a|} z\right)}{\theta\left(\frac{|a|}{r} z\right)}. \tag{11}$$

Эта формула устанавливается исходя из требований (7) – (10) и свойств $\theta(z)$ (см. (2) – (5)). В работе [5] показано, что если a – любая точка, принадлежащая кольцу K , то

$$H(z; a) = \frac{H(-e^{-i \arg a} z; -|a|)}{H(-e^{-i \arg a}; -|a|)}. \tag{12}$$

Впрочем, справедливость (12) можно проверить непосредственно: для этого нужно убедиться в справедливости условий (7) - (10) (отметим, что

$$|H(-e^{-i \arg a}; -|a|)| = 1).$$

Функцию Грина $g(z, a)$ в кольце K ($a \in K$) согласно работе [3] можно представить в виде

$$g(z, a) = \ln \frac{|z|^{\log_r |a|}}{|H(z; a)|}, \tag{13}$$

где аналитическая в \bar{K} функция $H(z, a)$ – функция Робинсона. Обозначим через

$$P(z, a) = g(z, a) + i \tilde{g}(z, a) - \tag{14}$$

комплексную функцию Грина в круговом кольце K ; $\tilde{g}(z, a)$ – сопряженная к $g(z, a)$ (по z) функция. Комплексная функция Грина $P(z, a)$ является многозначной аналитической функцией. Функция $P'(z, a)$ – однозначная мероморфная функция, имеющая единственный полюс первого порядка в точке a . Эта функция аналитична на границе области K . Напомним еще, что в работах В.В. Восканяна [6] – [7] при изучении экстремальных задач для аналитических функций в кольце использовалась функция $A_\alpha(z)$, которая была определена как

$$A_\alpha(z) = (z - \alpha) \prod_{v=1}^{\infty} \left(1 - r^{2v} \frac{z}{\alpha}\right) \left(1 - r^{2v} \frac{\alpha}{z}\right), \tag{15}$$

где $0 < r < 1$, а α – некоторое комплексное число ($\alpha \neq 0$). Ниже мы покажем, что эта функция выражается через эту функцию Якоби. То есть, при решении некоторых экстремальных задач в круговом кольце применяются эллиптические функции. В частности, при решении задач оптимального восстановления некоторых классов аналитических функций, заданных в круговом кольце по их значениям в конечном числе точек (см. [8] – [9]).

2. Выражение функций $H(z, a)$, $A_\alpha(z)$, $P(z, a)$ через эту функцию Якоби

Теорема 1. Функцию $H(z; a)$, где a – любое комплексное число, принадлежащее кольцу K можно представить в виде

$$H(z; a) = z \frac{\theta\left(-\frac{\bar{a}}{r}\right) \theta\left(-\frac{r}{a} z\right)}{\theta\left(-\frac{r}{a}\right) \theta\left(-\frac{\bar{a}}{r} z\right)}, \tag{16}$$

а также в виде

$$H(z; a) = \frac{\theta\left(-\frac{\bar{a}}{r}\right)}{\theta\left(-\frac{r}{a}\right)} \frac{z-a}{1-\bar{a}z} \prod_{v=1}^{\infty} \frac{\left(1-r^{2v} \frac{z}{a}\right) \left(1-r^{2v} \frac{a}{z}\right)}{\left(1-r^{2v} \bar{a}z\right) \left(1-r^{2v} \frac{1}{\bar{a}z}\right)}; \quad (17)$$

причем

$$\left| \frac{\theta\left(-\frac{\bar{a}}{r}\right)}{\theta\left(-\frac{r}{a}\right)} \right| = 1.$$

Доказательство. Действительно, применяя формулы (11), (12) получаем

$$\begin{aligned} H(z; a) &= -e^{-iarg a} z \frac{\theta\left(-\frac{r}{|a|} e^{-iarg a} z\right)}{\theta\left(-\frac{|a|}{r} e^{-iarg a} z\right)} : \frac{\left(-e^{-iarg a} \theta\left(-\frac{r}{|a|} e^{-iarg a}\right)\right)}{\theta\left(-\frac{|a|}{r} e^{-iarg a}\right)} = \\ &= z \frac{\theta\left(-\frac{\bar{a}}{r}\right)}{\theta\left(-\frac{r}{a}\right)} \frac{\theta\left(-\frac{r}{a} z\right)}{\theta\left(-\frac{\bar{a}}{r} z\right)}. \end{aligned}$$

Убедимся в справедливости формулы (17). В самом деле, применяя (6) к (16), получаем

$$\begin{aligned} H(z; a) &= \frac{\theta\left(-\frac{\bar{a}}{r}\right)}{\theta\left(-\frac{r}{a}\right)} z \prod_{v=1}^{\infty} \frac{\left(1-r^{2v} \frac{z}{a}\right) \left(1-r^{2v-2} \frac{a}{z}\right)}{\left(1-r^{2v-2} \bar{a}z\right) \left(1-r^{2v} \frac{1}{\bar{a}z}\right)} = \\ &= \frac{\theta\left(-\frac{\bar{a}}{r}\right)}{\theta\left(-\frac{r}{a}\right)} z \frac{1-\frac{a}{z}}{1-\bar{a}z} \prod_{v=1}^{\infty} \frac{\left(1-r^{2v} \frac{z}{a}\right) \left(1-r^{2v} \frac{a}{z}\right)}{\left(1-r^{2v} \bar{a}z\right) \left(1-r^{2v} \frac{1}{\bar{a}z}\right)} = \\ &= \frac{\theta\left(-\frac{\bar{a}}{r}\right)}{\theta\left(-\frac{r}{a}\right)} \frac{z-a}{1-\bar{a}z} \prod_{v=1}^{\infty} \frac{\left(1-r^{2v} \frac{z}{a}\right) \left(1-r^{2v} \frac{a}{z}\right)}{\left(1-r^{2v} \bar{a}z\right) \left(1-r^{2v} \frac{1}{\bar{a}z}\right)}. \end{aligned}$$

Нетрудно убедиться в том, что

$$\left| \frac{\theta\left(-\frac{\bar{a}}{r}\right)}{\theta\left(-\frac{r}{a}\right)} \right| = 1.$$

Действительно (см. (2), (3))

$$\left| \frac{\theta\left(-\frac{\bar{a}}{r}\right)}{\theta\left(-\frac{r}{a}\right)} \right| = \left| \frac{\theta\left(-\frac{a}{r}\right)}{\theta\left(-\frac{a}{r}\right)} \right| = 1.$$

Теорема 2. Функции $A_{\alpha}(z)$ и $\theta(z)$ связаны следующим образом :

$$A_{\alpha}(z) = \frac{z \theta\left(-\frac{r}{\alpha} z\right)}{\prod_{v=1}^{\infty} (1-r^{2v})}. \quad (18)$$

$$\theta(z) = \frac{-r \prod_{v=1}^{\infty} (1-r^{2v})}{\alpha z} A_{\alpha}\left(-\frac{\alpha}{r} z\right). \quad (19)$$

Доказательство. Рассмотрим функцию $\theta\left(-\frac{r}{\alpha} z\right)$. Применяя к ней разложение (6) тэта функции Якоби в бесконечное произведение, получим

$$\begin{aligned} \theta\left(-\frac{r}{\alpha} z\right) &= \prod_{v=1}^{\infty} (1-r^{2v}) \left(1-r^{2v} \frac{z}{\alpha}\right) \left(1-r^{2v-2} \frac{\alpha}{z}\right) = \\ &= \prod_{v=1}^{\infty} (1-r^{2v}) \left(1-\frac{\alpha}{z}\right) \prod_{v=1}^{\infty} \left(1-r^{2v} \frac{z}{\alpha}\right) \left(1-r^{2v} \frac{\alpha}{z}\right) = \end{aligned}$$

$$= \frac{1}{z} \prod_{v=1}^{\infty} (1 - r^{2v}) (z - \alpha) \prod_{v=1}^{\infty} \left(1 - r^{2v} \frac{z}{\alpha}\right) \left(1 - r^{2v} \frac{\alpha}{z}\right) = \frac{1}{z} A_{\alpha}(z) \prod_{v=1}^{\infty} (1 - r^{2v}).$$

Откуда и вытекает (18). Аналогично проверяется (19). В самом деле рассмотрим функцию $A_{\alpha}\left(-\frac{\alpha}{r}z\right)$. Имеем (см. (15))

$$\begin{aligned} A_{\alpha}\left(-\frac{\alpha}{r}z\right) &= \left(-\frac{\alpha}{r}z - \alpha\right) \prod_{v=1}^{\infty} \left(1 + r^{2v} \frac{z}{r}\right) \left(1 + r^{2v} \frac{r}{z}\right) = \\ &= -\frac{\alpha(z+r)}{r} \prod_{v=1}^{\infty} (1 + r^{2v-1}z) \left(1 + r^{2v+1} \frac{1}{z}\right) = \\ &= -\frac{\alpha(z+r)}{r} \frac{z}{z+r} \prod_{v=1}^{\infty} (1 + r^{2v-1}z) \left(1 + r^{2v-1} \frac{1}{z}\right) = -\frac{\alpha z}{r \prod_{v=1}^{\infty} (1 - r^{2v})} \theta(z). \end{aligned}$$

Откуда и следует равенство (19).

Замечание 1. Функция $A_{\alpha}(z)$ удовлетворяет тождеству

$$A_{\alpha}\left(\frac{z}{r^2}\right) \equiv -\frac{z}{r^2 \alpha} A_{\alpha}(z).$$

В самом деле

$$\begin{aligned} A_{\alpha}\left(\frac{z}{r^2}\right) &= \left(\frac{z}{r^2} - \alpha\right) \prod_{v=1}^{\infty} \left(1 - r^{2v} \frac{z}{r^2 \alpha}\right) \left(1 - r^{2v} \frac{\alpha r^2}{z}\right) = \\ &= \left(\frac{z}{r^2} - \alpha\right) \left(1 - \frac{z}{\alpha}\right) \frac{1}{1 - \frac{r^2 \alpha}{z}} \prod_{v=1}^{\infty} \left(1 - r^{2v} \frac{z}{\alpha}\right) \left(1 - r^{2v} \frac{\alpha}{z}\right) = \\ &= -\frac{z}{r^2 \alpha} A_{\alpha}(z). \end{aligned}$$

И, наконец, заметим еще, что комплексную функцию Грина в кольце $K P(z, \alpha)$, $\alpha \in K$ можно выразить через функции $H(z; \alpha)$, $\theta(z)$, $A_{\alpha}(z)$ следующим образом:

$$P(z, \alpha) = \log_r |\alpha| \ln z - \ln H(z; \alpha), \tag{20}$$

$$P(z, \alpha) = (\log_r |\alpha| - 1) \ln z - \ln \frac{\theta\left(-\frac{\bar{\alpha}}{r}\right) \theta\left(-\frac{r}{\alpha}z\right)}{\theta\left(-\frac{r}{\alpha}\right) \theta\left(-\frac{\bar{\alpha}}{r}z\right)}, \tag{21}$$

$$P(z, \alpha) = \log_r |\alpha| \ln z - \ln \frac{A_{\frac{1}{\bar{\alpha}}}(1) A_{\alpha}(z)}{A_{\alpha}(1) A_{\frac{1}{\bar{\alpha}}}(z)}. \tag{22}$$

Формулы (20), (21) прямо вытекают из (13), (16). Убедимся в справедливости формулы (22). В самом деле, в силу формул (18), (4)

$$A_{\frac{1}{\bar{\alpha}}}(z) = \frac{z \theta(-\bar{\alpha} r z)}{\prod_{v=1}^{\infty} (1 - r^{2v})} = -\frac{1}{\bar{\alpha} \prod_{v=1}^{\infty} (1 - r^{2v})} \theta\left(-\frac{\bar{\alpha}}{r}z\right).$$

Отсюда (см. (18))

$$\begin{aligned} \frac{A_{\alpha}(z)}{A_{\frac{1}{\bar{\alpha}}}(z)} &= -\bar{\alpha} z \frac{\theta\left(-\frac{r}{\alpha}z\right)}{\theta\left(-\frac{\bar{\alpha}}{r}z\right)}, \\ \frac{A_{\alpha}(1)}{A_{\frac{1}{\bar{\alpha}}}(1)} &= -\bar{\alpha} \frac{\theta\left(-\frac{r}{\alpha}\right)}{\theta\left(-\frac{\bar{\alpha}}{r}\right)}. \end{aligned}$$

Замечание 2. Рассмотрим случай, когда $-1 < a < -r$. Тогда в силу формулы (21)

$$P'(z, \alpha) = \frac{\log_r |\alpha| - 1}{z} + \frac{r}{\alpha} \frac{\theta'\left(-\frac{r}{\alpha}z\right)}{\theta\left(-\frac{r}{\alpha}z\right)} - \frac{\alpha}{r} \frac{\theta'\left(-\frac{\bar{\alpha}}{r}z\right)}{\theta\left(-\frac{\bar{\alpha}}{r}z\right)}. \tag{23}$$

Так как (см. (1))

$$\theta'(z) = \sum_{-\infty}^{\infty} n r^{n^2} z^{n-1},$$

то $\theta'(\bar{z}) = \overline{\theta'(z)}$. Отсюда (см. (23), (1), (3)).

$$P'(\bar{z}, \alpha) = \overline{P'(z, \alpha)}.$$

Поэтому

$$\operatorname{Im} P'(z, \alpha) = 0,$$

когда $z \in J_0 = [-1, a) \cup (a, -r] \cup [r, 1]$. То есть, функция $P'(z, \alpha)$ принимает действительные значения на множестве J_0 .

Полученные в работе результаты в дальнейшем могут быть использованы при решении задач оптимального восстановления аналитических функций, заданных в круговом кольце.

Список литературы

1. Ахиезер Н.И. Элементы теории эллиптических функций. – М.: Наука, 1970 г. – 291 с.
2. Курант Р., Гурвиц А. Теория функций. – М.: Наука, 1968 г. – 648 с.
3. Robinson R. Analytic functions in circular rings. – Duke Math. J., 1943, v. 10, p. 341 – 354.
4. Голузин Г.М. Геометрическая теория функций комплексного переменного. – 2-е изд., М.: Наука, 1966 г. – 628 с.
5. Аленицын Ю.Е. О функциях без общих значений и внешней границе области значений функций. // Матем. сб., 1958, т. 46 (88), с. 373 – 388.
6. Восканян В.В. Об одной экстремальной задаче в теории банаховых пространств аналитических в кольце функций. // Изв. Арм. ССР, математика, 1971, т. 6, № 5, с. 412 – 418.
7. Восканян В.В. О наибольших по модулю значениях для некоторых классов функций, аналитических в кольце. // Докл. Ан Арм ССР, 1972, т. 55, № 4, с. 203 – 206.
8. Овчинцев М.П. К вопросу об оптимальном восстановлении функций класса E_p в кольце. // Сиб. матем. журн., 1989, т. 30, № 4 (76), с. 87 – 101.
9. Акопян Р.Р. Оптимальное восстановление аналитической функции в двусвязной области по ее приближенно заданным граничным значениям. // Тр. ИММ УрО РАН, 21, № 4, 2015, 14 – 19.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И
КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ (05.13.11)**

05.13.11

Т.А. Деменкова канд. техн. наук, Ф.А. Игнатьев

МИРЭА - Российский технологический университет (РТУ МИРЭА),
Москва, demenkova@mirea.ru

**ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ТЕСТИРОВАНИЯ
ЦИФРОВЫХ БЛОКОВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**

В работе выполнен анализ существующих методов, алгоритмов и программных средств проверки цифровых блоков процессорных устройств для отладки и освоения вычислительных систем, выполненных на современной элементной базе. Проведены исследования возможных решений в данной предметной области, предложен алгоритм тестирования. Разработано программное обеспечение для реализации проектов на отечественной элементной базе.

Ключевые слова: *тестирование, процессорные устройства, цифровые блоки, элементная база, вычислительные системы.*

Благодаря развитию технологий интегральные схемы стали включать в себя больше функций и большую сложность в одном кристалле. Несмотря на то, что методы тестирования улучшились, увеличение сложности схем является значительной проблемой для тестирования. Главными задачами при тестировании цифровых цепей являются время тестирования и доступ к тестируемой цепи для выполнения проверки. Эти решения становятся еще более важными в зоне сложной системы на кристалле (SoC).

В настоящее время актуальной является решение задачи организации тестовых систем для контроля и диагностики цифровых устройств вычислительных систем различного назначения. Особенностью современных систем является переход на новую элементную базу, которая включает в себя такие инновации как ускорительные платы, системы на кристалле, сети на кристалле.

Можно выделить в отдельный ряд микропроцессорные системы, предназначенные для задач инфокоммуникационных систем. Задачи тестирования в них возникают на этапах разработки, отладки, прототипирования и внедрения.

Существует много различных решений в области контроля и диагностики отдельных блоков таких систем, однако отсутствуют четкие методы, процедуры, программное обеспечение и аппаратная поддержка для достоверного тестирования [1-3].

В работе в качестве цифрового блока процессорного устройства выступает хост-контроллер USB, версии 2.0 EHCI. Рассмотрены существующие реализации верификации USB блока, из которых выделяются программные средства USBlyzer, USB 2 Command Verifier (рис.1) и аппаратные анализаторы, представляющие пакетные данные в режиме реального времени (рис.2).

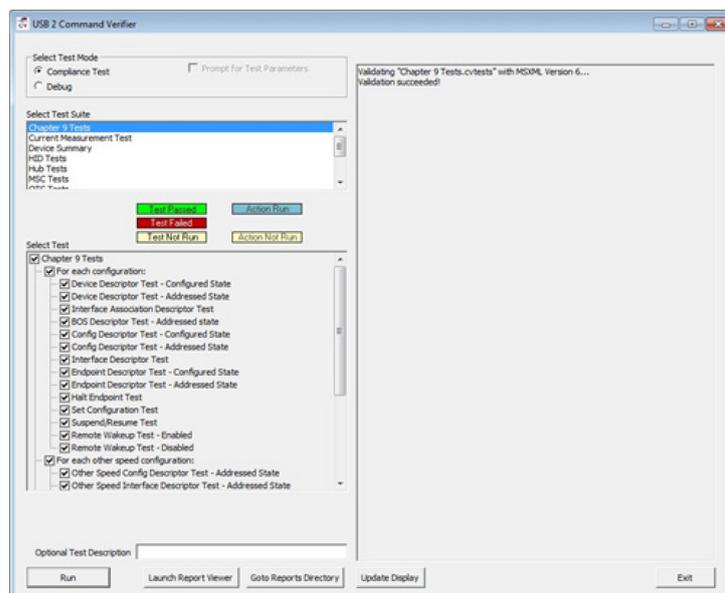


Рис. 1 – Верификация USB блока

Universal Serial Bus (USB) – это стандарт, определяющий протоколы обеспечения соединения между вычислительными устройствами, периферией и другими вычислительными устройствами, пришел на замену серийным и параллельным портам. Повсеместно используются интерфейсы USB 2.0 и 3.0 с максимально возможными скоростями передачи данных 480 Мбит/с и 5 Гбит/с соответственно.

Enhanced Host Controller Interface (EHCI) — это спецификация, определяющая регистровый уровень интерфейса для хост-контроллера USB. В интерфейсе USB передача данных между устройствами организуется по принципу Master-Slave, это значит, что на каждой шине USB может быть только один Master – хост-контроллер, который инициирует все передачи по шине с другими Slave устройствами. EHCI относится к стандарту USB 2.0 и определяет аппаратный и программный интерфейс между хост-контроллером программным обеспечением процессорного устройства с встроенным USB-блоком.

Структурная схема контроллера USB, включающая хост-контроллер EHCI, USB 2.0 предоставляет обратную совместимость с устройствами USB 1.0 благодаря встроенному хост-контроллеру компаньону. Если подключенное устройство воспринимается как High-Speed устройство, то управление передается хост-контроллеру EHCI, если как Low-Speed или Full-Speed устройство, то хост-контроллеру компаньону, такому как UHCI или OHCI.

Transfer #	Control	ADDR	ENDP	wIndex	wValue	wLength	Time	Time Stamp
6	Control	1	0	0	0	0	576.880 us	14_844 212 286
7	Control	1	0	0	0	0	625.170 us	14_844 199 110
8	Control	1	0	0	0	0	524.596 us	14_845 314 324
9	Bulk	1	1	0x00	0x00	31	284.248 us	14_845 689 210
10	Bulk	1	1	0x00	0x00	0	469.432 us	14_846 133 458
11	Control	1	0	0x0000	0x02	0	625.080 us	14_846 802 830
12	Control	1	0	0	0	0	1.121 ms	14_847 227 970
13	Bulk	1	1	0x00	0x00	31	193.500 us	14_848 348 682
14	Control	1	0	0	0	0	294.152 us	14_848 641 682
15	Control	1	0	0	0	0	374.680 us	14_848 835 834
16	Control	1	0	0	0	0	688.000 us	14_849 510 514
17	Control	1	0	0x0000	0x02	0	469.328 us	14_849 789 522
18	Control	1	0	0x0000	0x02	0	112.881 ms	14_850 253 850
19	Control	0	0	0x0000	0x00	0	461.600 us	15_062 845 250
20	Control	0	0	0x0000	0x00	0	14.988 ms	15_063 206 850
21	Control	1	0	0x0000	0x00	0	352.848 us	15_078 184 600
22	Control	1	0	0x0000	0x00	0	1.080 ms	15_078 876 854

Рис. 2 – Анализ пакетов с помощью MPQ USB Bus анализатора

Минимальной единицей передачи данных по USB шине являются пакеты, они состоят из битов синхронизации (SYNC), идентификатора пакета (PID), адреса устройства (ADDR), адреса конечной точки (ENDP), кода проверки целостности данных (CRC) и битов конца пакета (EOP). Используются 4 типа пакетов:

- Token пакет, для указания команды от хост-контроллера;
- Handshake пакет, для подтверждения успешной пересылки;
- SOF пакет, для указания начала передачи пакетов.

Пакеты передаются от хост-контроллера до конечных точек на USB устройствах (рис.3).

Конечные точки определяют типы передач:

- Control Transfer, управляющие передачи;
- Interrupt Transfer, передачи прерываний;
- Isochronous Transfer, изохронные передачи;
- Bulk Transfer, массовые передачи.

Передачи обычно формируются из пакета направления передачи, пакета Data и пакета подтверждения.

SYNC	DATA BYTES				EOF	Пакет USB
SYNC	PID	ADDR	ENDP	CRC	EOP	Token
SYNC	PID	DATA		CRC	EOP	Data
SYNC	PID				EOP	Handshake

Рис. 3 – Структура пакетов USB

В результате проведенных исследований предложен алгоритм тестирования отдельно взятых пакетов в режиме *polled*. В данном режиме каждая аппаратная транзакция будет ожидать программной проверки, что позволит ранжировать ошибки до уровней пакетов. Алгоритм можно применять в совокупности с существующими решениями программно-аппаратной поддержки тестирования.

Минимально допустимым уровнем подтверждения корректности работы хост-контроллера является верификация физического уровня PHY, разделенного на основные регистры. В зависимости от используемого трансивера дополнительно проводится тестирование UTMI.

В системах с встроенным генератором псевдослучайных последовательностей предложена следующая методика тестирования приемопередатчика UTMI: записи входных данных в регистр хранения, инициализации генератора сохраненным значением и сравнением входных и выходных данных. Проведение тестирования UHCI и EHCI блоков отличается только способами взаимодействия с хост-контроллером, поэтому предлагается к рассмотрению только более современный интерфейс EHCI.

На основе проведенных исследований были решены поставленные задачи, связанные с разработкой методов высокоуровневого тестирования современных вычислительных средств, созданием оптимальных архитектур тестовых систем и методики организации тестирования для широкого круга объектов процессорных устройств современного поколения. Результаты работы могут использоваться разработчиками вычислительных средств в части выполнения проектов по контролю, диагностике и верификации цифровых устройств.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект №FSFZ-0706-2020-0022).

Список литературы

1. Pevtsov E.P., Demenkova T.A., Shnyakin A.A. Design for Testability of Integrated Circuits and Project Protection Difficulties. Russian Technological Journal. 2019; 7(4):60-70. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2019-7-4-60-70>
2. Деменкова Т.А. Проектирование средств контроля и диагностики цифровых устройств. — М.: РТУ МИРЭА, 2019.
3. Алехин В.А. Проектирование электронных систем с использованием SystemC и SystemC-AMS. Российский технологический журнал. 2020;8(4):79-95. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2020-8-4-79-95>

05.13.11

Т.А. Деменкова канд. техн. наук, А.О. ИндришенокМИРЭА - Российский технологический университет (РТУ МИРЭА),
Москва, demenkova@mirea.ru**МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ АППАРАТНЫХ ЗАКЛАДОК
В ЦИФРОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ**

В работе исследуется проблема создания методов проектирования встроенных средств контроля и диагностики для выявления возможных аппаратных закладок, которые могут привести к полному выведению системы из строя или нарушению ее нормального функционирования, включая несанкционированный доступ к информации, ее изменение или блокирование. Рассматривается возможность обнаружения аппаратных троянов в цифровых системах обработки данных на основе часов реального времени. Показаны подходы при проектировании вычислительных систем с учетом возможных рисков нарушения целостности разработанных проектов.

Ключевые слова: *вычислительные системы, встроенные средства контроля, диагностика, цифровые системы обработки данных, аппаратные закладки.*

В работе рассматривается актуальная проблема разработки методики построения цифровых устройств и блоков на современной элементной базе для выявления аппаратных закладок и отклонений от эталонной модели. Множество компаний, специализирующихся на создании и производстве интегральных схем, используют IP блоки от сторонних разработчиков и открытых источников в дизайне систем на кристалле (SoC). Даная особенность ведения разработки полного цикла приводит к отсутствию контроля безопасности при создании новых вычислительных систем, что вызывает серьезные проблемы в части безопасности и сохранности информации [1-3].

В вычислительной системе присутствуют следующие программные и аппаратные блоки, которые имеют отношение к подсчету времени и временных интервалов: модуль подсчета реального времени, модули оперативного запоминающего устройства, различные таймеры, входящие в процессор, непосредственно сам процессор (рис.1). К программным блокам можно отнести BIOS (базовая система ввода вывода), ядро операционной системы и программное обеспечение.

Модуль подсчета реального времени (RTC) обеспечивает информацией о времени, необходимой для вычисления времени часов настоящего времени (отдельное устройство в процессоре). Это делается доступным с помощью ядра или программы приложения. Процессор сохраняет настоящее время по фиксированному адресу RAM памяти системы, как это показано на рис.1. Таймер представляет собой часть программируемой аппаратуры, которая может генерировать периодические прерывания для обновления настоящего времени. Таким образом, процессор может проследить как много времени прошло с момента его включения. Это представляется полезным по причине того, что тогда нет необходимости читать постоянно данные с часов реального времени, когда процессору или прикладной программе требуется информация о времени.

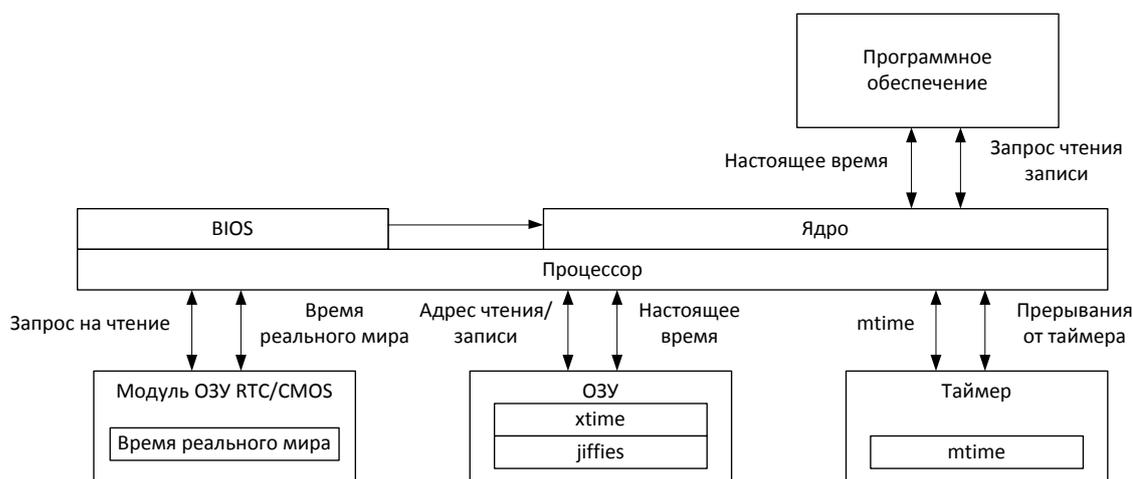


Рис. 1 – Программные и аппаратные блоки для подсчета времени

При включении системы производится самотестирование процессора и периферийных устройств с последующей загрузкой операционной системы с помощью загрузчика, который контролирует работу вычислительной системы, а также загрузку ядра операционной системы. После загрузки ядро операционной системы заставит процессор считать действительное время из модуля реального времени и произвести расчет времени запуска (начальное время часов настоящего времени) и после сохранит значение этого времени в ОЗУ. Данное время представляется в виде 32-разрядной переменной, записанной в ОЗУ с интервалами обновления раз в секунду. Это значение используют для запуска встроенные в вычислительную систему трояны в качестве опорной точки для запуска.

В троянах такого типа можно использовать несколько счетчиков для запуска и исполнения на временном интервале. Счетчик увеличивается, когда получает определенное событие, например, когда число некоторых указанных передач достигает определенной величины или если часы отсчитают заданное количество времени. При достижении заранее установленного значения вредоносная схема запустится и начнет атаку. Механизмы запуска трояна могут быть разделены на две категории: всегда включены и запускание по условию. Троян при запуске по условию обычно состоит из двух частей – части для запуска и выполняющей части. Запускающая часть отслеживает внутренние и внешние сигналы схемы. Действия выполняющего трояна можно разделить на четыре категории: изменение исходных функций схемы, отказ в обслуживании, утеkanie важной или касающейся конструкции информации и повреждение эксплуатационных характеристик или снижение надежности.

Схемы часов реального времени обычно используются в современных системах на кристалле (SoC) для представления данных типа *time* (время реального мира). Для ядра в операционной системе или программ приложений часто используется время часов настоящего времени (*wall-clock*), которое показывает, как много времени реального мира прошло с начала эпохи. Это время сохраняется в системной памяти (RAM). Часы настоящего времени могут быть использованы, чтобы измерить время выполнения какой-либо программы с помощью вычитания настоящего времени начала работы программы из настенного времени ее окончания.

Рассмотрим, как построены простые аппаратные трояны и их основные блоки, структура которых представлена на рис. 2.

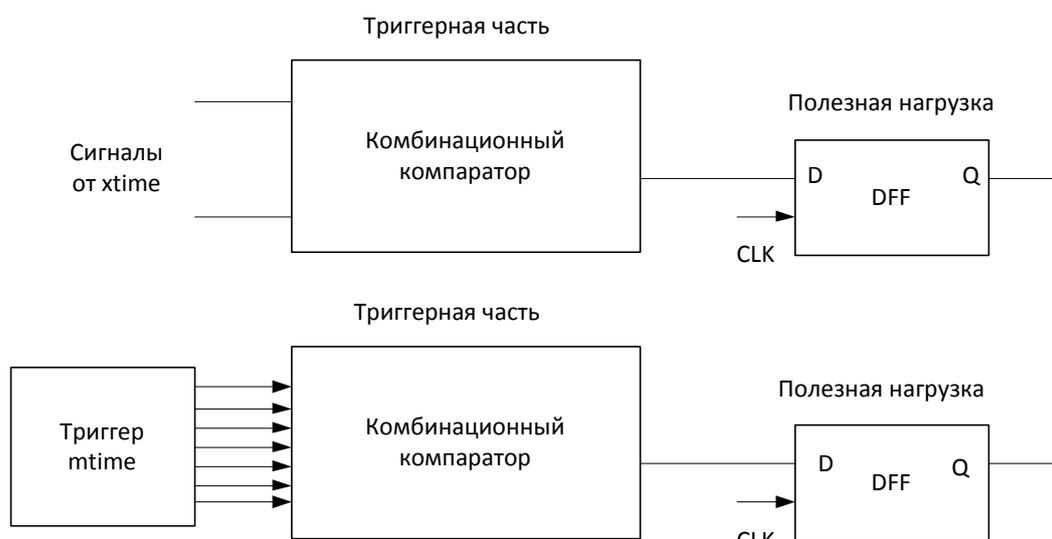


Рис. 2 – Конструкции простых троянов

Как правило в конструкциях аппаратных закладок требуется разработать только простой компаратор и сделать возможным использование оригинальной схемы для его запуска. Здесь рассматриваются два типа схем запуска, а именно, на основе реального времени и относительного времени. Представлены компараторы троянов этих двух типов, которые сравнивают временные интервалы с предварительно заданными значениями времени.

Аппаратная закладка на основе реального времени отслеживает текущее время и начинает атаку в предписанное время. В этой конструкции атакующий блокирует системное время или подменяет его, используя ячейки памяти, в которых хранится значение времени. Когда происходит прерывание, значение текущего времени будет считываться в процессор и затем сохраняться по исходному адресу памяти после обновления. В процессе обновления задействованы многие компоненты, такие как модуль регистров, АЛУ и память данных.

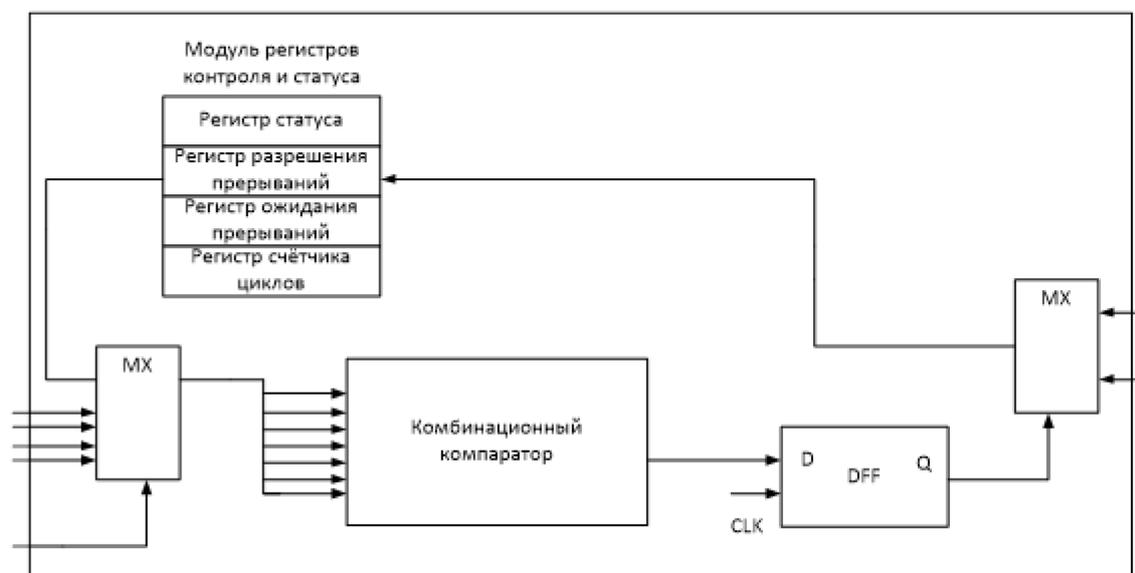


Рис. 3 – Аппаратная закладка в модуле запроса на выдачу сертификата

На рис.3 представлена структура трояна, внедренного в блок CSR (Certificate Signing Request) процессора, который генерирует запрос на выдачу сертификата. С использованием вредоносной схемы, основанной на принципах трояна реального времени, для выявления необходимо отслеживать больше сигналов, чем для трояна с относительным временем. Чтобы захватить значение реального времени в процессоре, надо отслеживать адрес в ОЗУ, по которому хранится время реального мира.

Так как в современных системах данные о времени перегружаются из CMOS RAM в определенный адрес ОЗУ и используется таймер прерываний для обновления данных о времени, пользователи могут обнаружить адрес виртуальной памяти для значения времени из системного файла разметки (*map file*), то есть символического файла, генерируемого компилятором, который содержит типы и виртуальное расположение переменных и функций. В данном сценарии атаки конечному пользователю обычно нет необходимости компилировать ядро самостоятельно. Триггер DFF перезаписывает регистр разрешения прерывания и отключает прерывание таймера. Это вызывает отключение блока шифрования в процессоре, что вызовет утечку информации. Также подобные закладки могут быть в других узлах процессора.

В работе был рассмотрен наиболее частый вариант применения аппаратных закладок, которые используют информацию о времени в качестве условия для запуска. Представлена схема, которая может задавать условия запуска, а также описан основной узел для внедрения.

Результаты исследований могут быть использованы для разработки методов обнаружения аппаратных троянов в цифровых вычислительных системах на основе понятия часов реального времени, чтобы предотвратить изменение исходных функций схемы, отказ в обслуживании, утечку важной или касающейся конструкции информации, повреждение эксплуатационных характеристик или снижение надежности. Выполнен анализ основных проблем проектирования цифровых устройств, касающихся сложности обнаружения закладок.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект №FSFZ-0706-2020-0022).

Список литературы

1. *Pevtsov E.P., Demenkova T.A., Shnyakin A.A.* Design for Testability of Integrated Circuits and Project Protection Difficulties. Russian Technological Journal. 2019;7(4):60-70. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2019-7-4-60-70>
2. *Деменкова Т.А., Индришенок А.О.* Исследование уязвимостей интеллектуальной системы управления // Интеллектуальные системы в информационном противоборстве. Сборник научных трудов. Т.1 -М.: ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г. В. Плеханова.2018. С.186-190.
3. *Beaumont M., Hopkins B., and Newby T.* Hardware Trojans—Prevention, detection, countermeasures. URL: <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a547668.pdf> (дата обращения 10.04.2021).

05.13.11

Е.Г. Макейкин, А.В. Хохлов, Г.С. Лазарев, А.И. Боровик

Саровский физико-технический институт – филиал НИЯУ МИФИ,
кафедра вычислительной и информационной техники,
Саров ev-gen-mak@yandex.ru

МИГРАЦИЯ БАЗЫ ДАННЫХ ИЗ СИСТЕМЫ «ЛОЦМАН:PLM 2014» В «ЛОЦМАН:PLM 2018 SE»

В настоящее время на предприятии в рамках реализации сквозной 3D-технологии, выполняется проект по внедрению комплекса систем инженерного ПО Российской компании АСКОН. Основным компонентом комплекса является сертифицированная система управления жизненным циклом изделия «ЛОЦМАН:PLM SE MILITARY» (исполнение 1 – «PLM:ТИС 2014» и исполнение 2 – «ЛОЦМАН:PLM 2018 SE») (далее - Система). Основное внимание в данной работе уделяется на представлении процесса миграции (переноса) данных из PLM:ТИС 2014 в исполнение 2. За время существования сквозной 3D-технологии, впервые была осуществлена работа по миграции всего пула наработанных данных из одной системы в другую.

Ключевые слова: *база данных, резервное копирование, миграция данных, файловый архив, сквозная 3D-технология.*

Анализ возможных методов миграции данных

Миграция может осуществляться в режиме «офлайн» и «онлайн».

Миграция в режиме «офлайн» производится одновременно, при миграции происходит остановка работы системы-источника и целевой системы. Такой подход может показаться привлекательным в силу снижения временных затрат на проведение процесса миграции, однако существует недостаток данного подхода: спланировать проведение процесса миграции довольно сложно без приостановки производства.

При миграции в режиме «онлайн» система-источник и целевая система работают параллельно, работа приложения не приостанавливается, что обычно положительно воспринимается пользователями ИС. Применение такого подхода, приведет к усложнению процесса миграции, так как понадобится в реальном времени отслеживать наборы данных, которые были мигрированы, а так же контролировать изменения в данных, сделанные пользователями системы-источника.

В данном случае был выбран метод «офлайн». Этот выбор обусловлен тем, что в БД системы хранится большой объем данных и с ИС работает большое количество пользователей.

Подготовительные работы перед миграцией данных

Миграция данных – процесс переноса информации при смене информационной системы (ИС), хранилища или изменении версии приложения.

Основное требование при обновлении программного обеспечения предъявляется к наследованию данных, разработанных в предыдущих версиях ПО и/или к возможности миграции данных из исторических систем. Кроме того, целью любого процесса миграции данных является маппинг информации, типов и форматов данных старой системы с типами и форматами данных новой системы.

До начала этапа подготовительных работ была разработана методика миграции данных комплекса решений АСКОН с версии 2014 SP2 ФСТЭК до версии 2018.

Согласно данной методике, первоначально были подготовлены три тестовых полигона, на основании действующей архитектуры Системы, как показано на рис. 1.

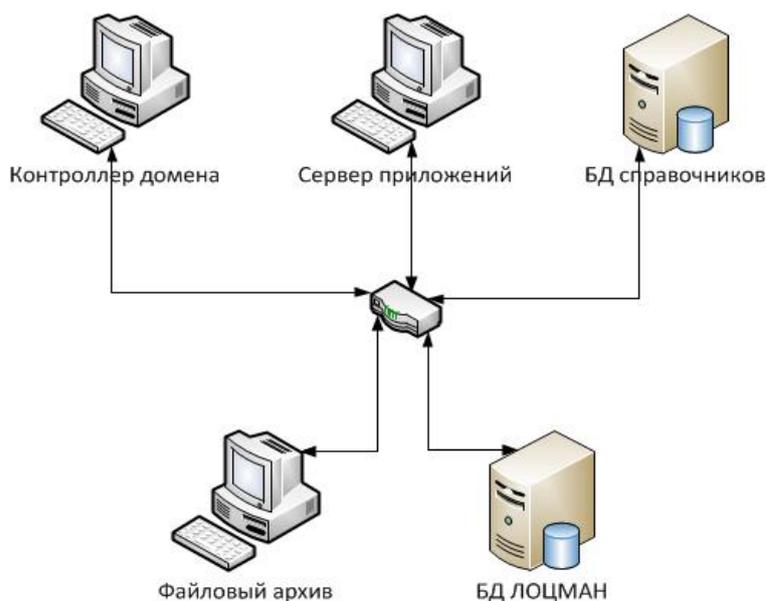


Рис. 1 – Архитектура тестовых полигонов

На первом полигоне (далее – полигон «SP2») был инсталлирован комплекс АСКОН PLM:ТИС 2014 SP2. На втором полигоне (далее – полигон «SP5») была инсталлирована коммерческая версия ПО АСКОН, основным компонентом которого является программное обеспечение ЛОЦМАН:PLM 2014 SP5. На третьем полигоне была развернута версия ЛОЦМАН:PLM 2018 SE (далее – полигон «2018»).

На полигонах были установлены ключи лицензионной защиты, а также подключены демо-базы данных для проверки работоспособности ПО.

Миграция данных ЛОЦМАН:PLM

В рабочей базе данных ЛОЦМАН:PLM 2014 SP2 было обеспечено отсутствие блокировок и аннотирования документов, которые всегда присутствуют в режиме работы пользователя с системой.

Для обеспечения правильной миграции данных были завершены все работы в Системе:

- завершены аннотирования всех пользовательских документов;
- окончены текущие работ пользователей со всеми информационными объектами (Информационный объект – электронное описание некоторой сущности, связанной с жизненным циклом изделия: реального объекта, процесса, явления или события);
- сохранены все выполненные действия в БД ЛОЦМАН:PLM;
- возвращены информационные объекты в БД ЛОЦМАН:PLM.

Далее была проведена проверка файлового архива (ФА) на наличие и корректность связей со всеми файлами, которая осуществлена с помощью оснастки системы – «центр управления комплексом» (ЦУК).

Первоначально, в результате проведенного тестирования были выявлены несколько десятков ошибок с формулировкой «файл [путь к файлу]\[имя файла] в файловом архиве не найден».

Вероятными причинами возникновения данной ошибки могли быть:

- разрывы сети;
- ошибки аутентификации.

Устранение возникших ошибок проводили ручным способом, а именно:

- осуществляли поиск объектов и их файлов в БД ЛОЦМАН и ФА;
- восстанавливали файлы из резервных копий;
- восстанавливали объекты и файлы совместно под контролем их владельцев.

Повторное проведение тестирования ФА ошибок не выявило.

Убедившись в снятых блокировках/аннотирований в БД ЛОЦМАН:PLM 2014 SP2 и корректности связей со всеми файлами в ФА, было проведено резервное копирование БД ЛОЦМАН:PLM 2014 SP2.

На подготовленный ранее полигон «SP2» была подключена созданная копия БД и файловый архив. Для корректной работы баз данных на полигоне «SP2», были проведены тонкие настройки, которые включали в себя корректировку всех имеющихся сетевых путей хранения файлов БД.

После этого провели обновление базы данных ЛОЦМАН:PLM с версии SP2 до версии SP5, используя специальную утилиту, входящую в состав дистрибутива – «Patch.exe». Данная утилита меняет структуру базы данных – формируя дополнительные таблицы и корректируя имеющиеся. Для обеспечения нового функционала версии SP5, появляются новые типы информационных объектов и документов, добавляются новые роли, появляются дополнительные атрибуты информационных объектов, документов и т.д. Роль – хранимый именованный набор прав доступа к типам объектов и документов, находящимся в определенных состояниях, по умолчанию предоставляемый для выполнения служебных обязанностей должностям и пользователям, которым сопоставлена эта роль.

В результате, в ПО ЛОЦМАН:PLM 2014 SP5 открывалась база данных – визуально имелось в наличии дерево объектов, количество папок совпадало с количеством папок рабочей базы данных.

Далее проверили полноту имеющихся данных на полигоне «SP5» следующим образом: провели ручной поиск всех объектов, типов объектов, файлов на полигоне «SP5». Провели сравнение полученных данных по факту поиска с данными, содержащимися в рабочей базе данных ЛОЦМАН:PLM версии SP2. Количество найденных данных было равным в обеих базах данных полигонов, что говорит о корректной миграции.

После этого была создана резервная копия БД на полигоне «SP5», которую подключили через ЦУК на полигон «2018». Далее, обновили версию БД с SP5 до версии 2018, с помощью утилиты, входящую в состав дистрибутива версии 2018 – «Patch.exe».

Также, проверили полноту имеющихся данных ручным способом, как описано выше и дополнительно при помощи скрипта. Сравнив количество объектов БД ЛОЦМАН:PLM версии SP2 и 2018, убедились, что количество данных в обеих базах совпадает. В ПО ЛОЦМАН:PLM 2018 БД открывалась успешно, никаких ошибок не возникало.

Таким образом в ходе выполненных работ из мигрируемой БД были успешно перенесены все информационные объекты, учетные данные пользователей и их роли, все имеющиеся бизнес-процессы, шаблоны отчетов и прочие данные.

Список литературы

1. Комплекс решений АСКОН 2018.1. Установка и первичная настройка. ООО «АСКОН-Бизнес-решения», 2019, 60 с.
2. Методические рекомендации по миграции на ЛОЦМАН:PLM 2017 с предыдущих версий. ООО «АСКОН-Бизнес-решения», 2017, 55 с.
3. Трохалин И. Сквозная 3D-технология АСКОН как бизнес-решение для крупных предприятий ОПК и гражданского сектора // Стремление 2015. с 23.

05.13.11

Р.Э. Семенов

МИРЭА - Российский технологический университет,
институт информационных технологий,
кафедра вычислительной техники,
Москва, Crososonline@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ НА ОБЪЕКТЕ ОТВЕТСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В данной работе представлены результаты исследования и проектирования локальной сети на участке метрополитена которая включает в себя две станции, тоннель между ними и подвижный состав. Сеть спроектирована в двухпутных тоннелях, которые находятся в процессе строительства Большой кольцевой линии московского метрополитена. Сеть подвижного состава организована в вагонах "Москва", это позволяет добиться большей скорости и стабильности соединения, по сравнению с существующими, в настоящее время, локальными сетями метрополитена.

Ключевые слова: *Wi-Fi сеть, подключение к сети Интернет, Интернет в метрополитене, архитектура беспроводной сети.*

Удобство использования Интернета вводит потребность наличия постоянного доступа к сети путем беспроводного подключения, называемым Wi-Fi. В общественном транспорте, «Мосгортранс» - государственное унитарное предприятие, организовала бесплатную Wi-Fi сеть по всей Москве. Это стало возможным благодаря огромному количеству вышек, зона покрытия которых достигает сотен километров. Каждая вышка в свою очередь обеспечивает связь с транспортным средством, которое находится в радиусе ее действия. Когда транспорт выходит из данного радиуса, подключается следующая вышка, это происходит за десятки секунд и пользователь даже не замечает эту смену. В тоннелях метрополитена установлены устройства, аналогичные радиовышкам, которые создают сплошное радиополе. Поезд движется по тоннелю, и когда головной вагон обнаруживает следующее устройство, то устройства состава, последовательно, переключаются на него.

Локальная сеть участка метрополитена, включает в себя две станции, тоннель между ними и подвижный состав. Постоянное развитие технологий предоставляет все больше возможностей для организации такого сложного типа сетей. Сеть спроектирована в двухпутных тоннелях, которые находятся в процессе строительства Большой кольцевой линии московского метрополитена. А сеть подвижного состава организована в вагонах "Москва", это позволяет добиться большей скорости и стабильности соединения в сравнении с, применяемыми, в настоящее время, локальными сетями метрополитена.

Технология Wi-Fi позволяет осуществлять соединение устройства с точкой доступа. Начиная с 1997 года, технология была много раз улучшена и устройства поддерживают определенное поколение развития, поэтому, в проектируемой сети, необходимы устройства с поддержкой актуального поколения. Для соединения с устройствами используются стандарты 802.11b/a/g/h/n/ac. Необходима поддержка всех поколений для подключения как маломощных, так и флагманских мобильных устройств пассажиров.

Для организации сети нам необходимо постоянное и беспроводное соединение между тоннелем и поездом. В подвижном составе будут установлены 7 точек доступа, они разделяют скорость подключения между собой, поэтому между базовыми станциями, установленными в тоннеле и подвижным составом скорость передачи файлов должна быть в 7 раз больше. Для соответствия такой скорости будет использован стандарт, который обозначается как 802.11ac и устройства должны содержать 8 MU-MIMO антенн: четыре на прием и четыре на передачу.

Метрополитен является объектом повышенной опасности, и тяжелых условий работы для оборудования. В ограниченном пространстве передвигаются массивные механизмы. Движение поездов вызывает колебания, поэтому в тоннеле и подвижном составе постоянно присутствуют вибрации. Трение колес о металлические рельсы нагревают и стачивают их, вследствие чего, в тоннелях образуется взвешенная металлическая пыль, которая забивает обычные механизмы и оборудование, что приводит к нарушению их работы. Возможны аварийные ситуации, поэтому в рамках требований по пожарной безопасности, все устройства должны быть произведены из негорючих материалов. В связи с постоянными скачками напряжения, работа от нестандартных источников питания. Поэтому оборудование должно соответствовать требованиям и обладать защитой от вышеперечисленных проблем.

Произведем расчет необходимой пропускной способности оборудования. Для комфортного просмотра видео в разрешении 480p на персональном мобильном устройстве подключенному к сети по беспроводному соединению необходима скорость $V_{con} \sim 3,5 - 3,9$ Мбит/с.

В среднем, в вечернее время в каждом вагоне метро находится $n_p = 200$ человек. Сумма необходимой скорости интернет - соединения для одной точки доступа будет:

$$V_{con} * n_p = V_{rou}$$

Каждая точка доступа должна иметь пропускную способность $V_{rou} = 700 - 900$ Мбит/с из расчета, что в вагоне возможно размещение большего количества людей.

Подвижный состав состоит из двух головных и $n_c = 7$ промежуточных вагонов. В каждом из семи вагонов установлено по точке доступа, значит общая пропускная способность антенны - роутера будет:

$$V_{rou} * n_c = V_{tra}$$

Так как во время движения соединение с тоннелем поддерживает только одна антенна-роутер, а вторая только обнаруживает следующую базовую станцию, то пропускная способность каждой антенны-роутера должна быть $V_{tra} = 4900 - 5200$ Мбит/с, допуская возможность установки оборудования с большей пропускной способностью, чем необходимо.

Каждая базовая станция и коммутатор должны иметь одинаковую или большую пропускную способность с антеннами – роутерами в подвижном составе, но следует учитывать, что одновременно может быть подключено два поезда, которые движутся в разных направлениях. Значит, пропускная способность базовых станций и коммутаторов должна увеличиться вдвое.

Ядра сети или модули, установленные на станциях, принимают данные от узлов связи, находящихся снаружи метрополитена, и распределяют по коммутаторам в тоннеле в одном направлении от станции. Учитывая то, что одновременно в двупутном тоннеле находится, в среднем, 4 поезда, передавать данные должны 4 базовых станций, а значит пропускная способность ядра должна соответствовать:

$$V_{tra} * 2 * n_{ton} = V_{cor} \text{ Мбит/с,}$$

где n_{ton} – максимально возможное количество подвижных составов в тоннеле, V_{cor} – скорость ядра сети.

Итого мы получаем, что каждый маршрутизатор на каждой станции должен обладать пропускной способностью $V_{cor} = 40000$ Мбит/с или 40 Гбит/с.

Для стабильного подключения всех точек доступа следует использовать оптоволоконный кабель, который позволит подключить достаточное количество оборудования на всем протяжении поезда и обеспечить высокую скорость соединения. На такие кабели не воздействуют радиочастотные помехи, электромагнитные помехи и скачки высокого напряжения, что свойственно для движущегося на большой скорости поезда.

В настоящее время в поездах метрополитена проложены кабели витая пара, они могут быть изогнуты и подходят для помещения в блок проводов, который по специальной связке проходит между вагонами. Они обеспечивают достаточную скорость соединения, но

подключение не стабильно и постоянно возникают задержки и разрывы соединения. Когда в эксплуатацию поступили вагоны «Москва», участки локальных сетей подвижного состава остались без изменений и были установлены в новые составы.

Проведем расчет длины кабеля для участков проектируемой сети. Средняя длина тоннеля $l_{ton} = 4000$ м, учитывая то, что перегоны между станциями разной длины, а также могут присутствовать повороты, необходимо взять запас $l_{tur} = 1000$ м кабеля. От каждого коммутатора до соответствующей ему базовой станции примерное расстояние от 0,1 до 1 м, в зависимости от возможности установки оборудования на участке тоннеля, поэтому необходим кабель длиной $l_{rou} = 10$ м. Для участка от концов тоннелей до ядер сети с примерным расстоянием в 5 или 50 м, если техническое помещение расположено по бокам станций и 25 м, если по середине. Необходимая длина кабеля составит $l_{sta} = 150$ м с учетом двух станций. Также необходим запас кабеля для непредвиденных случаев $l_{res} = 200$ м.

$$l_{ton} + l_{tur} + l_{rou} + l_{sta} + l_{res} = l_{sum1} \text{ м.}$$

Суммарная длина кабеля необходимая для организации сети между двумя станциями составляет $l_{sum1} = 5360$ м.

Длина подвижного состава $l_{tra} = 136$ м, длина одного вагона $l_{car} = 19,5$ м. Каждая точка доступа должна быть подключена по отдельному кабелю с каждым контроллером, которые находятся в головных вагонах. Точки доступа расположены в середине каждого вагона. Следует проложить кабель с большей длиной, чтобы избежать натяжения на поворотах. Между контроллерами и точками доступа необходима длина кабеля:

$$l_{tra} * n_c + l_{res} = l_{sum2} \text{ м.}$$

Суммарная длина кабеля необходимая для организации сети в подвижном составе составляет $l_{sum2} = 1145$ м.

После проведенных исследований и расчетов следует организовать беспроводную локальную вычислительную сеть в актуальном двухпутном тоннеле и поезде «Москва». На беспроводных участках сети будет организовано подключение по технологии Wi-Fi в тоннеле стандарта 802.11ac, а в поездах 802.11b/a/g/h/n/ac. Необходимо оборудование, которое рассчитано на работу в тяжелых условиях эксплуатации и поддерживающее необходимую пропускную способность на каждом участке проектируемой сети для комфортного использования пассажирами метрополитена. Точки доступа со скоростью 900 Мбит/с, антенны – роутеры 5200 Мбит/с, базовые станции и коммутаторы по 10400 Мбит/с, ядра сети 40000 Мбит/с. Оборудование будут соединять волоконно-оптические кабели, протяженность которых в тоннеле и на станциях будет 5360 м, а в подвижном составе 1145 м.

Список литературы

1. Официальный сайт ГУП «Московский метрополитен». URL: <http://mosmetro.ru> (дата обращения 10.03.2021)
2. Официальный портал Мэра и Правительства Москвы. URL: <https://www.mos.ru> (дата обращения 10.03.2021)
3. Официальный сайт Института инженеров электротехники и электроники. URL: <https://www.ieee.org> (дата обращения 16.03.2021)
4. Спарбер А.С. Малыгин И.А., Гаранин В.Н. Как устроено Метро / А.С. Спарбер. – М.: Книжный клуб 36.6, 2017. – 462 с.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ (05.13.18)**

05.13.18

**Н.Н. Беспалов канд. техн. наук, Ю.В. Горячкин канд. техн. наук,
К.Ю. Панькин, И.О. Бектяшкин**Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва,
кафедра электроники и наноэлектроники,
Саранск, ka-mgu@mail.ru**МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРЯМЫХ
ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И ТЕМПЕРАТУРНОГО КОЭФФИЦИЕНТА
НАПРЯЖЕНИЯ ДИОДА Д242**

Статья посвящена исследованию вольт-амперных характеристик и температурного коэффициента напряжения выпрямительного низкочастотного диода штыревой конструкции Д242. Результаты исследования получены на основе моделирования с использованием пакета программ инструментального и технологического моделирования Synopsys TCAD. Определен диапазон значений прямого испытательного тока, применение которых на практике обуславливает снижение погрешности измерения значений напряжения в прямом направлении и относительно небольшую погрешность определения значения температурного коэффициента напряжения диодов.

Ключевые слова: *полупроводниковый диод, прямой ток, вольт-амперная характеристика, температурный коэффициент напряжения, моделирование, температура.*

Введение. При исследовании тепловых режимов полупроводниковых приборов (ПП) для определения температуры их полупроводниковых структур T_j используется величина температурного коэффициента напряжения (ТКН), которая определяется по параметрам вольт-амперной характеристики (ВАХ) ПП в прямом направлении при различных значениях T_j . От точности определения ТКН во много зависит точность определения T_j в различных исследуемых режимах работы. При определении ТКН ПП необходимо выбирать величину тестового постоянного прямого тока $I_{F[test]}$, который позволит измерять ТКН с наименьшей погрешностью. Правильно выбрать величину $I_{F[test]}$ позволяет исследование ВАХ при разных значениях температуры кристаллов T_j ПП [1-3]. Экспериментальное исследование ВАХ ПП требует наличия специального испытательного комплекса оборудования, включающего в себя специальную термокамеру, управляемого источника испытательного тока и высокоточного измерительного оборудования. Это обуславливает высокую стоимость экспериментального исследования. В связи с этим возникает потребность в компьютерном моделировании электрических и тепловых процессов в ПП. В статье приведены результаты исследование параметров ВАХ и ТКН диода Д242 штыревой конструкции при различных значениях тока I_F и температуры T_j , на основании которого определен диапазон величин тестового прямого тока $I_{F[test]}$, при котором обеспечивается минимальный перегрев кристалла ПП и низкая погрешность определения ТКН. Исследование проводилось с помощью компьютерного моделирования на основе пакета программ приборно-технологического моделирования Synopsys TCAD [4].

Разработка модели диода. Диод Д242 рассчитан на предельный прямой ток $I_{F[AV]} = 10$ А. Предельная температура полупроводниковой структуры данного диода $T_{jmax} = +130$ °С. На рисунке 1 показана двухмерная половина модели конструкции диода. При моделировании она вращается вокруг оси и получается квазитрёхмерная цилиндрическая модель. На рисунке 1, а обозначения А и К – это контакты анодной и катодной частей диода, с которых при реальном экспериментальном исследовании снимается напряжение в прямом

направлении U_F . Для оценки влияния сопротивлений выводов анодной и катодной цепей на ВАХ диода в модель введены внутренние контакты А1 и К1, сигнал напряжения с которых снимается непосредственно с полупроводниковой структуры диода (рисунок 1, б).

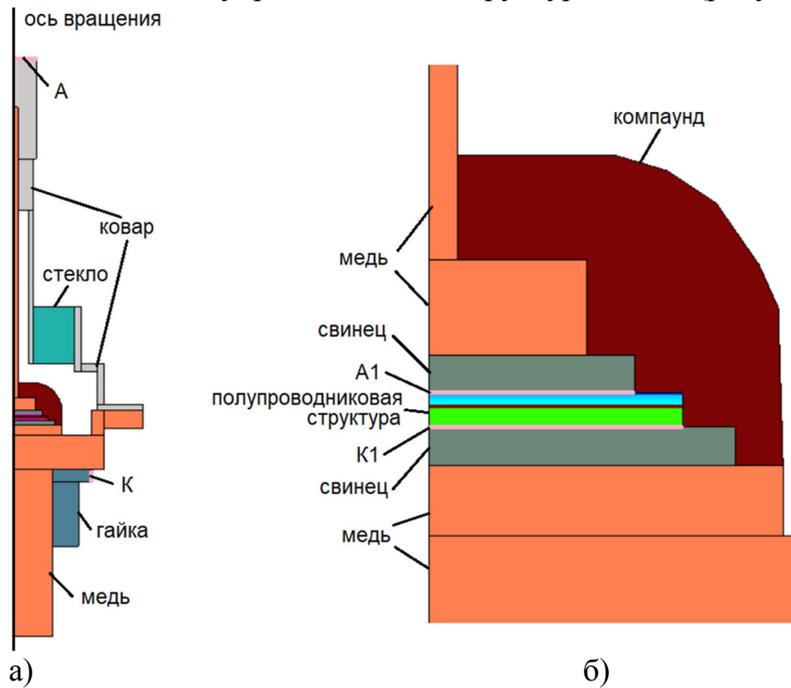


Рис. 1 – Структура диода Д242 с элементами корпуса (а) и увеличенная структура в области полупроводникового выпрямительного элемента (б)

Разработанная модель учитывает эффекты высокого уровня инжекции и влияние концентрации легирующей примеси на электрофизические параметры полупроводниковой структуры, а также саморазогрев структуры от протекающего прямого тока I_F .

Моделирование ВАХ диода. Моделирование проводилось в диапазоне значений прямого тока I_F от 1 мА до 10 А и при значениях температуры кристалла T_j , равных +25 °С, +80 °С и +130 °С. На рисунке 2 показаны результаты моделирования прямых ВАХ диода Д242 при этих значениях T_j при снятии прямого напряжения U_F с внешних контактов анода и катода (А-К) и непосредственно с контактов анод-катод (А1-К1) полупроводникового кристалла. Из рисунка 2 видно, что на ВАХ диода штыревой конструкции его сопротивления выводных контактов начинают оказывать заметное влияние при превышении значения прямого тока $I_F = 1$ А. При $I_F = 10$ А разница в падениях напряжения U_F может достигать величину в 100 мВ. Данные результаты необходимо учитывать при проведении энергетических расчетов параметров электрических цепей электрических преобразователей на основе диодов штыревой конструкции.

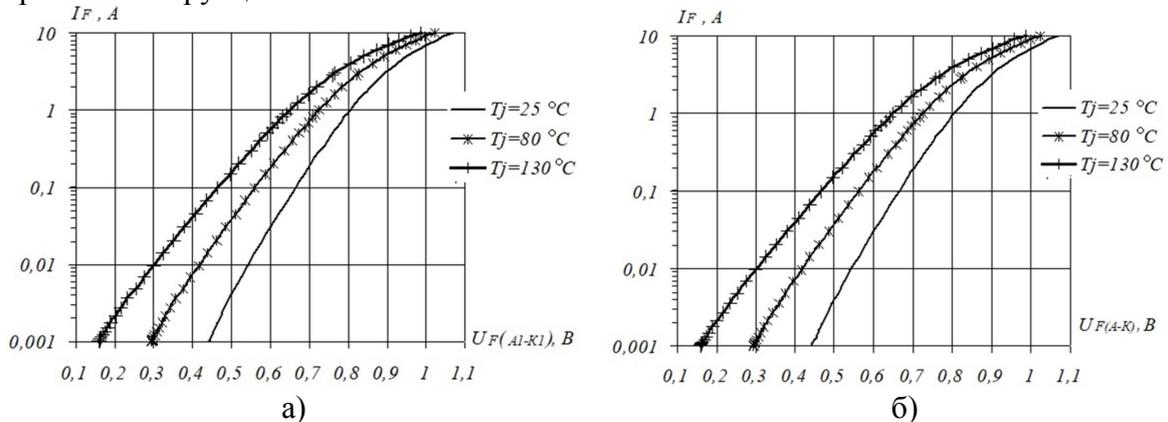


Рис. 2 – ВАХ диода Д242 при различных значениях T_j и при измерении U_F непосредственно с контактов А1-К1 полупроводниковой структуры (а) и при измерении U_F с выходных контактов А-К диода (б)

По результатам моделирования ВАХ получены графики зависимости ТКН от прямого тока I_F (рисунок 3). ТКН рассчитывались по формуле

$$TKH = \frac{(U_{F(Tj\max)} - U_{F(Tj=25^{\circ}C)})}{(Tj\max - 25)^{\circ}C}$$

где $T_{j\max} = 80^{\circ}C$ и $130^{\circ}C$.

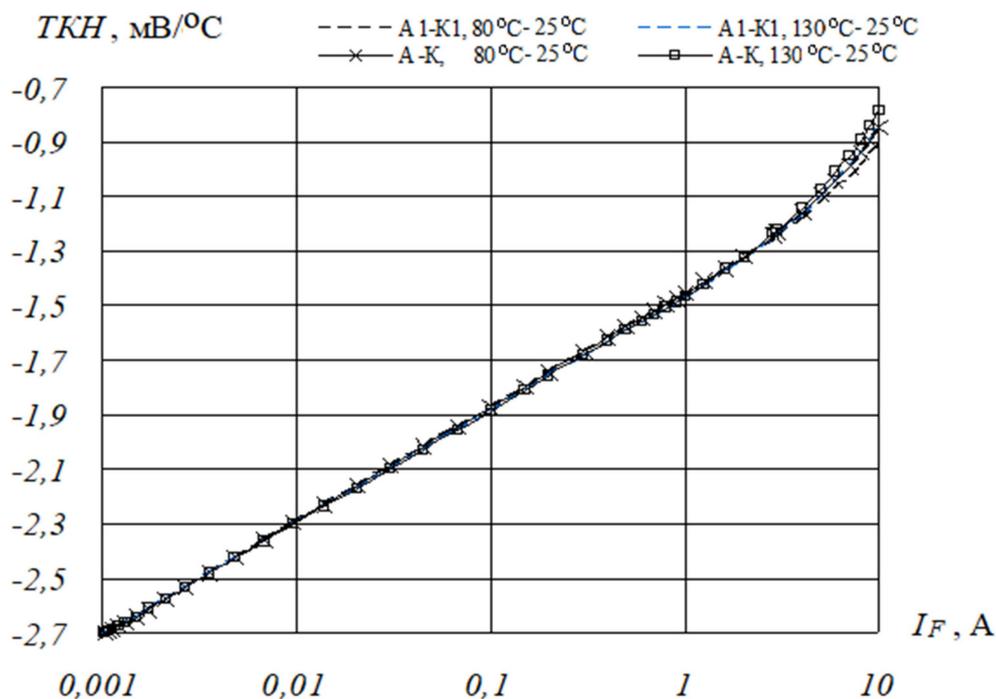


Рис. 3 – Зависимости ТКН от прямого тока I_F при различных значениях температуры T_j и способов измерения U_F

Из рисунка 3 видно, что в диапазоне I_F от 1 мА до 2 А для всех случаев изменения температуры T_j и способов снятия напряжения U_F значения ТКН приблизительно равны друг другу. Однако при $I_F > 2$ А в значениях ТКН для всех случаев наблюдается увеличивающаяся разница.

По результатам моделирования ВАХ также получены графики зависимости относительной погрешности δ определения ТКН от прямого тока I_F (рисунок 4). Значения δ рассчитывались по формулам

$$\delta_1 = \frac{(TKH_{(\Delta Tj1(A-K))} - TKH_{(\Delta Tj2(A1-K1))})}{TKH_{(\Delta Tj2(A1-K1))}} \times 100\%$$

где разность значений $\Delta Tj1 = T_{j\max1} - T_{jo} = 80 - 25 = 55^{\circ}C$ и

$$\delta_2 = \frac{(TKH_{(\Delta Tj2(A-K))} - TKH_{(\Delta Tj2(A1-K1))})}{TKH_{(\Delta Tj2(A1-K1))}} \times 100\%$$

где разность значений $\Delta Tj2 = T_{j\max2} - T_{jo} = 130 - 25 = 105^{\circ}C$.

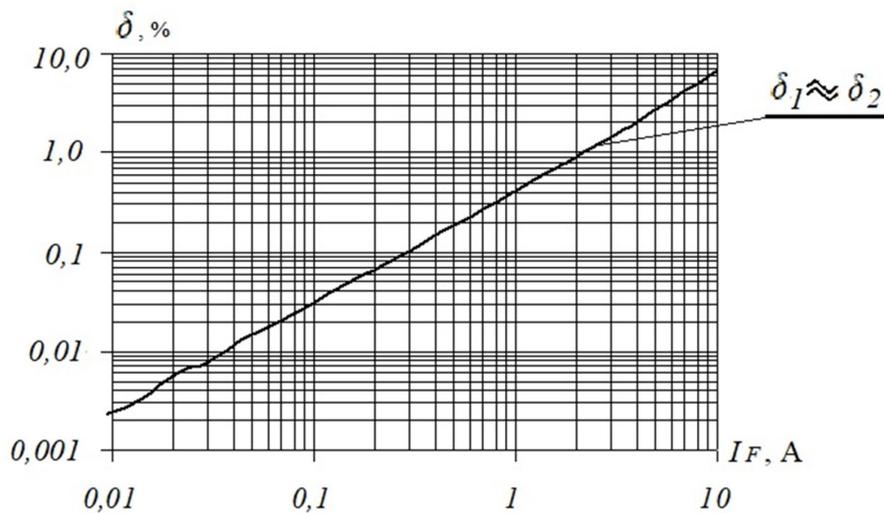


Рис. 4 – Зависимости ТКН от прямого тока I_F при различных значениях температуры T_j и способов измерения U_F

Выводы. На основании данных моделирования ВАХ мощных диодов штыревого типа конструкции, можно сделать следующие выводы.

1. Для оценки T_j полупроводниковой структуры ПП в различных режимах эксплуатации предварительно экспериментально определяют их ВАХ путём пропускания тока I_F через ПП и измерения значений U_F на внешних контактах, которые при токах от $0,1 I_{F[AV]}$ и выше достаточно существенно отличаются от значений напряжения на самих полупроводниковых структурах ПП. Это обусловлено дополнительным падением напряжения на сопротивлениях подводящих контактов (рисунок 2). В связи с этим оценка T_j по параметрам ВАХ будет завышена.

2. На точность определения ТКН практически не оказывает влияние ΔT_j , но существенно влияет величина I_F . При этом с учетом данных, приведённых на рисунках 2 и 4, для наиболее точного определения ТКН необходимо выбирать значения тестового прямого тока $I_{F[test]}$ от 1 мА до 100 мА. Таким образом, можно рекомендовать выбор значений $I_{F[test]}=(0,001-0,01) I_{F[AV]}$.

Заключение. Полученные результаты моделирования в дальнейшем будут использованы при разработке экспресс-метода и аппаратуры для определения ряда электрических, тепловых характеристик и теплового сопротивления ПП.

Список литературы

1. Беспалов Н.Н. Моделирование и исследование параметров прямых вольт-амперных характеристик диодных структур микросхемы КТ101. / Н. Н. Беспалов, Ю. В. Горячкин, К. Ю. Панькин // Научно-технический вестник Поволжья. – 2018. – Вып. 5. – С. 109-112.
2. Горячкин Ю.В. Моделирование и исследование параметров прямых вольт-амперных характеристик силового диода. / Ю. В. Горячкин, Н. Н. Беспалов, К. Ю. Панькин, П. М. Демкин, Д. С. Кондрашин // Научно-технический вестник Поволжья. – 2019. – Вып. 7. – С. 95-98.
3. Беспалов Н.Н. Исследование температурного коэффициента напряжения силового диода штыревой конструкции при малых токах. / Н. Н. Беспалов, Ю. В. Горячкин, К. Ю. Панькин, И. О. Бектяшкин, Е. С. Безбородов // XLVIII Огаревские чтения: материалы науч. конф.: в 3 ч. Ч. 1: Технические науки. – Саранск: Мордов. гос. ун-т, 2020. – С. 32-36.
4. Technology Computer Aided Design (TCAD). – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.synopsys.com/silicon/tcad.html>.

05.13.18

И.Н. Бояршинова, В.С. Хусаинов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
факультет прикладной математики и механики,
кафедра вычислительной математики, механики и биомеханики,
Пермь, irina.boyarshinova@gmail.com

ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ВЕСА

Статья содержит материалы, посвященные развитию и расширению области применения двухэтапной методики оптимального проектирования конструкций, представленной в работах [1 – 3]. Методика реализована для задачи оптимального проектирования, которая была предложена участникам конкурса, организованного в рамках проекта GenerationS.

Решение проводилось при помощи пакетов прикладных программ SolidThinking Inspire (топологическая оптимизация), ANSYS workbench, а также написанной на языке Python программы, реализующей алгоритм метода Хелдера-Мида (параметрическая оптимизация), позволяющая проводить расчеты совместно с ANSYS workbench.

Применение предложенной методики ведет к существенной экономии затрат на материалы и проектирование. Кроме того, полученную конструкцию можно изготовить не только при помощи аддитивных технологий, но и традиционными методами.

Ключевые слова: *оптимальное проектирование, двухэтапная методика, топологическая оптимизация, параметрическая оптимизация, метод Хелдера-Мида.*

Сегодня, когда важнейшую роль играют новые технологии производства, в числе которых – цифровое моделирование и проектирование, технологии оптимизации и аддитивные технологии производства из новых материалов, большое значение приобретает выбор методов оптимального проектирования конструкций.

В рамках развития двухэтапной методики оптимального проектирования конструкций, предложенной в статьях [1 – 3], а также расширения сферы её применения в данной работе она использована для оптимизации реальной конструкции.

Методика реализована для задачи оптимального проектирования, которая была предложена участникам конкурса, организованного в рамках проекта GenerationS. Необходимо было решить задачу оптимизации по массе кронштейна для НПО “Сатурн” с возможностью дальнейшего производства изделия с помощью аддитивных технологий.

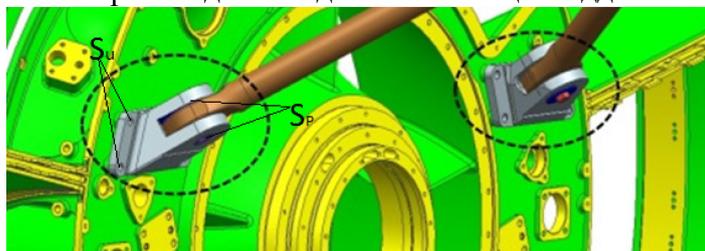


Рис. 1 – Схема конструкции

Целью работы является определение формы и размеров кронштейна, представленного на рисунке 1, при которых может быть достигнуто существенное снижение массы, а напряжения не будут превышать заданного уровня. Кронштейн закреплен в зоне постановки болтов соединения с корпусом. Нагрузка действует вдоль тяги. В расчет были взяты эксплуатационная нагрузка 141250Н и предельная – 161250Н. Материал кронштейна – нержавеющая сталь, имеющая характеристики: модуль Юнга – $2 \cdot 10^{11}$ Па, коэффициент Пуассона – 0.3, плотность – 7850 кг/м^3 , предел упругости – $1.17 \cdot 10^9$ Па, предел прочности – $1.31 \cdot 10^9$ Па. Первоначальный вес кронштейна – 3,13 кг.

Предложенная ранее авторами методика [1 – 3] заключается в последовательном применении методов топологической [1, 2, 4] и параметрической оптимизации [2, 3] к заготовке детали. При этом используются возможности обоих методов и обходятся некоторые недостатки, присущие каждому из них.

Для поиска оптимальной формы конструкции на первом этапе методика предусматривает постановку и решение задачи топологической оптимизации, цель которой – поиск формы конструкции минимальной податливости (целевая функция) при заданном весе (ограничение задачи).

Решение проводилось в пакете SolidThinking Inspire. В качестве заготовки использована данная организаторами конкурса форма кронштейна, показанная на рис.1.

На рис.2 представлена конструкция после этапа топологической оптимизации при сохранении 20% от первоначального объема. При таком остаточном объеме сплошность конструкции не нарушается.

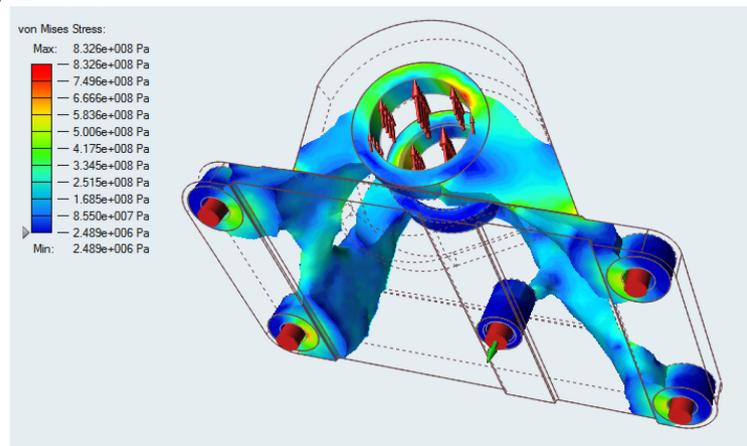


Рис. 2 – Результат топологической оптимизации при 20% от исходного объема конструкции

На основании анализа результатов, полученных в ходе топологической оптимизации, построена модель конструкции для второго этапа – параметрической оптимизации [1, 2]. Построение проводилось в пакете ANSYS workbench. Расчетная схема новой «исходной» конструкции представлена на рис. 3.

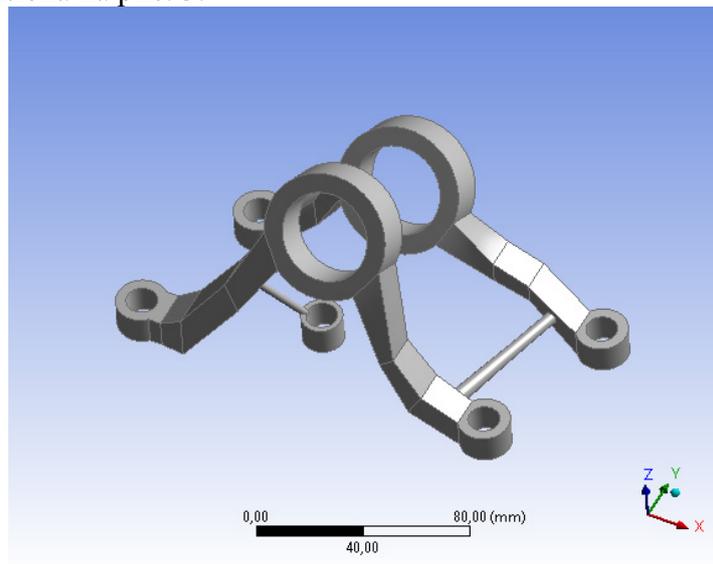


Рис. 3 – Расчетная схема для проведения параметрической оптимизации

Целью параметрической оптимизации является минимизация веса изделия (целевая функция или критерий оптимизации). Параметрами оптимизации выступают геометрические размеры элементов построенной конструкции. Ограничения накладываются на параметры оптимизации и на прочность при заданных эксплуатационных и предельных нагрузках.

Кроме того, в качестве ограничений в задаче параметрической оптимизации должны выполняться уравнения прямой задачи теории упругости.

В работе на этапе параметрической оптимизации используется метод Нелдера-Мида [3, 4] с учетом ограничений задачи при помощи штрафной функции. Метод ввиду слабой чувствительности к размерности задач даёт возможность оптимизировать конструкции с большим числом параметров. Для реализации алгоритма Нелдера-Мида была создана специальная программа на языке Python, позволяющая проводить построения и расчёты совместно с пакетом ANSYS workbench.

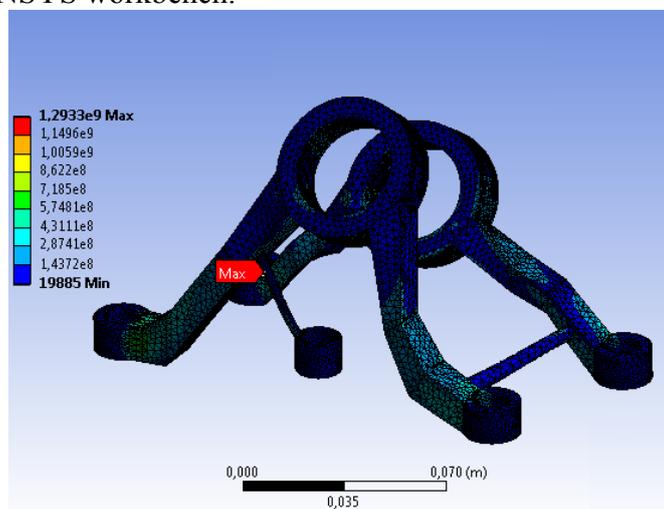


Рис. 4 – Конструкция и эквивалентные напряжения после параметрической оптимизации

В результате двух этапов оптимизации получена конструкция кронштейна, масса которого составляет 0,607 кг. Эквивалентные напряжения не превышают заданных ограничений по прочности. Время компьютерных расчетов составило 2,5 часа при 16 параметрах оптимизации (0,598 кг при 44 параметрах и времени счета – 5,5 часов).

Для конструкций, представленных на конкурс, одним из условий было последующее производство при помощи аддитивных технологий. Однако, пока еще аддитивные технологии не получили всеобщего широкого применения, остаются вопросы сертификации материалов и изготовленных аддитивными методами конструкций, а также проблемы себестоимости таких изделий.

Кронштейн, конструкция которого получена при помощи двухэтапной методики оптимального проектирования, в отличие от представленных на конкурс, может быть изготовлен традиционными методами.

Разработанная методика оптимального проектирования конструкций с целью снижения веса позволяет экономить затраты как на этапе проектирования, так и на этапе производства конструкций.

Список литературы

1. Бояришинова И.Н., Бекмансуров М.Р. Оптимальное проектирование деталей рамных конструкций // Научно-технический вестник Поволжья. 2018. № 11. С. 102-105.
2. Бояришинова И.Н., Ильиных М.С. Двухэтапная методика оптимального проектирования деталей с целью снижения веса // Научно-технический вестник Поволжья. 2018. № 11. С. 106-110.
3. Bekmansurov M.R. and Boyarshinova I.N. Methods of Designing and Optimizing Constructs to Reduce Weight // Lecture Notes in Mechanical Engineering: Proceedings of the 6th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2020)/ Ed.: A. A. Radionov, V. R. Gasiyarov; Springer, Switzerland AG 2021. – Vol.1, P. 294-302.
4. Кротких А.А., Максимов П.В. Исследование и модификация метода топологической оптимизации SIMP // Международный научно- исследовательский журнал. 2017. № 1-4 (55). С. 91-94.

05.13.18

С.Г. Буланов канд. техн. наук

Таганрогский институт имени А.П. Чехова (филиал)
Ростовского государственного экономического университета,
кафедра информатики,
Таганрог, bulanovtgp@mail.ru

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ С НЕЛИНЕЙНОЙ ДОБАВКОЙ

Представлены критерии устойчивости систем линейных обыкновенных дифференциальных уравнений с нелинейной добавкой. Критерии получены на основе матричных мультипликативных преобразований разностных схем численного интегрирования. Вычисление возмущенного и невозмущенного решения, входящего в конструкцию критериев, на основе метода варьируемого кусочно-интерполяционного приближения повышает достоверность анализа устойчивости и расширяет диапазон исследования.

Ключевые слова: *устойчивость по Ляпунову, компьютерный анализ устойчивости.*

Анализ устойчивости в смысле Ляпунова систем линейных обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) с нелинейной добавкой требуется проводить в различных областях науки и техники, при управлении технологическими процессами, моделировании управления движением роботов, создании авиационных и строительных конструкций. В частности к исследованию таких систем сводится задача движения механической системы с несколькими степенями свободы в окрестности нуля фазового пространства состояний при постоянно действующих малых возмущениях [1]. Кроме того к исследованию устойчивости систем ОДУ данного вида сводится анализ устойчивости нелинейных систем в рамках первого метода Ляпунова и подходов, основанных на линеаризации.

В статье предлагается подход к анализу устойчивости систем линейных ОДУ с нелинейной добавкой на основе мультипликативных преобразования разностных схем численного интегрирования [2]. На этой основе строятся критерии устойчивости в виде необходимых и достаточных условий. Для вычисления возмущенного и невозмущенного решений, входящих в конструкцию критериев применяется метод варьируемого кусочно-интерполяционного приближения [3].

Рассматривается задача Коши для системы

$$\begin{cases} \frac{dY}{dt} = A(t)Y + F(t, Y), \\ Y(t_0) = Y_0, \end{cases} \quad (1)$$

где Y – вектор-функция с координатами y_1, y_2, \dots, y_n от независимой переменной t ; элементы матрицы $A(t)$ и координаты нелинейной вектор-функции $F(t, Y)$ определены, непрерывны и непрерывно дифференцируемы на отрезке $[t_0, T]$, при любом выборе $T = \text{const}$, $T \in [t_0, \infty)$; $Y(t_0) = Y_0$ – начальный вектор. Предполагается, что существует $\delta > 0$, такое, что на полупрямой $[t_0, \infty)$ выполнены все условия существования и единственности для невозмущенного решения и для каждого его возмущения $Y = \tilde{Y}(t)$, $Y(t_0) = \tilde{Y}_0$, удовлетворяющего условию $\|\tilde{Y}_0 - Y_0\| \leq \delta$.

Для $\forall t \in [t_0, T]$ разность между возмущённым и невозмущённым решением системы (1) имеет вид точного равенства:

$$\tilde{Y}(t) - Y(t) = \lim_{i \rightarrow \infty} \prod_{\ell=0}^i (E + h A(t_{i-\ell})) (\tilde{Y}_0 - Y_0) + \lim_{i \rightarrow \infty} D_{Ei} + \lim_{i \rightarrow \infty} S_{Ei}$$

$$D_{Ei} = \sum_{r=1}^i \prod_{\ell=0}^{i-r} (E + h A(t_{i-\ell})) h (F(t_{r-1}, \tilde{Y}_{r-1}) - F(t_{r-1}, Y_{r-1})) + h (F(t_i, \tilde{Y}_i) - F(t_i, Y_i))$$

где

$$S_{Ei} = \sum_{r=1}^i \prod_{\ell=0}^{i-r} (E + h A(t_{i-\ell})) Q_{E r-1} + Q_{Ei}$$

, Q_{Ei} – погрешность метода Эйлера на шаге. В [2]

установлено, что в рассматриваемых условиях $\lim_{i \rightarrow \infty} S_{Ei} = \vec{0}$.

Переменные t , h , i предполагаются связанными соотношениями $t = t_{i+1}$, $h = \frac{t_{i+1} - t_0}{i+1}$, $i = 0, 1, \dots$.

Критерии устойчивости и асимптотической устойчивости системы (1) формулируются в предположении, что устойчива (асимптотически устойчива) соответствующая (1) линейная система ОДУ.

Теорема 1. В рассматриваемых условиях для устойчивости решения задачи (1) необходимо и достаточно, чтобы для произвольного $\varepsilon > 0$ нашлось $\Delta_1 > 0$, $\Delta_1 < \delta$ такое, что при $\|\tilde{Y}_0 - Y_0\| \leq \Delta_1$ выполнялось неравенство

$$\left\| \tilde{Y}(t) - Y(t) - \lim_{i \rightarrow \infty} \prod_{\ell=0}^i (E + h A(t_{i-\ell})) (\tilde{Y}_0 - Y_0) \right\| \leq \varepsilon \quad (2)$$

Относительно асимптотической устойчивости имеют место следующее утверждение.

Теорема 2. Решение задачи (1) асимптотически устойчиво тогда и только тогда, когда выполняется утверждение теоремы 1 и существует $\Delta_2 > 0$, $\Delta_2 < \Delta_1$, такое, что при $\|\tilde{Y}_0 - Y_0\| \leq \Delta_2$ выполняется соотношение

$$\left\| \tilde{Y}(t) - Y(t) - \lim_{i \rightarrow \infty} \prod_{\ell=0}^i (E + h A(t_{i-\ell})) (\tilde{Y}_0 - Y_0) \right\| \rightarrow 0 \quad (3)$$

Вычисление возмущенного и невозмущенного решения в (2), (3) выполняется на основе кусочно-интерполяционного приближения полиномами Лагранжа [3], преобразованными к форме полинома с числовыми коэффициентами. В этом заключается одно из отличий анализа устойчивости на основе критериев (2), (3) от ранее проводимого в [2].

Полученные приближенные значения возмущенного и невозмущенного решения оказываются существенно точнее, чем на основе разностных методов. Кроме того значительно сокращаются временные затраты необходимые на нахождение решений. Это в частности позволяет выполнять анализ устойчивости систем вида (1) на промежутках значительно большей длины, чем в [2] и выявлять асимптотические свойства исследуемого решения.

В среде программирования Delphi написана программа, реализующая конструкцию критериев, инвариантная относительно правой части системы. Результатом работы программы является вывод нормы выражения из левой части критериев. По характеру поведения этой нормы делается вывод об устойчивости решения исследуемой системы. Ограниченные изменения значений нормы соответствуют устойчивости, неограниченный рост свидетельствует о неустойчивости, монотонное стремление к нулю является признаком асимптотической устойчивости. Анализ устойчивости, проводимый на этой основе, приводит к достоверным оценкам характера устойчивости систем ОДУ.

Рассмотрим систему линейных ОДУ с нелинейной добавкой

$$y_1' = -y_1 - 2y_2 + y_1^2 y_2^2, \quad y_2' = y_1 - 0.5y_2 - 0.5y_1^3 y_2. \tag{4}$$

Ставится задача выполнить анализ устойчивости нулевого решения системы (4) на основе критериев (2), (3) и сопоставить результаты с оценкой устойчивости, полученной на основе функции Ляпунова.

Первоначально выполняется анализ устойчивости линейной системы ОДУ, соответствующей (4) на основе критерия устойчивости

$$\left\| \lim_{i \rightarrow \infty} \prod_{\ell=0}^i (E + h A(t_{i-\ell})) \right\| \leq c = \text{const} \quad \forall t \in [t_0, \infty)$$

и асимптотической устойчивости

$$\left\| \lim_{t \rightarrow \infty} \lim_{i \rightarrow \infty} \prod_{\ell=0}^i (E + h A(t_{i-\ell})) \right\| \rightarrow 0 \tag{5}$$

Эксперимент проводился с помощью ПК на базе процессора Intel(R) Core(TM) i5-4460.

Таблица 1 – Результаты анализа устойчивости линейной системы соответствующей (4) на промежутке $[0, 10^4]$, с шагом $h = 10^{-5}$

<i>t</i>	10^3	2×10^3	3×10^3	4×10^3	5×10^3
<i>norma</i>	2.406×10^{-326}	5.312×10^{-652}	1.100×10^{-977}	2.159×10^{-1303}	4.025×10^{-1629}
<i>t</i>	6×10^3	7×10^3	8×10^3	9×10^3	10^4
<i>norma</i>	7.105×10^{-1955}	1.536×10^{-2280}	3.264×10^{-2606}	6.550×10^{-2932}	1.248×10^{-3257}

Значения нормы выражения из левой части (5) стремятся к нулю, что является признаком асимптотической устойчивости линейной системы соответствующей (4). Далее на основе критериев (2), (3) выполняется анализ устойчивости системы (4). Результаты приводятся в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты анализа устойчивости системы (4) на промежутке $[0, 10^4]$, с шагом $h = 10^{-5}$

<i>t</i>	10^3	2×10^3	3×10^3	4×10^3	5×10^3
<i>norma</i>	2.223×10^{-331}	4.642×10^{-657}	9.210×10^{-983}	1.743×10^{-1308}	3.145×10^{-1634}
<i>t</i>	6×10^3	7×10^3	8×10^3	9×10^3	10^4
<i>norma</i>	6.057×10^{-196}	1.395×10^{-2285}	2.994×10^{-2611}	6.077×10^{-2937}	1.175×10^{-3262}

Значения нормы выражения из критерия (3) стремятся к нулю, что свидетельствует об асимптотической устойчивости нулевого решения системы (4). Время работы программы составило 7.382 с.

Выполним анализ устойчивости системы (4) на основе второго метода Ляпунова. Будем искать функцию Ляпунова в виде $V = ay_1^2 + by_2^2$, $a, b > 0$. Производная функции V по

времени соответственно равна $\frac{dV}{dt} = -(2ay_1^2 + by_2^2) + (2y_1 y_2 - y_1^3 y_2^2)(b - 2a)$. При $b = 2a$

функция $V = ay_1^2 + 2ay_2^2$ определенно-положительная, а ее производная $\frac{dV}{dt}$ определенно-отрицательная. Следовательно, нулевое решение системы (4) асимптотически устойчиво. Таким образом, результаты анализа устойчивости на основе критериев (2), (3) тождественны оценке устойчивости, полученной с помощью второго метода Ляпунова.

Предложенный подход может служить альтернативой методам качественной теории дифференциальных уравнений. Компьютеризация представленных критериев влечет возможность анализа устойчивости систем ОДУ в режиме реального времени.

Список литературы

1. Мельников Г.И., Мельников В.Г., Дударенко Н.А., Талапов В.В. Устойчивость движения нелинейных динамических систем при постоянно действующих возмущениях // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2019. – Т. 19., № 2. – С. 216-221.
2. Ромм Я.Е., Буланов С.Г. Компьютерный анализ устойчивости по Ляпунову систем линейных дифференциальных уравнений. – Таганрог: Изд-во Таганрог. гос. пед. ин-та им. А.П. Чехова, 2012. – 148 с.
3. Ромм Я.Е., Джануң Г.А. Кусочная интерполяция функций, производных и интегралов с приложением к решению обыкновенных дифференциальных уравнений // Современные наукоемкие технологии. – 2020. – № 12 (часть 2). – С. 291-316.

05.13.18

Е.С. Гольцов, Н.М. Труфанова д-р техн. наук

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет,
кафедра конструирования и технологии в электротехнике,
Пермь, evgeny.goltsov@yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ПРОЦЕСС ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА ПРИ СИЛАНОВОЙ СШИВКЕ

В работе разработана нестационарная двумерная математическая модель процессов теплопереноса в ванне с кабелем и двухкомпонентной средой - пар-вода. В результате исследования были получены векторные поля скоростей, поля температур и распределения фаз в силанольной ванне. Определено влияние физических и геометрических параметров на процесс теплопереноса для различных маркоразмеров, длин заготовки, размеров барабанов и конструкций.

Ключевые слова: *модель volume of fluid, силановая сшивка, теплоперенос, пар, вода, математическая модель.*

В настоящее время в современном мире возрастает интерес к использованию силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена, которые находят широкое применение в системах распределения электрической энергии всех классов напряжения. Эта тенденция обусловлена возрастающими требованиями к эксплуатационным характеристикам кабелей. Одним из широко используемых изоляционных материалов является полиэтилен – полимер, обладающий хорошими механическими и диэлектрическими свойствами, теплостоек и морозостоек. Для придания полиэтилену особых свойств (повышенная механическая прочность, химическая и температурная устойчивость) применяется сшивка. Технологический процесс кабеля с силаносшиваемой изоляцией выглядит следующим образом: на токопроводящую жилу методом экструзии наносится изоляция из силаносшиваемого полиэтилена, затем изолированная жила наматывается на барабан, который на следующем этапе производства помещается в ванну с водой с температурой 90 С, где выдерживается с заданным промежутком времени. Для различных маркоразмеров, длин заготовки, размеров барабанов и конструкций необходимо определять время выдержки, параметры технологического режима - температуру подаваемого пара и величину расхода пара с учетом объема воды в вулканизационной ванне. Таким образом, возникает необходимость в разработке математической модели процессов, протекающих при силановой сшивке изоляции в вулканизационной ванне.

Целью исследования является создание математической модели процесса теплопереноса для силановой сшивки изоляции кабеля в ванне, наполненной горячей водой с непрерывной подачей перегретого пара. Определение времени нагрева изоляции для различных маркоразмеров, длин заготовок, размеров барабанов и конструкций.

Рассмотрена нестационарная двумерная математическая модель, процессов теплопереноса в ванне с кабелем и двухкомпонентной средой - пар-вода с использованием модели volume of fluid. На рис. 1 приведена геометрия рассматриваемого объекта.

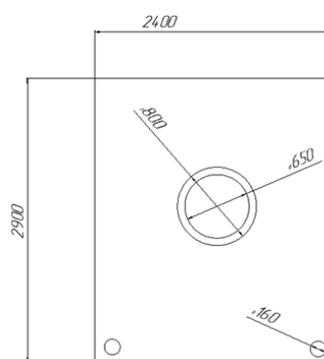


Рис. 1 – Двумерная математическая модель

При создании математической модели были сделаны допущения, заданы начальные и граничные условия, используемые в статье [1].

Математическая модель, описывающая процессы тепломассообмена, основывается на уравнениях баланса фаз, количества движения, энергии, масс для турбулентного течения [2]. С учетом сделанных допущений система дифференциальных уравнений имеет вид:

Уравнение баланса фаз:

$$\frac{1}{\rho_q} \left[\frac{\partial}{\partial t} (a_q \rho_q) + \nabla (a_q \rho_q \bar{v}_q) \right] = S_{aq} + \sum_{p=1}^n (m_{pq} - m_{qp}) \quad (1)$$

Уравнение моментов:

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} (\rho \bar{v}) + \nabla (\rho \bar{v} \bar{v}) \right) = -\nabla p + \nabla (\mu (\nabla \bar{v} + \nabla \bar{v}^{-T})) + \rho \bar{g} + \bar{F} \quad (2)$$

Уравнение энергии:

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} (\rho_{1,2,3,4} E) + \nabla (\bar{v} (\rho_{1,2,3,4} E + p)) \right) = \nabla (k_{eff} \nabla T) + b S_h \quad (3)$$

Уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial \rho_{1,2} \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial \rho_{1,2} \bar{u}_i \bar{u}_j}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{\rho}_{1,2}) + \frac{2}{3} \left(\rho_{1,2} k + (\mu + \mu_t) \frac{\partial \bar{u}_k}{\partial x_k} \right) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\mu + \mu_t) \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \quad (4)$$

Уравнение переноса для кинетической энергии турбулентности k :

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\left(\mu + \frac{\mu_{1,2}}{\delta_k} \right) \frac{k}{\partial x_i} \right) + G_k + G_b - p \varepsilon - Y_M + S_k \quad (5)$$

Уравнение переноса для скорости диссипации кинетической энергии турбулентности ε [3]:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\left(\mu + \frac{\mu_{1,2}}{\delta_k} \right) \frac{\varepsilon}{\partial x_i} \right) + p C_1 S \varepsilon - p C_2 \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{v \varepsilon}} + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} C_{3\varepsilon} G_b + S_\varepsilon \quad (6)$$

Турбулентная вязкость определяется по закону:

$$\mu_t = p C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (7)$$

Плотность воды определяется законом:

$$\rho_w(T) = \rho_0 [1 - \beta_w (T - T_0)] \quad (8)$$

где индексы 1,2,3,4-вода, пар, барабан, монолитный материал; v – вектора скорости; μ_w – динамическая вязкость воды, Па·с; β – температурный коэффициент плотности воздуха; g – ускорение свободного падения м/с²; m_{ij} – массоперенос от фазы i к фазе j ; G_k – генерация кинетической энергии из-за счёта градиента скорости; G_b – генерация кинетической энергии турбулентности за счёт плавучести; S_{aq} – источник массы; S_h – источник тепла; h – энтальпия; k_{eff} – эффективная проводимость.

Для описания положения границы раздела пар – воздух используется модель VOF (volume of fluid), для описания турбулентного течения привлекается классическая k -модель.

Рассмотрим температурные поля, поля распределения фаз и векторное поле скоростей исследуемых зон для модели при выходе на стационарный режим (рис.2).

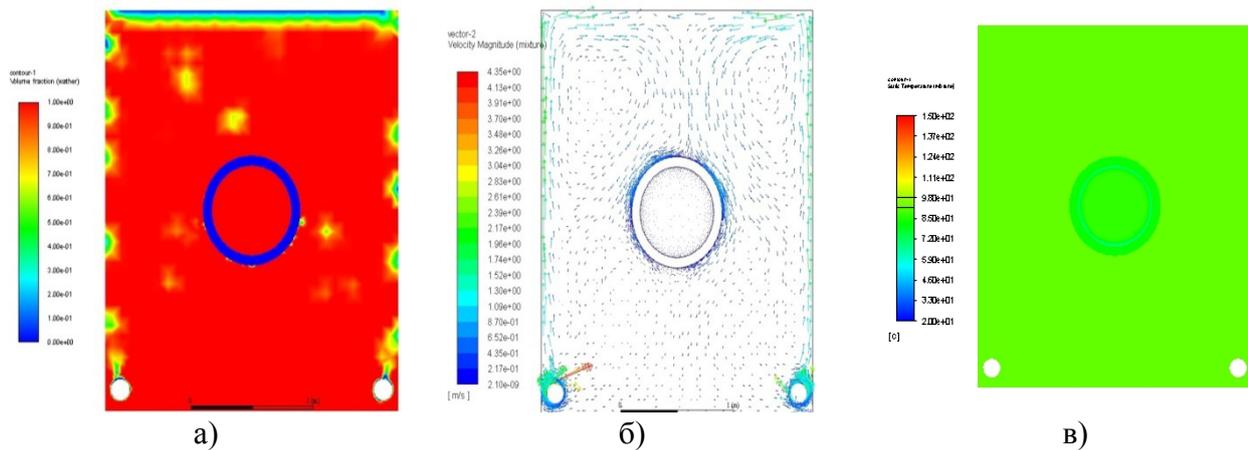


Рис. 2 – а) Поле распределения фаз после двух часов нагрева (выход на стационарный режим); б) Векторное поле скоростей после двух часов нагрева; в) Температурное поле после двух часов нагрева (выход на стационарный режим)

Анализируя поля распределения фаз видно, что из труб под давлением выходит пар. Далее он передвигается в воде в виде пузырьков, таким образом, нагревая воду. Пузырьки пара осаждаются на стенке ванны, поскольку пар подаётся по краям ванны, а не по всей площади дна (Рис.2.а). Анализ поля скоростей позволил определить характер движения сред в ванне, представляющий собой вихревые потоки, приводящие к интенсивному конвективному теплообмену (Рис.2.б). Температурное поле после выхода на стационарный режим достаточно однородно, при этом вода нагрелась до 93°C, а кабель до 85°C.

В табл. приведены исследования влияния различных параметров на процесс теплопереноса в ванне после 2 часов нагрева.

Таблица – Исследование влияния параметров на нагрев изоляции

Параметр	Толщина кабельного изделия, мм			Температура воды, °C			Температура пара, °C			Количество барабанов в ванне			Высота ванны, мм		
	90	180	300	70	80	90	100	150	200	1	2	3	2000	2700	3000
Скорость нагрева, °C/мин	0.75	0.7	0.6	0.6	0.62	0.7	0.6	0.7	0.75	0.7	0.69	0.68	0.69	0.7	0.72
Температура кабеля, °C	90	85	80	65	75	85	80	85	90	85	83	82	83	85	87

Анализируя таблицу можно заметить, что при увеличении высоты кабельного изделия скорость нагрева уменьшается. что обусловлено увеличением массы изделия. Изменение температуры воды серьёзно влияет на нагрев кабеля.это связано с тем.что при разной температуры воды в начальный момент времени. паровой двигатель не успевает нагреть её до нужной. Увеличение температуры пара приводит к резкому повышению скорости нагрева и температуры кабеля.Изменение количества барабанов в ванне незначительно влияет на скорость нагрева и температуру. поэтому лучше использовать несколько барабанов для увеличения производительности производства.Увеличение размеров ванны приводит к лучшей скорости нагрева.

Таким образом, в работе были разработаны математические модели процесса тепломассопереноса в ванне между кабелем и двумя средами пар и вода с использованием VOF модели. Построены и проанализированы поля температур, скоростей фаз в исследуемых моделях. Исследовано влияние геометрических и физических характеристик на величину температуры в центре изоляции.

Список литературы

1. *Гольцов Е.С., Дятлов И.Я., Труфанова Н.М.* Моделирование процесса теплообмена при силановой сшивке в двухкомпонентной среде «вода-газ» с применением модели volume of fluid // Вестник Пермского Национального Исследовательского Политехнического Университета, №36, г. Пермь, 2020г.
2. *Mohamed A.L., El-Naggar M.E., Shaheen T.I., Hassabo A.G.* Laminating of chemically modified silan based nanosols for advanced functionalization of cotton textiles // International Journal of Biological Macromolecules. 2017. Т. 95. С. 429-437.
3. *Костарев Н.А., Труфанова Н.М.* Исследование процессов тепломассопереноса в нефтяной скважине с учетом процесса парафинообразования // Автоматизированные системы управления и информационные технологии: материалы всерос. науч.-техн. конф.: в 2 т. - Пермь, 2017. - Т. 2. - С. 136-142.

05.13.18

В.А. Егоров канд. техн. наук, Д.С. Попов

Комсомольский-на-Амуре государственный университет,
факультет энергетики и управления,
кафедра электропривода и автоматизации промышленных установок,
Комсомольск-на-Амуре, egoroff_v@list.ru, daniil-popov-1997@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕАБИЛИТАЦИОННОГО ЭКЗОПРОТЕЗА НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА

В работе описана математическая модель экзопротеза нижних конечностей человека, полученная при помощи уравнения Лагранжа.

Ключевые слова: Математическая модель, реабилитационный экзопротез, уравнение Лагранжа.

В связи с улучшением уровня жизни, в развитых странах мира растет продолжительность жизни населения. Увеличивается количество пожилых людей. В связи с возрастными особенностями организма, скелет пожилого человека становится менее прочным, а кости, в случае травм, плохо срастаются. Подобные травмы, и в частности травмы нижних конечностей, в пожилом возрасте могут стать причиной глубокой инвалидизации или даже смерти человека. Пожилые пациенты с травмами нижних конечностей нуждаются в длительной реабилитации, в частности с применением специальных технических средств – экзопротезов.

Экзопротез [1], [4] представляет собой техническое устройство, берущее на себя часть нагрузки травмированной конечности и обеспечивающее активность травмированной конечности на этапе реабилитации пациента.

Кинематическая схема реабилитационного экзопротеза нижних конечностей человека показана на рисунке 1.

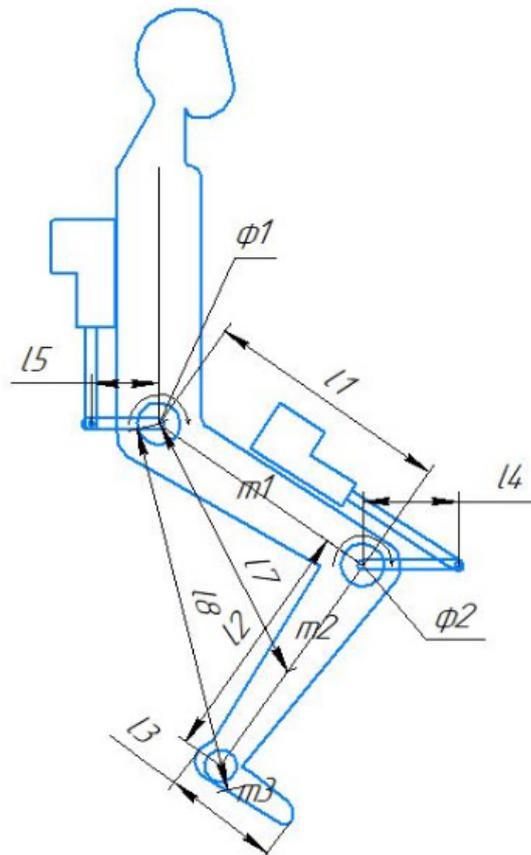


Рис. 1 – Кинематическая схема реабилитационного экзопротеза нижних конечностей человека

Экзопротез имеет две вращательные степени подвижности φ_1 - бедро и φ_2 - голень. Вращательное движение обеспечивается за счет приводов на основе пары винт-гайка, закреплённых соответственно на туловище и бедре.

Параметры системы экзопротез-пациент: m_1, l_1 – масса и длина бедра; m_2, l_2 – масса и длина голени; m_3, l_3 – масса и длина стопы (стопа неподвижна относительно голени); l_5, l_4 – плечи, к которым, прикладывается усилие привода; $l_7 = \sqrt{l_1^2 + l_2^2/4 - l_1 \cdot l_2 \cdot \cos(\pi - \varphi_2)}$ – плечо, между осью φ_1 и центром масс голени;

$l_8 = \sqrt{l_1^2 + l_6^2/4 - l_1 \cdot l_6 \cdot \cos(\pi + \gamma - \varphi_2)}$ – плечо, между осью φ_1 и центром масс стопы, где $l_6 = \sqrt{l_2^2 + (l_3/2)^2}$ – плечо, между осью φ_2 и центром масс стопы, $\gamma = \arctg(l_3/(2 \cdot l_2))$ – угол между l_6 и l_2 .

Уравнение Лагранжа [2]:

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

где \dot{q}_i и q_i – скорость и положение i -й координаты; $L = E_k - E_n$ – функция Лагранжа; Q_i – i -я составляющая вектора сил/моментов, приводящих систему в движение.

Кинетическая энергия механизма (ось φ_1):

$$E_{k\varphi_1} = \frac{J_{m_1\varphi_1} \cdot \dot{\varphi}_1^2}{2} + \frac{J_{m_2\varphi_1} \cdot \dot{\varphi}_1^2}{2} + \frac{J_{m_3\varphi_1} \cdot \dot{\varphi}_1^2}{2} = \frac{m_1 l_1^2}{6} \dot{\varphi}_1^2 + \frac{m_2}{2} \left(l_1^2 + \frac{l_2^2}{4} - l_1 l_2 \cos(\pi - \varphi_2) \right) \dot{\varphi}_1^2 + \frac{m_3}{2} \left(l_1^2 + \frac{l_6^2}{4} - l_1 l_6 \cos(\pi + \gamma - \varphi_2) \right) \dot{\varphi}_1^2 = [a_0 + a_1 \cos(\varphi_2) + a_2 \cos(\varphi_2 - \gamma)] \dot{\varphi}_1^2,$$

где

$$a_0 = \frac{m_1 l_1^2}{6} + \frac{m_2}{2} \left(l_1^2 + \frac{l_2^2}{4} \right) + \frac{m_3}{2} \left(l_1^2 + \frac{l_6^2}{4} \right); \quad a_1 = \frac{m_2 l_1 l_2}{2}; \quad a_2 = \frac{m_3 l_1 l_6}{2}.$$

Кинетическая энергия механизма (ось φ_2):

$$E_{k\varphi_2} = \frac{J_{m_2\varphi_2} \cdot \dot{\varphi}_2^2}{2} + \frac{J_{m_3\varphi_2} \cdot \dot{\varphi}_2^2}{2} = \frac{m_2 l_2^2 \cdot \dot{\varphi}_2^2}{6} + \frac{m_3 l_6^2 \dot{\varphi}_2^2}{2} = \frac{m_2 l_2^2 + 3m_3 l_6^2}{6} \dot{\varphi}_2^2 = b_0 \dot{\varphi}_2^2,$$

где

$$b_0 = \frac{m_2 l_2^2 + 3m_3 l_6^2}{6}.$$

Тогда, функция Лагранжа будет иметь вид:

$$L = E_{k\varphi_1} + E_{k\varphi_2} = [a_0 + a_1 \cos(\varphi_2) + a_2 \cos(\varphi_2 - \gamma)] \dot{\varphi}_1^2 + b_0 \dot{\varphi}_2^2.$$

Дифференцирование лагранжиана по скоростям $\dot{\varphi}_1$ и $\dot{\varphi}_2$ [3], позволяет получить:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial \dot{\varphi}_1} &= 2a_0 \dot{\varphi}_1 + 2a_1 \cos(\varphi_2) \dot{\varphi}_1 + 2a_2 \cos(\varphi_2 - \gamma) \dot{\varphi}_1; \\ \frac{\partial L}{\partial \dot{\varphi}_2} &= 2b_0 \dot{\varphi}_2. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Дифференцирование уравнений (1) по времени [3], даёт:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\varphi}_1} \right) &= 2[a_0 + a_1 \cos(\varphi_2) + a_2 \cos(\varphi_2 - \gamma)] \ddot{\varphi}_1 - \\ &\quad - 2[a_1 \sin(\varphi_2) - a_2 \sin(\varphi_2 - \gamma)] \dot{\varphi}_1 \dot{\varphi}_2; \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\varphi}_2} \right) &= 2b_0 \ddot{\varphi}_2. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Дифференцирование лагранжиана по углам φ_1 и φ_2 [3]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial \varphi_1} &= 0; \\ \frac{\partial L}{\partial \varphi_2} &= -[a_1 \sin(\varphi_2) \dot{\varphi}_1^2 \dot{\varphi}_2 + a_2 \sin(\varphi_2 - \gamma) \dot{\varphi}_1^2 \dot{\varphi}_2]. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

С учетом (2) и (3), система уравнений Лагранжа для механизма конечности реабилитационного экзопротеза примет в вид:

$$\left. \begin{aligned} &2[a_0 + a_1 \cos(\varphi_2) + a_2 \cos(\varphi_2 - \gamma)]\ddot{\varphi}_1 - \\ &-2[a_1 \sin(\varphi_2) + a_2 \sin(\varphi_2 - \gamma)] \cdot \dot{\varphi}_1 \dot{\varphi}_2 = M_{\varphi_1}; \\ &2b_0\ddot{\varphi}_2 + [a_1 \sin(\varphi_2) + a_2 \sin(\varphi_2 - \gamma)]\dot{\varphi}_1^2 \dot{\varphi}_2 = M_{\varphi_2}, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где M_{φ_1} и M_{φ_2} – моменты на осях φ_1 и φ_2 , приводящие систему в движение. Запись уравнений (4) относительно угловых ускорений, позволяет получить:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{\varphi}_1 &= \frac{1}{J_1(\varphi_2)} \cdot [M_{\varphi_1} + 2K(\varphi_2)\dot{\varphi}_1 \dot{\varphi}_2]; \\ \ddot{\varphi}_2 &= \frac{1}{J_2} [M_{\varphi_2} - K(\varphi_2)\dot{\varphi}_1^2 \dot{\varphi}_2], \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где

$$\begin{aligned} J_1(\varphi_2) &= 2(a_0 + a_1 \cos(\varphi_2) + a_2 \cos(\varphi_2 - \gamma)); \\ K(\varphi_2) &= a_1 \sin(\varphi_2) + a_2 \sin(\varphi_2 - \gamma); \quad J_2 = 2b_0. \end{aligned}$$

Моменты на осях φ_1 и φ_2 в зависимости от усилий на штоках приводов $F_{\pi 1}$ и $F_{\pi 2}$:

$$\left. \begin{aligned} M_{\varphi_1} &= F_{\pi 1} \cos[\arctg(l_5 \cos(\pi/4 - \varphi_1)/l_{61})] \cdot l_5 \cos(\pi/4 - \varphi_1); \\ M_{\varphi_2} &= F_{\pi 2} \cos[\arctg(l_4 \cos(\pi/4 - \varphi_2)/l_{62})] \cdot l_4 \cos(\pi/4 - \varphi_2), \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где l_{61} и l_{62} – расстояние между точками крепления приводов на смежных звеньях механизма.

Усилие на штоке привода координаты, в зависимости от момента на валу электродвигателя:

$$F_{\pi i} = \frac{2\pi \cdot i_p \cdot \eta}{p \cdot n} \cdot M_{di}, \quad (7)$$

где i_p – передаточное число редуктора; η – КПД передачи винт гайка; p – шаг винта; n – число заходов резьбы; $i = 1, 2$ – номер координаты.

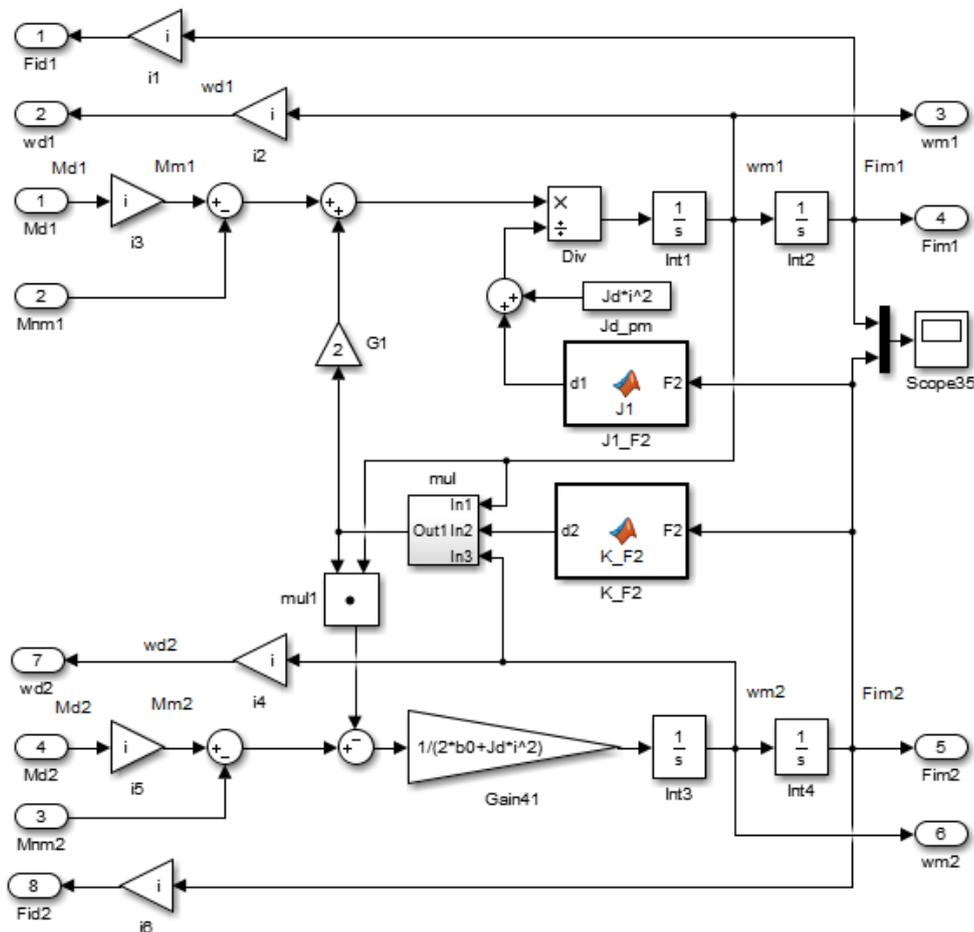


Рис. 2 – Структурная схема модели реабилитационного экзопротеза нижней конечности человека

Уравнения (6), (7) устанавливают взаимосвязь между моментом на оси координаты и моментом на валу соответствующего электродвигателя. Для уменьшения объема вычислений, эту связь можно представить нелинейными функциональными зависимостями:

$$M_{\varphi 1} = f(\varphi_1) \cdot M_{д1}; \quad M_{\varphi 2} = f(\varphi_2) \cdot M_{д2}. \quad (8)$$

Как показали расчёты, функциональные зависимости $f(\varphi_i)$ имеют минимумы, при $\varphi_i = 0$ и $\varphi_i = \pi/2$, а максимум, при $\varphi_i = \pi/4$. Разница изменения момента $M_{\varphi i}$ от угла φ_i не превышает 28%.

Соотношения (5) и (8) являются математической моделью механизма конечности реабилитационного экзопротеза. Вторая конечность экзопротеза описывается аналогичными уравнениями.

Адекватность модели проверена моделированием на персональном компьютере. Структурная схема модели показана на рисунке 2. Модель может быть использована при проектировании системы управления электроприводами экзопротеза.

Список литературы

1. *Зверев Ю.П.* Введение в биомеханику опорно-двигательного аппарата: учебное пособие для студентов / Ю.П. Зверев – Н. Новгород: ООО Издательство «Пламя», 2012. — 105 с.
2. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Теоретическая физика: Учеб. пособ.: Для вузов. В 10 т. Т. I. Механика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц – 5-е изд., стереот. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 224 с.
3. *Бронштейн И.Н., Семендяев К.А.* Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев – М.:Наука, 1980. – 976 с.
4. *Dollar M.A., Herr H.* Lower Extremity Exoskeletons and Active Orthoses: Challenges and State-of-the-Art / M.A. Dollar, H. Herr // IEEE Transactions on robotics, Vol. 24, No. 1, February 2008. Режим доступа: https://www.eng.yale.edu/grablab/pubs/dollar_TRO_Exos.pdf

05.13.18

В.А. Иванов, И.А. Мутугуллина

Бугульминский филиал ФГБОУ ВО
«Казанского национального исследовательского технологического университета»,
Бугульма, vladivanov56@yandex.ru

**ВЛИЯНИЕ ЗАКРУТКИ ВОЗДУШНОГО ЗАРЯДА
НА КОНВЕКТИВНЫЙ ТЕПЛООБМЕН В ЦИЛИНДРЕ ДВС**

Рассматривается влияние крупномасштабных вихревых структур на интенсификацию теплопередачи в цилиндре двигателя. Показывается, что закрутка воздушного заряда приводит не к интенсификации теплопередачи, а, наоборот, - к блокированию её.

Ключевые слова: пограничный слой, закрученный поток, вторичные течения, конвективный теплообмен.

Закрутка воздушного заряда в камере сгорания двигателя широко используется в процессах смесеобразования и сгорания для интенсификации диффузии окислителя в зону реакции. Считается, что увеличение скорости движения воздушного заряда будет интенсифицировать конвективную теплопередачу за счет появления лишней (трансверсальной) компоненты вектора скорости. При этом указывается на существующую якобы аналогию рассматриваемой задачи с задачей о теплопередаче и трении вращающегося диска. В действительности такой аналогии нет: обращение задачи обращает движение в пограничном слое.

Рассмотрим 2 случая:

1. Частица жидкости прилипает к поверхности вращающегося диска. Тогда радиальный перепад уравновешивается силой инерции. Уравнение движения можно записать в виде см. рис. 1:

$$2\pi(p_1r_1 - p_2r_2) + 2\pi r \rho \frac{U_\theta^2}{r} \Delta r = 0, \tag{1}$$

где $U_\theta = \omega \cdot r$, ρ – плотность, ω – угловая скорость.

Записывая (1) через конечные разности получим:

$$-\frac{\partial}{\partial r}(pr)\Delta r + \omega^2 r^2 \cdot \rho \Delta r = 0, \tag{2}$$

Таким образом, статическое давление на диске:

$$p = \frac{c_1}{r} + \frac{\rho \omega^2 r^2}{3},$$

где c_1 – константна интегрирования. т.е. радиальный градиент давления на диске не отрицателен.

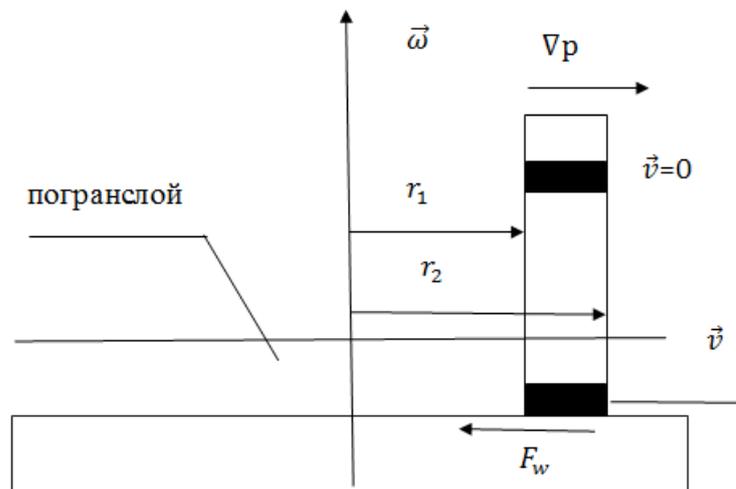


Рис. 1 – К возникновению вторичных течений на вращающемся диске

2. Частица жидкости не прилипает к поверхности жидкости. В этом случае уравнение движения в проекции на радиальное направление имеет вид:

$$2\pi(p_1r_1 - p_2r_2) + 2\pi r \rho \frac{U_{\theta}^2}{r} \Delta r - \Delta F_w = 0, \quad (3)$$

$\Delta F_w > 0$ – сила трения. Отсюда следует, что

$$\frac{drp}{dr} = \rho \omega^2 r^2 - \frac{1}{2\pi} \frac{dF_w}{dr}.$$

Так как $\frac{dF_w}{dr} \leq 0$, то, внутри пограничного слоя градиент давления не меньше, чем вне диска и частица жидкости переходит на траекторию большего радиуса. Увеличение радиуса орбиты жидкости вне вращающегося диска компенсируется вторичным осевым «подсосом» жидкости вне пограничного слоя. Точное исследование формы траекторий показывает, что траекториями служат спирали с фокусом в точке $r = 0$ с предельным циклом, имеющим радиус порядка вращающегося диска.

Обращение движения (вихрь над неподвижной плоскостью) не обращает радиального градиента давления. Благодаря этому торможение жидких частиц в погранслое приводит к их «сносу» по спиральной траектории в центр. Накопление жидкости в окрестности полюса приводит к вторичному осевому движению от твердой стенки вне погранслоя. Динамический анализ медленного вращения имеется в [1]. Обращение осевого вторичного движения опровергает утверждение об интенсификации закрутки потока на теплопередачу.

Действительно, рассмотрим элементарный призматический объем $ABCD A' B' C' D'$, вырезанный из вращающегося над неподвижной плоскостью газом поверхностями $r = const$, $r + \Delta r = const$, $\theta = const$, $\theta + \Delta\theta = const$, $z = 0$, $z = \delta$, здесь δ – толщина пограничного слоя, см. рис. 2.

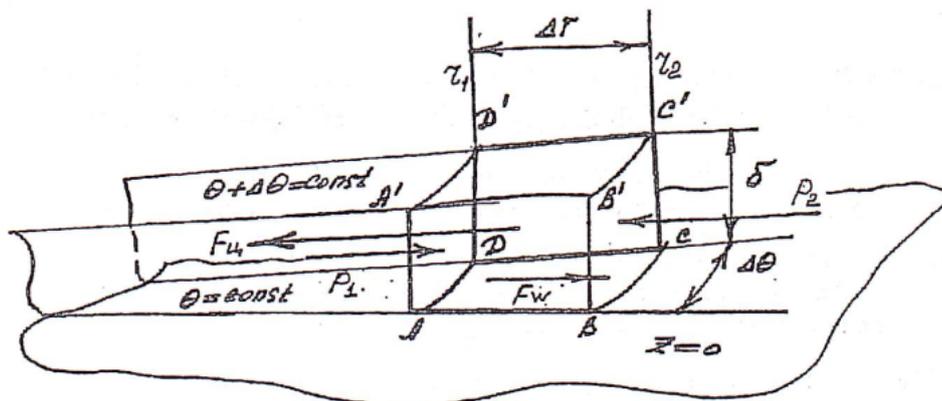


Рис. 2 – Силовое равновесие элементарного отсека в пограничном слое вязкого вращающегося газа:

$F_{ц}$ – центробежная сила, F_w – сила трения, p – давление

Элементарная центробежная сила, действующая на массу жидкости, заключенную в выделенном призматическом объеме, равна:

$$dF_{ц} = \rho \frac{U_{\theta e}^2}{r} \delta \cdot r \cdot dr d\theta, \quad (4)$$

где $U_{\theta e}$ – трансверсальная скорость в выделенном объеме.

Сила трения, действующая на нижнем основании $ABCD$, равна

$$dF_w \cong \mu \frac{U_{e\theta}}{\delta} r \cdot dr d\theta, \quad (5)$$

где \cong – знак пропорциональности. Из (4) и (5) следует:

$$\delta = 0 \left(\frac{\sqrt{v \cdot r}}{\sqrt{U_{e\theta}}} \right), \quad (6)$$

где $U_{e\theta}$ – распределение трансверсальной компоненты вектора вне пограничного слоя.

Пусть

$$U_{e\theta} = Cr^m,$$

где C и m – константы. В качестве независимой переменной можно взять величину $\xi = \frac{z}{\delta}$.
С учетом (6):

$$\xi = z \sqrt{\frac{Cr^{m-1}}{\nu}}$$

В пограничном слое вращающегося вязкого газа мы имеем три компоненты вектора скорости U_r , U_θ и U_z .

Пусть

$$\begin{aligned} U_r &= Cr^m \cdot f(\xi) \\ U_\theta &= Cr^m \cdot g(\xi) \\ U_z &= \sqrt{\nu Cr^{m-1}} \cdot h(\xi), \end{aligned}$$

причем

$$f(0) = f(\infty) = g(0) = g(\infty) - 1 = h(0) = 0.$$

Тогда два уравнения движения (в проекции на ось r и в проекции на ось θ) и уравнение неразрывности образуют систему:

$$\begin{cases} mf^2 + \frac{m-1}{2} \xi f f' + h f' - g^2 = f'' - 1 \\ mfg + \frac{m-1}{2} \xi f f g' + h g' + f g = g'' \\ h' + (1+m)f + \frac{m-1}{2} \xi f' = 0 \end{cases} \quad (7)$$

Вводим безразмерную функцию тока:

$$\Phi = \int_0^\xi f d\xi.$$

Тогда вместо (7) мы получаем систему из двух обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} m\Phi'^2 - \frac{3+m}{2} \Phi \Phi'' + 1 - g^2 = \Phi''' \\ (1+m)g\Phi' - \frac{3+m}{2} \Phi g' = g'' \end{cases} \quad (8)$$

Система (8) решается с граничными условиями:

$$\Phi(0) = \Phi'(0) = \Phi'(\infty) = g(0) = g(\infty) - 1 = 0. \quad (9)$$

Для реальных течений по условию ограниченности радиального градиента давления выполняются неравенство $|m| \leq 1$, поэтому для радиальной и осевой компонент вектора скорости справедливы равномерные по ξ оценки:

$$\Phi'(\xi) \leq 0, h(\xi) \leq 0. \quad (10)$$

Из оценок (10) следует: закрутка потока в осевом вихре при $|m| \leq 1$ блокирует теплоотдачу. Действительно, уравнение энергии в переменных ξ и θ , где $\theta = \frac{T-T_w}{T_S-T_w}$ (T_S – адиабатическая температура) имеет вид:

$$\theta'' + Pr \frac{3+m}{2} \Phi \theta' = 0,$$

и при $\Phi' < 0$, любое $C^{(2)}[0, \infty)$ решение удовлетворяет условию: $\theta'(0) = 0$.

В условиях камеры сжигания (сгорания) осевой поток завесы взаимодействует с осевым течением, обусловленным движением поршня. Поэтому при сжатии газа в цилиндре осевые потоки в пограничном слое поршня и крышки вычитаются, а при расширении газа (рабочий ход) складываются. Это приводит к блокированию конвективного теплообмена от поршня и от крышки на рабочем ходе (сгорание-расширение), т.е. к эффекту, прямо противоположному интенсификации теплопередачи. Если и наблюдается рост теплопередачи, то на поверхности гильзы. Влияние турбулентности пристеночного течения не изменит качественно картину, но интенсифицирует осевое течение, скорость которого порядка $\sqrt{\nu \frac{U_{e\theta}}{r}}$.

Закрученный поток в вихревых камерах, несколько схематизируя, можно рассматривать как полуограниченную струю на цилиндрической поверхности гильзы. Распространение струи происходит под действием осевого и радиального градиента давлений. Струя,

вошедшая в цилиндр, совершив один оборот в плоскости входа, отклоняется от нее и распространяется дальше по гелисе. На круговом цилиндре – это винтовая линия с постоянным углом нарезки. Поэтому на цилиндрических поверхностях вторичных течений нет. Это следует из теоремы о пограничных слоях с движением по геодезической линии. Напротив, благодаря тому, что траектории над твердой поверхностью не совпадают с геодезическими, образуются интенсивные вторичные потоки, которые блокируют теплоотдачу в центре камеры.

Эти теоретические соображения подтверждаются экспериментальными исследованиями [2-4].

Таким образом, можно сделать вывод, что закрутка воздушного заряда приводит не интенсификации теплопередачи в цилиндре двигателя, а, напротив, - к блокированию её.

Список литературы

1. *Гиргидов А.Д.* Механика жидкости и газа М.: ИНФРА-М, 2015, 704 с.
2. *Леухин Ю.Л., Сабуров Э.Н., Гарен В.* Влияние числа Рейнольдса на осредненные и турбулентные характеристики закрученного потока в кольцевом канале // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2007 г., №3-4, С. 3-12.
3. *Леухин Ю.Л., Сабуров Э.Н., Усачев И.А., Гарен В.* Особенности обтекания и теплоотдачи цилиндра, смещенного с оси циклонного потока // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2008 г., №3-4, С. 20-31.
4. *Пирашвили Ш.А.* Вихревой эффект. Т.1. Физическое явление, эксперимент, теоретическое моделирование. М.: Научтехиздат, 2013. 342 с.

05.13.18

¹Исмаил Ахмед, ^{1,2}М.Ю. Филимонов д-р физ.-мат. наук¹Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, кафедра моделирования управляемых систем,²Институт математики и механики им. Н.Н. Красовского УрО РАН
Екатеринбург, en.ismaiel@gmail.com, fmy@imm.uran.ru**ПРОЕКТ И МОДЕЛЬ РЕГУЛЯТОРА ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ПРИВОДА МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ**

В работе представлены результаты по моделированию двигателя постоянного тока (DCM), исследуется устойчивость модели и проектируется пропорционально-интегрально-дифференцирующий регулятор (PID-регулятор) для этой модели. Управляемая модель соединена с мобильным роботом с дифференциальным приводом (DDMR). Исследована новая модель, полученная путем объединения модели DCM и кинематической модели DDMR.

Ключевые слова: двигатель постоянного тока, PID-регулятор, метод Зиглера-Николса, DDMR, моделирование.

DCM широко распространены в робототехнике, так как имеют высокий пусковой момент и простые, легко управляемые, модели [1].

Существуют различные методы управления DCM. В этом исследовании мы используем PID-регулятор для управления угловой скоростью DCM путем изменения входного напряжения [2]. Метод Зиглера-Николса [3] является эффективным методом настройки PID-регуляторов и вычисления значений K_p , K_i , K_d . Существуют графические и эмпирические методы вычисления параметров настройки PID-регуляторов методом Зиглера-Николса. Управляемые DCM используются для привода неголономного двухколесного DDMR для прохождения определенного пути.

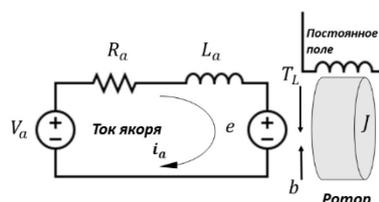
Схема двигателя постоянного тока

Рис. 1 – Схема двигателя постоянного тока

Принципиальная схема DCM представлена на Рис. 1 и имеет механическую и электрическую части. Электрическая часть состоит из источника напряжения, приложенного к якорной обмотке (якорю) V_a , сопротивления якоря R_a , индуктивности якоря L_a и обратной электродвижущей силы (обратной ЭДС) e , противодействующей V_a . Механическая часть состоит из ротора с полярным моментом инерции J , крутящего момента двигателя T_m , угловой скорости ω и коэффициента вязкого трения электродвигателя b , механической нагрузки, значение крутящего момента которой равно T_L , ($T_L = T_m$).

Математическая модель двигателя постоянного тока

Для описания зависимости между входным напряжением V_a и токами якоря i_a в цепи используется закон Кирхгофа

$$V_a - e = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} \quad (1)$$

Второй закон Ньютона используется в механической части для получения соотношения между угловой скоростью ротора ω , крутящим моментом нагрузки T_L и полярным моментом инерции ротора J .

$$J\dot{\omega} + b\omega = T_L \quad (2)$$

$$T_L = k_T i_a \quad (3)$$

$$e = k_e \omega \quad (4)$$

В уравнениях (3), (4) предполагается, что крутящий момент нагрузки T_L линейно связан с током якоря i_a , (k_T – постоянный крутящий момент). Обратная ЭДС e также прямо пропорциональна угловой скорости ω , (k_e – электрическая постоянная). Используемый DCM имеет следующие параметры: $R_a = 2.5\Omega$, $L_a = 0.25\text{Гн}$, $J = 0.001\text{Н.м.с}^2/\text{рад}$, $B = 0.01\text{Н.м.с}/\text{рад}$, $k_t = 0.05\text{Н.м}/\text{А}$, $k_e = 0.05\text{В}/\text{рад}/\text{с}$.

Устойчивость двигателя постоянного тока

Для изучения устойчивости системы преобразуем уравнения (1)-(4) из временной области в частотную с помощью преобразования Лапласа. Полученное уравнение (5) описывает поведение реакции системы в частотной области, где все полюса расположены в левой части воображаемых осей, что свидетельствует об устойчивости системы [4].

$$\frac{\omega(s)}{V_a(s)} = \frac{k_T}{(R_a + sL_a)(b + sJ) + k_T k_e} \quad (5)$$

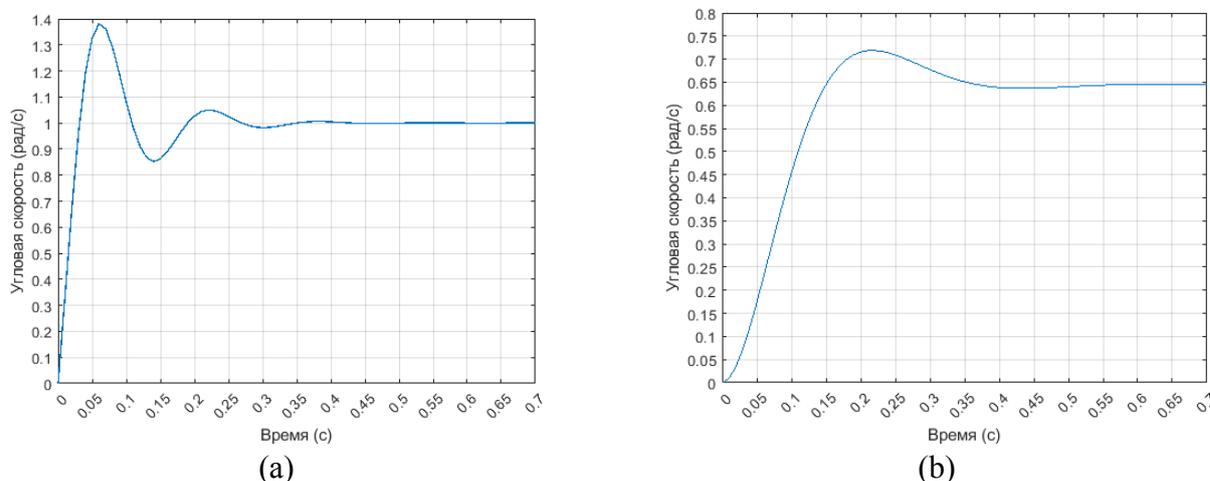


Рис. 2 – Отклик на ступенчатое возмущение (а) – с регулятором, (б) – без регулятора

Отклик системы без регулятора в замкнутом контуре оказан на Рис. 2b, где система имеет погрешность в устойчивом состоянии 35,5%. Для увеличения отклика системы используется *PID-регулятор*.

Настройка регулятора двигателя постоянного тока

PID-регулятор соединен последовательно с блок-схемой системы, как показано на Рис. 3, где для вычисления параметров *PID-регулятора* используется метод Зиглера-Николса.

Параметры T и L вычисляются графически путем определения точки перегиба кривой ступенчатого с разомкнутым контуром, как показано на Рис. 5. Полученные параметры *PID-регулятора* приведены в таблице 1.

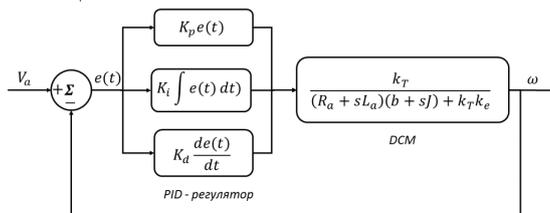


Рис. 3 – Блок-схема двигателя постоянного тока с *PID-регулятором*

Параметры T и L вычисляются графически путем определения точки перегиба кривой ступенчатого с разомкнутым контуром, как показано на Рис. 4. Полученные параметры *PID-регулятора* приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Вычисление PID-параметров методом Зиглера-Никольса.

K_p	$0.5TL$	11.136
K_i	$0.5K_p/L$	205.036
K_d	$0.5K_pL$	0.151

Отклик на ступенчатое возмущение управляемого DCM показан на Рис. 2а. Ошибка стационарного состояния устраняется тем, что при значении входного напряжения V_a , равного 1 вольт, мы получаем угловую скорость ω за 1 рад/сек.

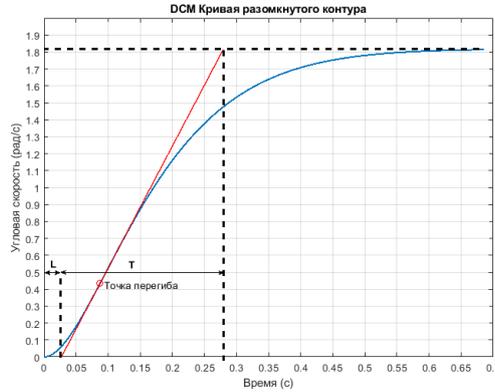


Рис. 4 – Расчет параметров методом Зиглера-Никольса
Управляемый DDMR

Два двигателя управляются отдельно для достижения требуемой линейной v и угловой скорости ψ DDMR. Каждый двигатель постоянного тока соединен с колесом и обозначен как левый или правый двигатель в соответствии с направлением соединенного колеса. Полученная угловая скорость каждого двигателя учитывается в уравнениях кинематики DDMR (5) и (4) для расчета ψ и v соответственно. Используемая кинематическая модель DDMR описана в [5]. Размеры DDMR следующие: радиус колеса $r=0.1$ м и расстояние между вертикальными осями колес $d=1$ м.

$$v = \frac{r}{2}(\omega_r + \omega_l) \tag{4}$$

$$\psi = \frac{r}{d}(\omega_r - \omega_l) \tag{5}$$

Профиль скорости, показанный на Рис. 6, применяется к левому и правому двигателю постоянного тока отдельно. Результирующий путь DDMR зависит от значений профиля скорости и значения ошибки между угловой скоростью двигателей постоянного тока и профилем скорости. Профиль скорости применяется для DCM с регулятором и без регулятора. Результирующий путь DDMR записывается, график строится в обоих случаях.

Результаты и обсуждение

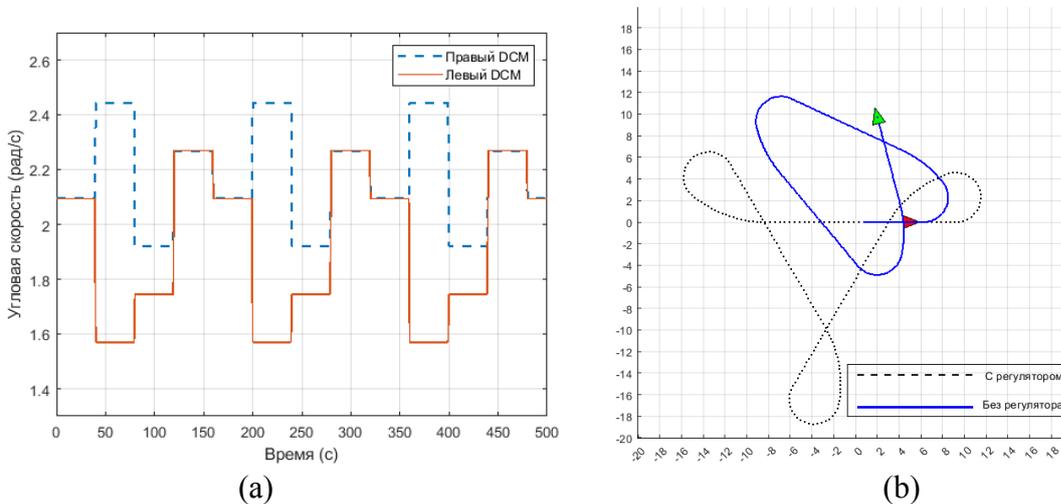


Рис. 5 – Профиль входной скорости (а) и результирующие пути (б) для DDMR

Рис. 5б показывает два пути, образовавшиеся в результате применения профиля скорости к двигателям постоянного тока, соединенным отдельно с левым и правым колесами. Пунктирная линия представляет собой результирующий путь DDMR, когда разработанный *PID-регулятором* управляет соединенными двигателями постоянного тока, которые имеют ответную реакцию, как показано на Рис. 2а. Непрерывная линия представляет собой результирующий путь DDMR, когда двигатели постоянного тока не имеют регулятора и имеют ответную реакцию, как показано на Рис. 2б.

Заключение

Разработан *PID-регулятор* для управления двигателями постоянного тока DDMR. Важность управления *DCM* для робототехники можно понять из результирующего пути DDMR с регулятором и без него. Это сравнение между непрерывными и пунктирными линиями (Рис. 5б) доказывает, что для мобильного робота необходим регулятор *DCM* с определенным откликом для достижения заранее заданного пути. Применение *PID-регулятора* с использованием метода Зиглера-Николса для определения параметров регулятора является одним из наиболее успешных методов управления *DCM*.

Список литературы

1. *Zaccarian L.* DC motors: dynamic model and control techniques // Lecture notes., Roma, Italy – 2012.
2. *Ali A.M.* Tuning PID Controllers for DC Motor by Using Microcomputer / A.M. Mohamed A. // Int. J. Appl. Eng. Res – 2019. – Vol. 14 – P. 202–206.
3. *Ziegler J.G.* Optimum settings for automatic controllers / N.B. Nichols // trans. ASME – 1942. – Vol. 64.
4. *Goodwin G.C.* Control system design / S.F. Graebe, M.E. Salgado // New Jersey: Prentice hall – 2001. – Vol. 240.
5. *Ismaiel A.* A simulation-based study to calculate all the possible trajectories of differential drive mobile robot / M.Yu. Filimonov // AIP Conference Proceedings – 2021. – Vol. 2333. – P. 070008. <https://doi.org/10.1063/5.0041751>

05.13.18

А.А. Корелин, И.Я. Дятлов, Н.М. Труфанова д-р техн. наук

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет,
кафедра конструирования и технологии в электротехнике,
Пермь, ktei@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ВУЛКАНИЗАЦИИ ПОЛИЭТИЛЕНОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ

В современных кабелях среднего и высокого напряжения, в качестве изоляции используется сшитый полиэтилен, механические свойства которого значительно выше линейного полиэтилена. Сшивка производится пероксидным методом, который происходит в вулканизационной трубе в среде азота при температуре 400С°. В работе разработана математическая модель процесса теплопереноса в трубе вулканизации, реализация которой позволила определить параметры рационального технологического процесса.

Ключевые слова: математическая модель, степень сшивки, полиэтиленовая изоляция.

Процесс производства кабелей с полиэтиленовой изоляцией, сшитой пероксидным методом является сложным технологическим процессом. Основным отличием данного метода сшивки от других, например, силановой сшивки [1] и радиационной [2] является то, что сшивание происходит в среде инертного газа – азота, что позволяет исключить попадание влаги в поры полимера, наличие которой в изоляции кабелей на среднее и высокое напряжение ведет к образованию водных триингов и снижению срока службы изделия.

Линия вулканизации, рассмотренная при моделировании технологического процесса, представляет собой трубу длиной 168 м. Труба делится на две области – область нагрева, где поддерживаются наиболее высокие температуры для запуска процесса вулканизации (Рис.1 зоны 1 -5) и область охлаждения (Рис.1 зоны 6-11) в которой заготовка равномерно охлаждается до заданной температуры.

Геометрические размеры исследуемого кабеля: радиус жилы 9,7 мм, толщина изоляции 4,9 мм.

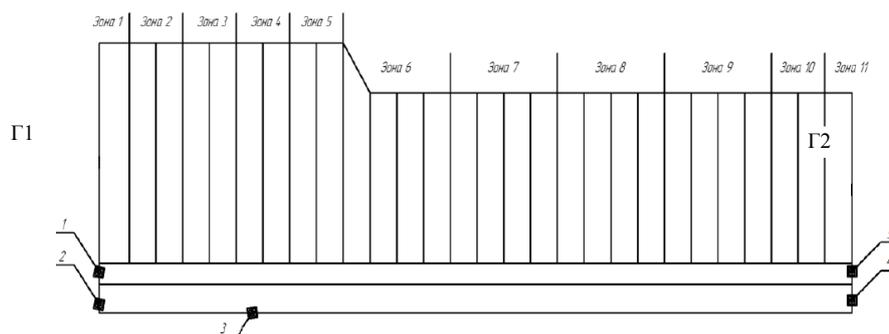


Рис. 1 – Схематичное изображение линии и расстановка граничных условий:
1,5 – изоляция; 2,4 – токопроводящая жила; 3 – ось симметрии

Были сделаны следующие допущения: труба горизонтальная; теплофизические свойства материалов кабеля постоянны; конвекция азота не рассматривалась; на границах раздела разнородных сред реализуется условие идеального теплового контакта.

Уравнение теплопроводности и уравнение энергии имеют вид:

$$0 = \left(\lambda_i \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right)$$

$$c_j \rho_j \left(v_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = - \left(\lambda_j \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right)$$

где ρ – плотность, кг/м³; c – теплоёмкость, Дж/кг·°С; λ – коэффициент теплопроводности Вт/м·°С; μ – вязкость, Па·с; i – 1- азот, 2 – вода; j – 1-медь, 2-полимер; T – температура, °С; [4].

Труба вулканизации разделена на температурные зоны. В зонах 1-9 используется азот, в зонах 10-11 – вода. На выходе из трубы задаются адиабатические условия по температуре. Изолированная жила имеет заданную скорость, а на её поверхности задается условие идеального теплового контакта. Температура изоляции (на входе в трубу вулканизации) задается 120°С, а температура токопроводящей жилы 90°С. Скорость изолирования 0,4 м/с.

Система дифференциальных уравнений с граничными условиями решалась методом конечных элементов в среде ANSYS.

Влияние скорости изолирования на распределение температуры в кабеле оценивалось для диапазона скоростей, используемых на производстве от 0,4 м/с до 1 м/с (Рис. 2).

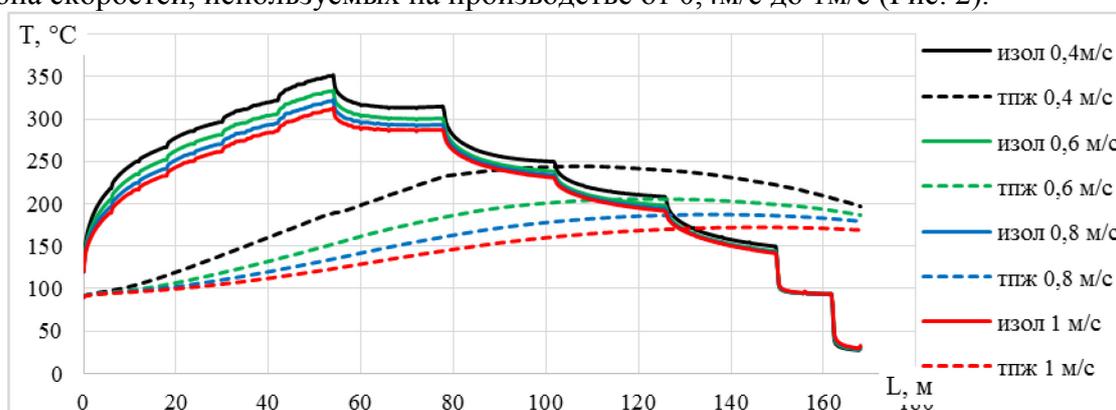


Рис. 2 – График распределения температуры на поверхности токопроводящей жилы и изоляции по длине линии вулканизации

На рис. 2 видно, что температуры на поверхности жилы и изоляции с увеличением скорости изолирования снижаются. Увеличение скорости незначительно влияет на температуру изоляции, в то время как разница температур токопроводящей жилы существенна. При скорости 0,4 м/с температура на поверхности жилы составляет 189°С, а при скорости в 1 м/с температура снижается до 120°С. Это связано с тем, что при увеличении скорости заготовка меньше время находится внутри трубы вулканизации, а значит хуже прогревается, что приведет к снижению степени вулканизации и качества изоляции. Для выбора необходимой скорости изолирования, была рассчитана степень сшивки, получаемая на выходе из трубы вулканизации. Используя регрессионные уравнения и зависимости степени сшивки от температуры, для рассматриваемых материалов, полученные экспериментально и представленные авторами в статьях [3, 4]. Результаты расчета приведены на рис. 3а.

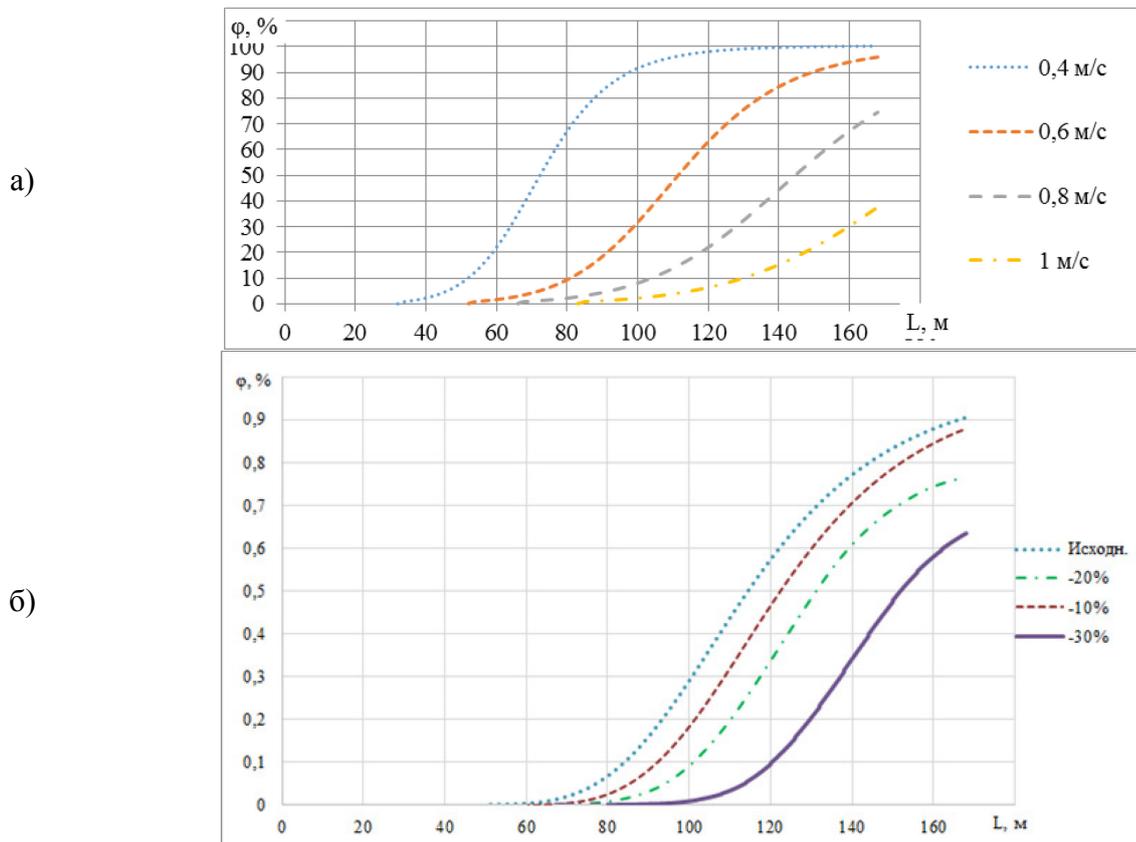


Рис. 3 – График распределения степени сшивки по длине линии вулканизации:

а) при различных скоростях изолирования; б) при изменении температурного режима

Видно, что при увеличении скорости, процесс сшивки полимера происходит медленнее. При скорости 0,4 м/с внутренний слой изоляции сшивается полностью на длине 140 м, при скорости 0,6 м/с на выходе из трубы рассчитанная степень сшивки составляет 95%. Следовательно, есть возможность повысить скорость изолирования без потери качества сшивки. При скорости 1,0 м/с степень сшивки недопустимо мала.

Для оценки распределение температурного поля в кабеле при снижении температур охлаждения и нагрева, были произведены несколько вариантов расчёта, при которых исходные температуры в каждой зоне уменьшались на 10, 20, 30 %. В таблице приведены температуры по зонам трубы вулканизации.

Таблица – Температурный режим зон нагрева и охлаждения

Температура по зонам трубы, °С										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Исходный режим										
360	380	400	420	450	360	250	185	90	60	20
Снижение температур на 10%										
324	342	360	378	405	324	225	166	90	60	20
Снижение температур на 20%										
288	304	320	336	360	288	250	148	90	60	20
Снижение температур на 30%										
252	266	280	294	315	252	175	130	90	60	20

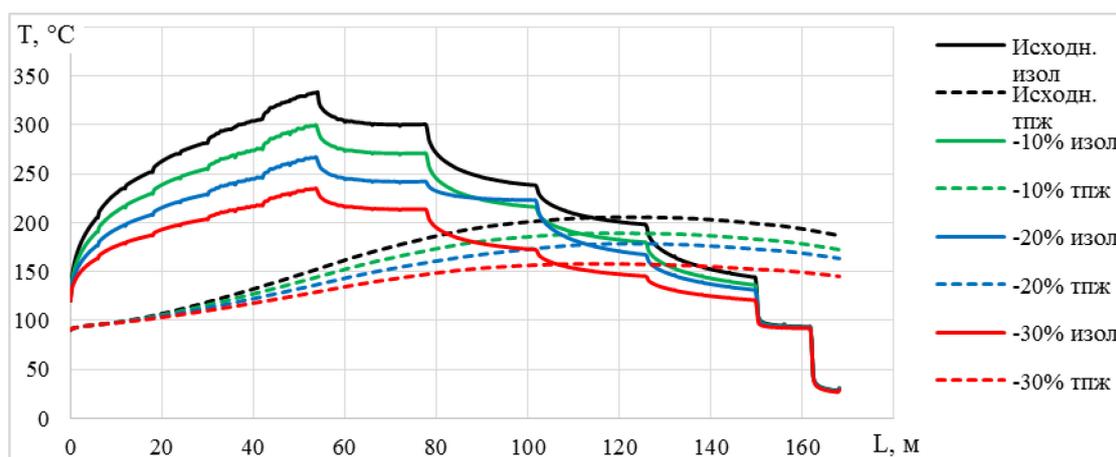


Рис. 4 – График распределения температуры по длине линии вулканизации при разных температурных режимах

Полученные результаты, отображенные на рис. 4 говорят о том, что снижение температуры нагрева будет значительно влиять на температуру поверхностного слоя изоляции. При снижении температурного режима на 10% или 20% длина, на которой достигается температура начала вулканизации (150°C) на поверхности токопроводящей жилы отличается незначительно, а значит умеренное снижение температурного режима не повлечет за собой ухудшение изоляции, но снизит энергетические затраты.

Рассчитанная степень сшивки (Рис. 3б) при снижении температур по зонам будет уменьшаться и поскольку при изготовлении кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена регламентируемая степень сшивки готового изделия должна быть не ниже 70%, то используя технологический режим с параметрами: скорость изолирования 0,6 м/с и сниженный температурный режим на 20%, позволяет получить на выходе из вулканизационной трубы изоляцию со степенью сшивки 76%.

Вывод. В результате работы была разработана математическая модель процесса теплопереноса в трубе вулканизации при сшивке изоляции из полиэтилена. Оценено влияние основных параметров технологического режима на степень сшивки готового изделия. Определен рациональный режим изолирования и вулканизации полиэтиленовой изоляции.

Список литературы

1. Гольцов Е.С., Дятлов И.Я., Труфанова Н.М. Исследование процесса теплообмена при силановой сшивке // Автоматизированные системы управления и информационные технологии: Материалы всероссийской научно-технической конференции. В 2-х томах, Пермь, 30–31 мая 2019 года. – Пермь: ПНИПУ, 2019. – С. 199-203.
2. Новиков Г.К. Модификация радиационной сшивки в электрическом газовом разряде и механическая прочность полиэтиленовой кабельной изоляции // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2017. – №8. С. 122-129.
3. Корелин А.А., Дятлов И.Я., Труфанова Н.М. Математическое моделирование процесса сшивки полиэтилена в азотной среде // Автоматизированные системы управления и информационные технологии: Материалы всероссийской научно-технической конференции. В 2-х томах. Пермь, 30–31 мая 2019 года. – Пермь: ПНИПУ, 2019. – С. 124-130.
4. Дятлов И.Я., Труфанова Н.М. Описание вулканизационных кривых при помощи трехпараметрического уравнения // Электротехника. -2020. – № 11. С. 34-38.

05.13.18

¹Н.И. Красовская канд. техн. наук, ²С.В. Якубовская д-р техн. наук, ¹О.В. Красовская,
¹А.В. Сычева, ¹А.А. Лещев, ²Е.Ю. Иванова

Тюменский индустриальный университет,
¹Строительный институт,
²Институт транспорта,
Тюмень, krass51@mail.ru, sv5508@mail.ru

ФОРМИРОВАНИЕ НАВЫКОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ПРОСТРАНСТВА У СТУДЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛИЧНОСТНО ОРИЕНТИРОВАННОЙ МОДЕЛИ ОБРАЗОВАНИЯ

В работе обсуждаются методические приемы формирования способности студентов первого года обучения к компьютерному моделированию объектов пространства с использованием различных графических пакетов прикладных программ. Это становится возможным при переходе к личностно ориентированной модели образования.

Ключевые слова: образовательные парадигмы, моделирование объектов, компьютерная графика, инженерная графика, творчество.

Модернизация Российского высшего образования на современном этапе нацелена на смену образовательных парадигм. Это требование общества и государства в условиях преобразования социально-политических и экономических отношений. При новой парадигме целью образования становится формирование облика будущей созидательной личности, и образовательная деятельность должна быть направлена не просто на передачу опыта и знаний от преподавателя студенту, а на разработку нового содержания, новых методов и форм обучения, обеспечивающих освоение методологии творческой деятельности, раскрытие и развитие индивидуальных способностей обучающихся.

В настоящее время в мире действуют разнообразные парадигмальные модели образования:

- парадигмы современного образования (Н.А. Алексеев, Ш.А. Амонашвили, Е.А. Бондаревская, В.И. Загвязинский, С.В. Кульневич, В.В. Сериков и др.);
- парадигма качественного образования, сориентированного на реалии современного общества и перспективы развития цивилизации (И.М. Ильинский);
- концептуальные идеи "образовательного общества", "опережающего развития высшего образования" (Н.А. Селезнев, А.И. Субетто и др.) [1,2]

При этом во всех этих моделях есть общая цель - переход к личностно ориентированной парадигме высшего образования, обеспечивающей создание условий для наиболее полноценного социального развития личности будущего специалиста как субъекта социальных отношений и профессиональной деятельности. Это важно не только для дисциплин гуманитарного цикла, но и в полной мере актуально для технических дисциплин инженерного профиля [2].

Процесс формирования компетенций выпускников технического вуза, как общекультурных, так и профессиональных тесно связан с изучением геометро-графических дисциплин, призванных развивать пространственное воображение, являющееся неотъемлемым условием формирования конструкторских способностей человека, его умение эффективно использовать основные программные средства, умение пользоваться глобальными информационными ресурсами, его свободное владение современными средствами телекоммуникаций, способность использовать навыки работы с информацией из различных источников для решения профессиональных и социальных задач. Реализация этих компетенций у обучающихся возможна в том числе и с развитием их умений и навыков

самостоятельно добывать нужную информацию, со способностью рационально организовывать свою самостоятельную работу по предмету, умело пользоваться интернетом и библиотечными каталогами.

В начале изучения начертательной геометрии и инженерной графики студенты-первокурсники постепенно от темы к теме изучают основные положения курса, алгоритмы формирования двухмерных изображений. Как правило, на данном этапе они еще не получают доступ к компьютерным программам, и обучающиеся еще не знакомы с основами машинного двухмерного и, тем более, трехмерного моделирования. Компьютерную графику они будут изучать только во втором семестре. Тем не менее практически все умеют на том или ином уровне пользоваться компьютером. Это обстоятельство и позволяет выдавать новые задания для самостоятельного поиска путей решения небольших графических задач моделирования с помощью компьютерной техники. Анализируя результаты так называемого ежегодного входного контроля, проводимого на первых занятиях по графическим дисциплинам, преподаватели отмечают существенную разницу в уровнях восприятия обучающимися геометрического пространства, в способности моделировать его объекты, в уровне навыков и умений работы с информацией. В процессе обучения эти способности формируются постепенно с помощью традиционных методов дидактики. Но новая образовательная парадигма требует применения более прогрессивных методов обучения, среди которых можно выделить:

- Развитие критического мышления, когда образовательная деятельность направлена на развитие у студентов разумного, рефлексивного мышления, способного выдвинуть новые идеи и увидеть новые возможности. Одним из вариантов является привлечение студентов с творческими способностями уже на первых занятиях по инженерной графике к решению задач по созданию тех или иных моделей пространства в любой пока им неизвестной графической программе по выбору. Они сами путем сравнения выбирают программу, изучают ее самостоятельно и моделируют не только простейшие геометрические объекты и их сочетания, но и занимаются формообразованием довольно сложных объектов.

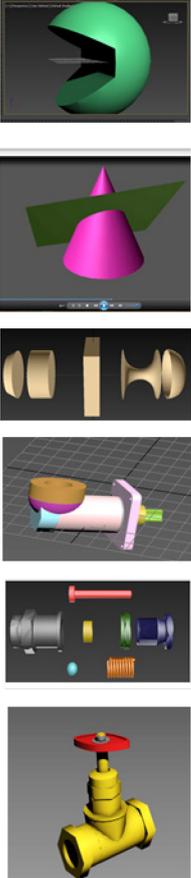
- Информационно-коммуникационные технологии - обучение в электронной образовательной среде с целью расширения доступа к образовательным ресурсам, увеличения контактного взаимодействия с преподавателем. Осуществляется переход «от субъект-объектного обучения к субъект-субъектному взаимодействию, т.е. сотрудничеству по типу «преподаватель-студент», а также «студент-студент» [3,4].

- Индивидуальное обучение - выстраивание студентом совместно с преподавателем его образовательной траектории на основе формирования индивидуальной образовательной программы с учетом его интереса [3].

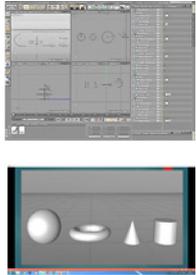
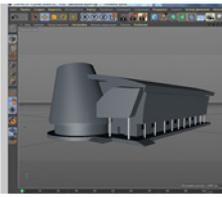
В этой связи возникают новые задачи создания четкой мотивации образовательной, и что не мало важно, творческой активности студентов. Студенты с изначально высоким уровнем готовности к изучению графических дисциплин могут получать индивидуальные задания и сами привлекать желающих сокурсников к решению поставленной задачи. Таким образом расширяется круг обучающихся, готовых участвовать в индивидуальной образовательной деятельности. Кроме этого, у части обучающихся появляется мотивация и дальше совершенствовать свои знания в области графики, приобретать новые умения и навыки использования различных компьютерных программ для моделирования [4].

Ниже в таблице приведено несколько примеров заданий для индивидуальной работы студентов по моделированию. Как видно из таблицы, в основном они выбирают следующие программы: 3D Studio Max, AutoCAD, CorelDRAW и даже Cinema 4D [5]. Результатом работы являются не только отчет по выполненному заданию перед преподавателем для получения оценки в зачетке, но и обязательное выступление с докладами на конференциях различного уровня. Лучшие из докладов публикуются в открытой печати и их авторы получают дипломы призеров в научных конкурсах.

Таблица - Примеры тем индивидуальных самостоятельных работ по моделированию

№ п\п	Тема работы	Программа	Графические результаты	Научное представление результатов
1	2	3	4	5
1.	Моделирование геометрических форм, создание анимационных роликов	3D Studio Max		Доклады на ежегодной международной заочной конференции - София (Болгария) с участием в конкурсе на лучшую публикацию в журнале «Мир науки» с получением 1-х,2-х мест в конкурсах
2.	Исследование возможности совмещения двух программ AutoCAD и CorelDRAW при моделировании объектов	AutoCAD и CorelDRAW		Выступление с докладом на международной конференции. Диплом 1-й степени

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5
3.	Генерация идей создания инновационной комфортной среды (Smart City) для помещений вузов	CorelDRAW		Доклад на ежегодной международной заочной конференции-София (Болгария) с участием в конкурсе на лучшую публикацию в журнале «Мир науки» с получением 1-го места в конкурсе
4.	Кинематический способ образования поверхностей вращения	Cinema 4D		Выступление с докладом и публикация на международной конференции. София (Болгария)
5.	Конструктивные особенности здания сложной формы	Cinema 4D		Работа продолжается

Вывод. При переходе к лично ориентированной модели обучения в логике новой образовательной парадигмы быстрее и легче обеспечивается профессиональное становление личности. Ускоряется процесс формирования конструкторских способностей будущего специалиста, успешно подготовленного к решению задач моделирования объектов пространства с использованием различных компьютерных программ. Формируются начальные навыки публичного представления результатов своей и коллективной работы.

Список литературы

1. Парадигмы современного образования [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: <https://knowledge.allbest.ru/pedagogics/2c0b65635b2ad79b5c43a89521206d30.html> (дата обращения: 15.04.2021). Текст: электронный.
2. Алисултанова Э.Д. Компетентностный подход в инженерном образовании: монография: М: изд. РАЕ, 2010. - 160 с. Текст: непосредственный.
3. Буланова-Топоркова М.В. Педагогика и психология высшей школы: учеб. пособие. - Ростов н/Д: Феникс, 2002. – 544с. Текст: непосредственный.
4. Красовская, Н.И. Феоктистова А.А. Мотивация творческой активности студентов / Н.И. Красовская, А.А. Феоктистова - Текст: непосредственный // Современные направления теоретических и прикладных исследований: международ. научн. - практ. конф. 19-30 марта 2013 г. – Одесса, 2013. – С.66-67. - Текст: непосредственный.
5. Мини-курс «Сinema 4D для новичков». Автор: VideoSmile. [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: <https://www.youtube.com/watch?v=bRUqcq5FApg> (дата обращения: 28.10.2019).

05.13.18

А.А. Нечаев, В.Ю. Мельцов канд. техн. наук

Вятский государственный университет,
кафедра электронных вычислительных машин,
Киров, dapqa@yandex.ru, meltsov@vyatsu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВА КОНФИГУРАЦИИ ГИПЕРПАРАМЕТРОВ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ МАТРИЧНОЙ ФАКТОРИЗАЦИИ

В статье представлены результаты исследования работы нескольких рекомендательных моделей, обученных при помощи алгоритмов матричной факторизации с различными гиперпараметрами. Анализируются величины ошибки предсказания и времени обучения моделей. Также демонстрируются предсказания гауссовских процессов, использованных при байесовской оптимизации гиперпараметров.

Ключевые слова: *рекомендательная система, коллаборативная фильтрация, матричная факторизация, байесовская оптимизация.*

Задача рекомендательных систем (РС) заключается в предсказании интереса пользователей к различным объектам из определённой предметной области. Коллаборативная фильтрация – один из подходов к её решению. Он основан на предположении, что похожие пользователи одинаковым образом оценивают похожие объекты [1].

Если задачу предсказания интереса свести к задаче предсказания рейтинга, для построения моделей коллаборативной фильтрации можно эффективно использовать алгоритмы матричной факторизации. Несмотря на активное развитие новых методов машинного обучения, некоторые модификации латентно-факторных моделей демонстрируют передовое качество предсказания рейтингов на наборах данных рекомендательных систем [2]. Однако, ошибка предсказания обученной модели существенно зависит от используемых гиперпараметров [3, 4]. При этом, поскольку конечная задача РС состоит в формировании списка рекомендаций, даже небольшие изменения предсказаний могут значительно повлиять на опыт пользователей [5].

Указанная особенность критически повышает важность выполнения дорогостоящей оптимизации гиперпараметров. Как правило, она выполняется с применением методов общего назначения [6], которые рассматривают модель как «чёрный ящик», не используя никакой априорной информации о форме её функции потерь. Однако, латентно-факторные рекомендательные модели обладают отличительными особенностями, которые могут быть учтены для более эффективного поиска оптимального набора гиперпараметров. Данное исследование направлено на обнаружение некоторых таких особенностей.

Алгоритмы SVD и SVD++. Задача оптимизации гиперпараметров.

Формальная постановка задачи звучит следующим образом. Даны множество пользователей U и множество объектов I . Известны рейтинги $\mathcal{K} = \{r_{ui} \in \mathbb{R} \mid u \in U \wedge i \in I\}$, где r_{ui} – рейтинг, поставленный пользователем u объекту i . Необходимо рассчитать множество неизвестных рейтингов $\{\hat{r}_{ui} \in \mathbb{R} \mid u \in U \wedge i \in I \wedge \notin \mathcal{K}\}$. В более общем случае можно сказать, что РС рассчитывает матрицу $\hat{\mathbf{R}} \in \mathbb{R}^{U \times I}$, содержащую предсказания \hat{r}_{ui} для всех возможных пар пользователей и объектов.

Алгоритм SVD строит модель, предсказывающую рейтинг по формуле:

$$\hat{r}_{ui} = \mathbf{p}_u \mathbf{q}_i^T + \mu_{\mathcal{K}} + b_u + b_i, \quad (1)$$

где $\mathbf{p}_u \in \mathbb{R}^f$ – вектор латентных факторов пользователя u , $\mathbf{q}_i \in \mathbb{R}^f$ – вектор латентных факторов объекта i , b_u и b_i – смещения пользователя u и объекта i соответственно, $\mu_{\mathcal{K}}$ – среднее арифметическое рейтинга в наборе данных.

Алгоритм SVD++ позволяет делать более точные предсказания за счёт усложнения модели. Для объектов вводятся дополнительные вектора факторов $\mathbf{y}_i \in \mathbb{R}^f$, а для пользователей – множества объектов, которые они оценили: $I_u = \{i \in I | r_{ui} \in \mathcal{K}\}$. Тогда рейтинг рассчитывается по формуле

$$\hat{r}_{ui} = \left(\mathbf{p}_u + |I_u|^{-\frac{1}{2}} \sum_{j \in I_u} \mathbf{y}_j \right) \mathbf{q}_i^T + \mu_{\mathcal{K}} + b_u + b_i. \tag{2}$$

Для обучения моделей минимизируется регуляризованная квадратичная ошибка:

$$\sum_{r_{ui} \in \mathcal{K}} [(r_{ui} - \hat{r}_{ui})^2 + \lambda \|\mathbf{h}\|^2], \tag{3}$$

где λ – константа регуляризации, \mathbf{h} – вектор регуляризуемых параметров ($\mathbf{h} = [b_u, b_i, \|\mathbf{p}_u\|, \|\mathbf{q}_i\|]$ для SVD, $\mathbf{h} = [b_u, b_i, \|\mathbf{p}_u\|, \|\mathbf{q}_i\|, \|\mathbf{y}_i\|]$ для SVD++).

Большинство модификаций алгоритмов семейства SVD строятся аналогичным образом. Гиперпараметры λ и f подлежат оптимизации по всех подобных случаях. Пусть они имеют области определения $\overline{\theta}_\lambda$ и $\overline{\theta}_f$ соответственно, образуя пространство конфигурации гиперпараметров $\Theta = \overline{\theta}_\lambda \times \overline{\theta}_f$. Модель обучается с набором гиперпараметров $\theta \in \Theta$ на тренировочной части набора данных, и показывает на валидационной ошибку $\mathcal{L}(\theta)$. Необходимо найти набор θ_{best} , соответствующий минимальной ошибке. Главным препятствием является высокая вычислительная стоимость $\mathcal{L}(\theta)$.

Современным решением задачи оптимизации гиперпараметров является применение метода байесовской оптимизации. Он состоит из двух компонентов – суррогатной модели функции потерь, и функции извлечения точек, использующей её предсказания для определения порядка обхода пространства поиска. В рамках данной работы интерес представляет первый из них, так как форма предсказываемой функции потерь критическим образом влияет на эффективность обхода поискового пространства. В частности, исследуется поведение гауссовских процессов, поскольку именно они часто выбираются для прогнозирования $\mathcal{L}(\theta)$ при небольшом количестве оптимизируемых гиперпараметров.

Экспериментальная апробация моделей.

Для проведения экспериментов были использованы широко известные наборы данных Movielens [7]. В таблице 1 приведена их краткая характеристика.

Таблица 1 – Используемые в исследовании наборы данных

Название	Количество пользователей	Количество объектов	Количество рейтингов
Movielens 100k	943	1 682	100 000
Movielens 1M	6 040	3 706	1 000 209
Movielens 10M	69 878	10 677	10 000 054

Каждый набор данных \mathcal{K} случайным образом делится на тренировочный \mathcal{K}_{train} и валидационный \mathcal{K}_{valid} в соотношении 80% на 20% соответственно. На тренировочной части обучаются модели SVD и SVD++, скорость обучения – фиксированная 0.05, количество эпох обучения 20. Для параметров b_u и b_i используется фиксированная константа регуляризации $\lambda_b = 0.02$. В качестве метрики ошибок используется RMSE:

$$\mathcal{L}(\theta) = \sqrt{\frac{\sum_{r_{ui} \in \mathcal{K}_{valid}} (r_{ui} - \hat{r}_{ui})^2}{|\mathcal{K}_{valid}|}}, \tag{4}$$

где \hat{r}_{ui} – рейтинг, предсказанный моделью, обученной с набором гиперпараметров θ на наборе \mathcal{K}_{train} .

Исследование работы моделей в зависимости от значений f и λ выполняется по следующим шагам:

1. Для измерения RMSE величина f меняется от 10 до 100 с шагом в 10, а λ – от 0.01 до 0.1 с шагом 0.01.

2. С фиксированным значением $\lambda = 0.04$ измеряется время обучения моделей при всех величинах f в промежутке от 1 до 100.

3. Выполняется байесовская оптимизация f и λ : количество итераций поиска равно 10; количество начальных случайных точек – 1; суррогатная модель функции потерь – гауссовский процесс, определённый ковариационной функцией Матерна 5/2.

В экспериментах использовалась быстрая реализация SVD и SVD++, основанная на работе Жао [8]. Запуск выполнялся на процессоре Intel Core i5-4690 с использованием 16 ГБ памяти DDR3 на частоте 1600 МГц.

На рис. 1 показаны полученные величины ошибок моделей.

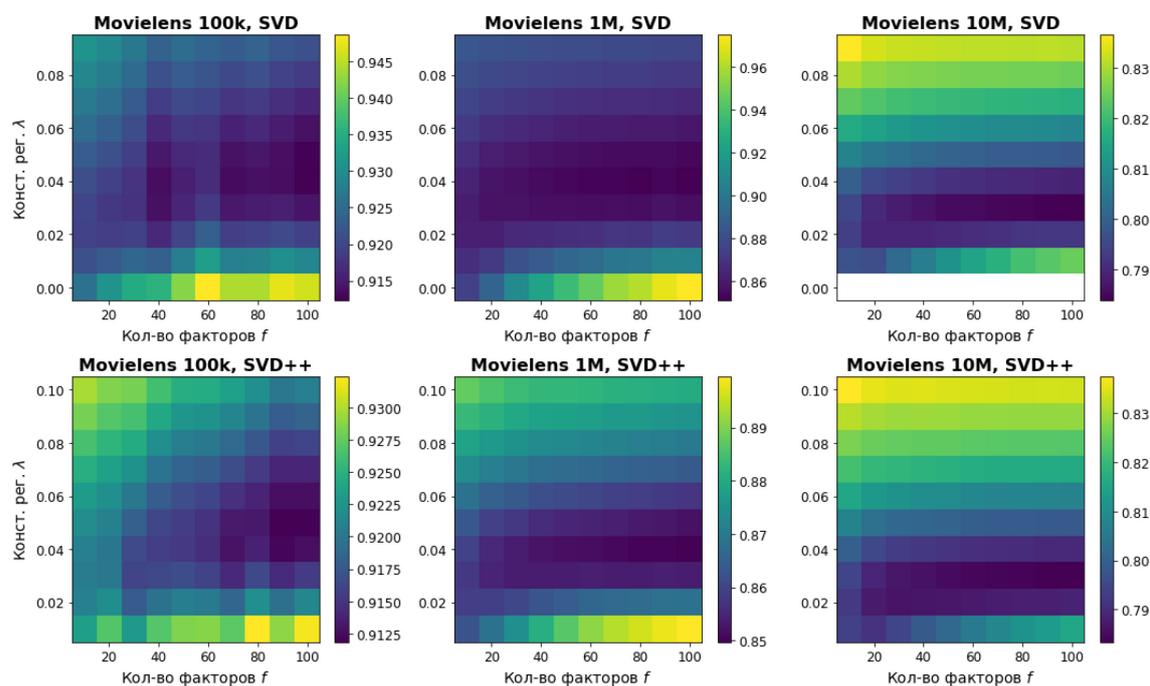


Рис. 1 – Значения RMSE с различными f и λ

Представленная визуализация отражает несколько важных зависимостей. Во-первых, при фиксированном f функция зависимости $\mathcal{L}(\theta)$ от λ имеет только один глобальный минимум, но не имеет ярко выраженных локальных (в то время как для разных f существуют локальные минимумы). Во-вторых, окрестность оптимального значения λ при f , меньших искомого, практически совпадает с целевой. В-третьих, рассматриваемая окрестность значительно сужается при увеличении размера набора данных. В целом разброс значений $\mathcal{L}(\theta)$ в зависимости от λ значительно увеличивается для наборов большего размера (если не учитывать вырожденный случай $\lambda = 0$). Более того, такие зависимости наблюдаются и при усложнении модели (область оптимальных значений λ для SVD++ уже, чем для SVD, обученного на тех же данных).

На рис. 2 показана зависимость времени обучения и расчёта ошибки модели от количества факторов f .

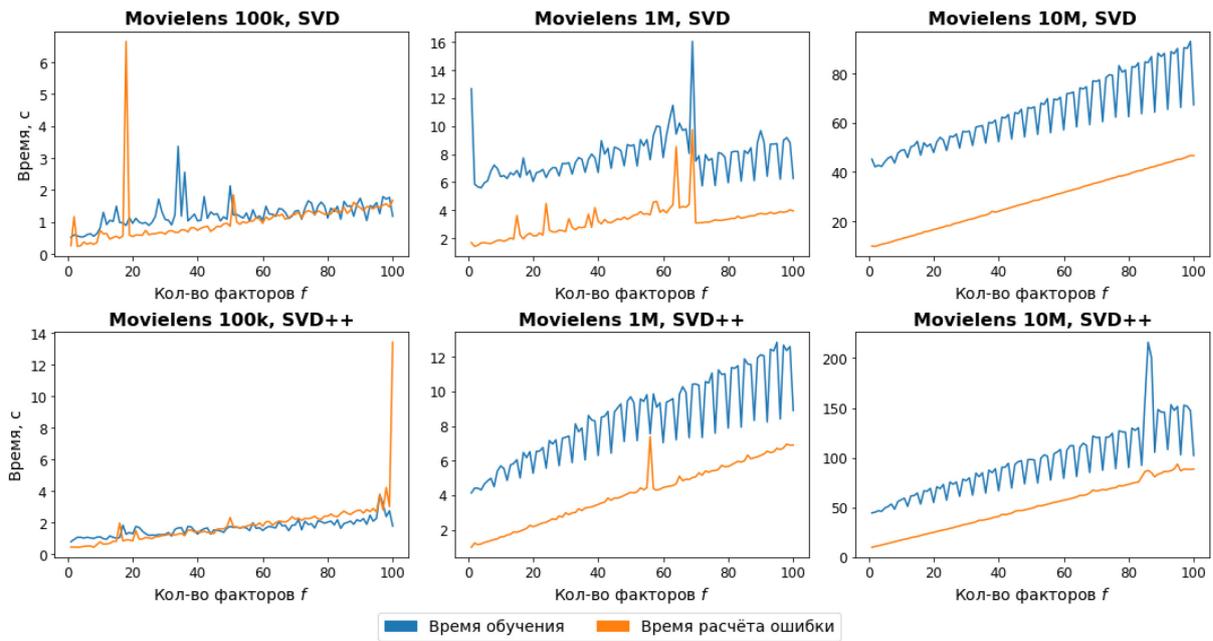


Рис. 2 – Зависимость времени расчёта $\mathcal{L}(\theta)$ от f

Согласно аналитическим оценкам, зависимость сложности алгоритмов семейства SVD от количества факторов не менее, чем линейна. Полученные результаты подтверждают эти положения. В целом наблюдается линейная зависимость, а график времени обучения пилообразен и имеет случайные всплески из-за особенностей реализации, в частности – активных дисковых операций, используемых векторных инструкций процессора, размера кэша и частоты промахов кэша, а также применяемых при компиляции оптимизаций циклов.

Предсказания математического ожидания $E[\mathcal{L}(\theta)]$, выполненные гауссовскими процессами после байесовской оптимизации гиперпараметров, продемонстрированы на рис. 3.

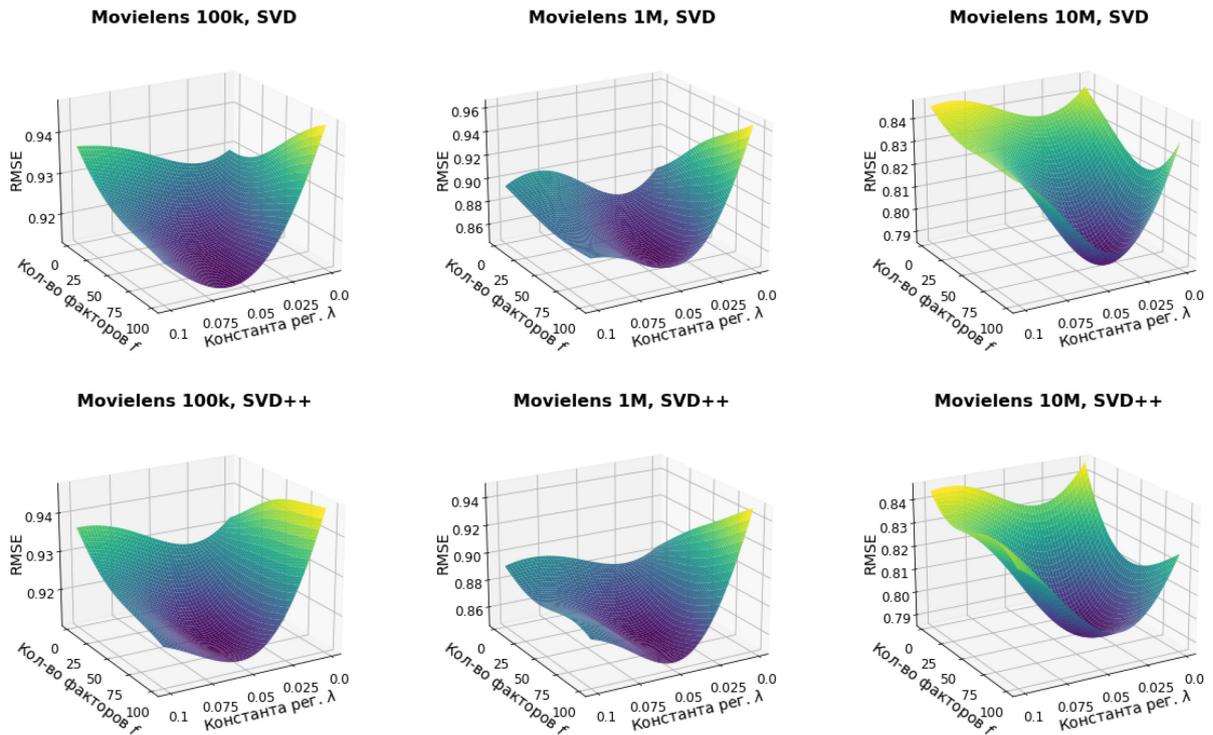


Рис. 3 – Предсказания $E[\mathcal{L}(\theta)]$ гауссовскими процессами.

К математическому ожиданию ошибки моделей, показанному на рис. 3, применимы все аналитические выводы, представленные для реальной формы $\mathcal{L}(\theta)$ на рис. 1. Отличия заключаются лишь в несколько большем разбросе значений, особенно – в угловых точках пространства. Таким образом, всего с 11 апробациями модели (включая начальную случайную точку) предсказание получилось достаточно точным.

Заключение

Полученные данные позволяют сделать важный вывод о стоимости апробации и форме функции потерь моделей на основе матричной факторизации на пространстве гиперпараметров, образованным количеством факторов и константами регуляризации. При выполнении оптимизации гиперпараметров на первых итерациях можно исследовать значения констант регуляризации при значительно меньших количествах факторов, за счёт чего окрестность их искомой величины будет определена за существенно меньшее время. Результаты экспериментов и аналитические выводы подтверждают, что обнаруженная в этом случае окрестность практически совпадёт с искомой, а значит подобная экономия ресурсов не вызовет необходимости совершать дополнительных итераций с большими количествами факторов. При этом такая зависимость усиливается с увеличением размера набора данных и усложнением модели, что позволяет значительно сократить время и стоимость оптимизации в абсолютном выражении. Полученные результаты могут быть применены к рекомендательным моделям на основе алгоритмов SVD и SVD++.

Список литературы

1. Recommender Systems Handbook / под ред. Ricci F., Rokach L., Shapira. B. – New York: Springer US, 2015. – 1008 с.
2. Rendle S., Zhang L., Koren Y. On the Difficulty of Evaluating Baselines: A Study on Recommender Systems // arXiv.org – 2019. – Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/1905.01395v1>
3. Galuzzi B.G. и др. Hyperparameter optimization for recommender systems through Bayesian optimization / Galuzzi B.G., Giordani I., Candelieri A., Archetti F. // Comput Manag Sci., 2020. – Т. 17. № 4. – с. 495–515.
4. Fathan G., Bharata Adji T., Ferdiana R. Impact of Matrix Factorization and Regularization Hyperparameter on a Recommender System for Movies // EECSI. 2018. – Т. 5. № 1.
5. Aggarwal C.C. Recommender Systems. The Textbook. – Springer International Publishing, 2016. – 518 с.
6. Automated Machine Learning / под ред. F. Hutter, L. Kotthoff, J. Vanschoren. – Springer International Publishing, 2019. – 223 с.
7. Harper F.M., Konstan J.A. The MovieLens Datasets // ACM Trans. Interact. Intell. Syst. 2016. – Т. 5. № 4. – с. 1–19.
8. Zhao E. Optimized-for-speed Eigen implementations of SVD, SVD++ and TimeSVD++ algorithms. – Режим доступа: <https://github.com/ericzhao28/SVDistic>

05.13.18

Д.С. Пинягин, Н.М. Труфанова д-р техн. наук

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
кафедра конструирования и технологии в электротехнике,
Пермь, PinyaginDS@gmail.com, ktei@pstu.ru

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В СКВАЖИНЕ С ПРИЗАБОЙНЫМ НАГРЕВАТЕЛЕМ

В работе рассмотрена двумерная осесимметричная математическая модель процесса теплопереноса в нефтяной скважине с призабойным нагревателем, который используется для скважин с высоковязкой нефтью. Реализация разработанных математических моделей осуществлялась методом конечных объемов в программном комплексе ANSYS. Произведено сравнение двух математических моделей течения нефти с турбулентным и ламинарным режимами течения с учетом призабойного нагревателя. В результате исследования были получены поля скоростей, температур во всем объеме скважины. Построены распределения скоростей и температур по сечению НКТ. Исследовано влияние величины вязкости на температуру перед входом в электрический центробежный насос. Была выбрана наиболее оптимальная модель течения.

Ключевые слова: *призабойный нагреватель, нефтяная скважина, турбулентное течение, высокая вязкость, тепловой процесс.*

В настоящее время в нефтяной отрасли возникает ряд проблем при добычи высоковязкой нефти. Большинство месторождений с нефтью высокой вязкости требуют особых методов ее добычи. Одним из таких методов рассматривается в данной работе. Одним из методов добычи нефти является метод с использованием центробежного насоса. Так как электрические центробежные насосы имеют ограничение по величине вязкости перекачиваемой среды, то для работы насоса в высоковязкой нефти необходимо понижение вязкости последней до необходимых значений. Суть метода заключается в прогреве призабойной зоны скважины при помощи электрического нагревателя цилиндрической формы. Данный метод снижает вязкость нефти перед электрическим центробежным насосом.

Основной целью данной работы является сравнение различных моделей турбулентного и ламинарного течения, и выявления оптимальной для решения данной задачи. Решение данной задачи позволит принять необходимые меры по снижению вязкости нефти на заранее известном участке, определяемом местом расположения центробежного насоса в нефтяной скважине, что в свою очередь существенно снизит материальные затраты при разработке месторождений.

При разработке математической модели были сделаны следующие допущения: задача осесимметричная, стационарная, течение нефти – турбулентное, теплофизические свойства твердых материалов не зависят от температуры, бесконечный массив земли заменен ограниченной областью, на границе раздела разнородных сред выполняется условие идеального контакта.

Математическая модель движения и теплопереноса[1,2] в нефтяной скважине основывается на законах сохранения энергии, сохранения количества движения и сохранения массы[3,4].

Система уравнений представлена в статье[4].

Схематичное изображение области исследования и граничные условия представлены на рисунке 1. Расстояние от призабойного нагревателя до центробежного насоса составляло 80 м (от границы Г1 до Г4).

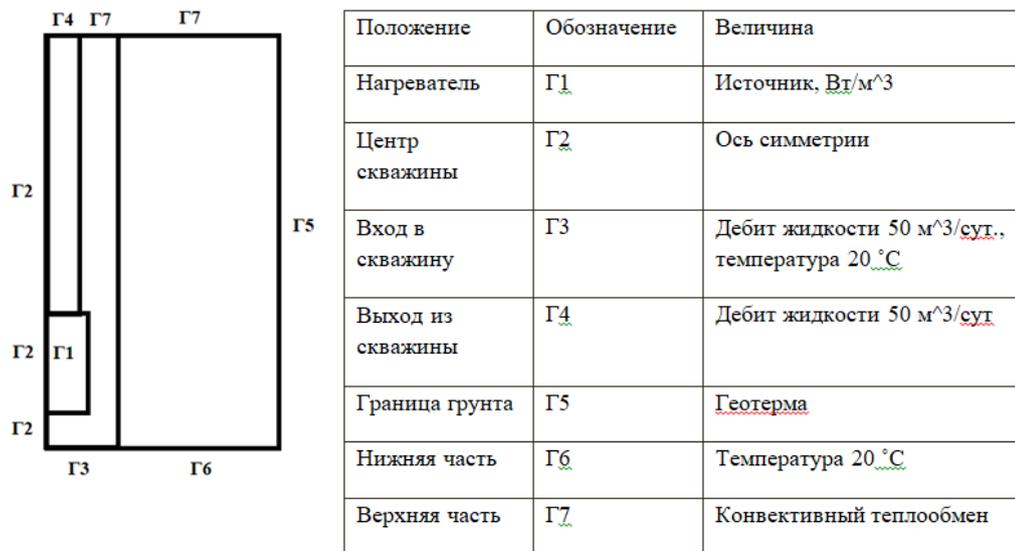


Рис. 1 – Граничные условия

В результате реализации разработанной модели были получены следующие результаты :

1. Влияние величины дебита на температуру нефти перед входом в электрический центробежный насос.

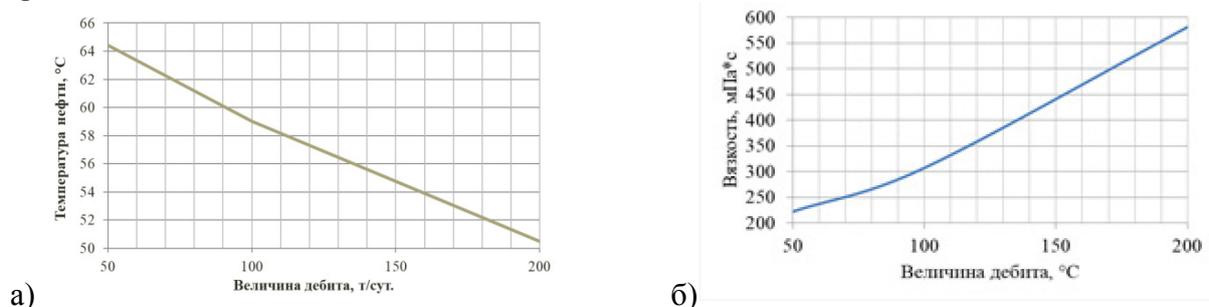


Рис. 2 – а) Зависимость температуры нефти от величины дебита перед входом в электрический центробежный насос. б) Зависимость вязкости нефти от величины дебита перед входом в электрический центробежный насос.

Из рисунка 2а видно, что увеличение дебита в два раза ведет к снижению температуры на 6°С, а увеличение дебита в четыре раза приводит к снижению температуры нефти на 14°С. Величина вязкости при этом изменяется в диапазоне от 220 до 580 мПа*с рис. 2б. Снижение температуры на входе в ЭЦН, связано с тем, что нефть не успевает прогреваться по мере движения по НКТ. Это ведет к возрастанию вязкости нефти, следовательно, насос не сможет перекачать её в полном объеме, по этой причине потребуется повысить мощность нагревателя, что приведет увеличению прямых затрат на электроэнергию.

2. Сравнение ламинарного и турбулентного течения при различной вязкости, изменяющейся от 0.1 Па*с до 10 Па*с.

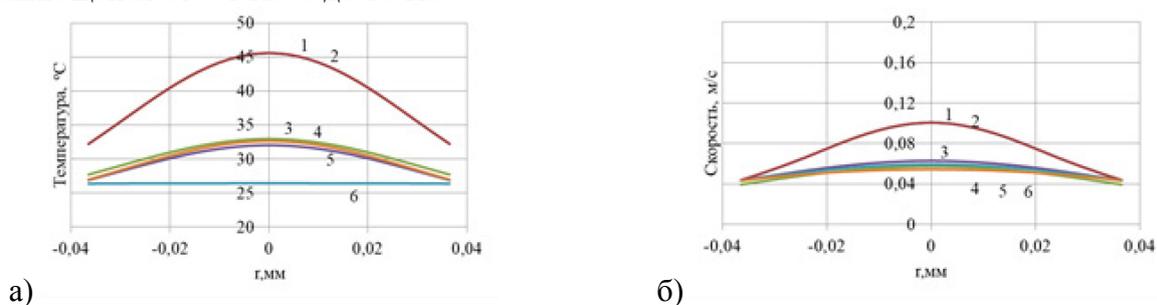


Рис. 3 – а) Распределение температур по сечению НКТ при различной вязкости, б) Распределение скоростей по сечению НКТ при различной вязкости : 1- 10 Па*с Ламинарное, 2- 10 Па*с Турбулентное, 3- 1 Па*с Ламинарное, 4- 1 Па*с Турбулентное, 5- 0,1 Па*с Ламинарное, 6- 0,1 Па*с Турбулентное.

Из рисунка 3 видно, что турбулентное течение проявляется при вязкости $0,1 \text{ Па}\cdot\text{с}$, желтая и зеленая кривые. При этом отличие по максимальной скорости мало и не превышает 1%. В остальных случаях кривые практически совпадают. Следовательно, можно ограничиться рассмотрением ламинарного режима течения.

3. Распределение вязкости нефти по глубине скважины в области от призабойного нагревателя до насоса.

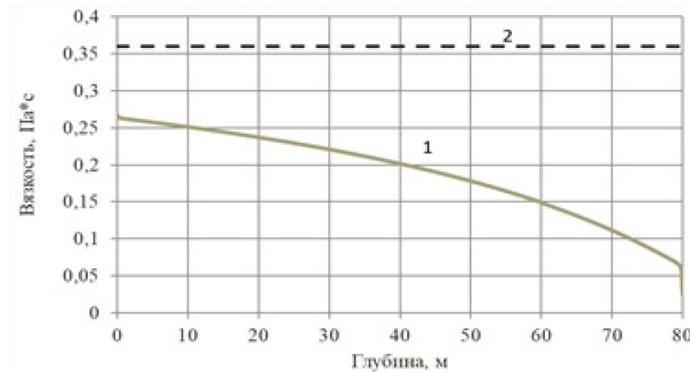


Рис. 4 – Распределение вязкости нефти по глубине скважины после призабойного нагревателя: 1-Кривая распределения вязкости нефти по глубине; 2-Критическая вязкость при которой затруднена перекачка нефти при помощи ЭЦН.

Ограничение по вязкости нефти для электрического центробежного насоса составляет $360 \text{ мПа}\cdot\text{с}$. В данном случае рассматривается начальная вязкость нефти $10 \text{ Па}\cdot\text{с}$.

На рисунке 4 представлено изменение величины вязкости нефти по глубине скважины после призабойного нагревателя. Вязкость нефти на входе в электрический центробежный насос составляет $0,265 \text{ Па}\cdot\text{с}$, что ниже максимально допустимого на 26% из чего следует, что данный метод снижения вязкости нефти способен обеспечить условия для перекачки нефти из скважины.

Разработанная математическая модель процессов тепломассопереноса нефти в скважине с учетом призабойного нагревателя позволяет описывать характер течения и теплообмена нефти непосредственно в области перед электрическим центробежным насосом. В результате реализации разработанной математической модели получена зависимость вязкости по высоте участка скважины, расположенного перед центробежным насосом, оценено влияние дебета и начальной вязкости нефти на значение вязкости разогретой нефти, прошедшей через нагреватель. Произведена оценка возможности бесперебойной работы центробежного насоса, связанной с заданным допустимым максимально возможным значением вязкости нефти на входе в центробежный насос. С практической точки зрения использование предложенной математической модели позволяет подобрать геометрические и тепловые параметры нагревателя для каждой конкретной скважины, что в свою очередь приведет к снижению вязкости нефти на заранее известном участке и обеспечит бесперебойную работу насоса.

Список литературы

1. *Ибрагимов А.М.* Тепломассоперенос при граничных условиях второго и третьего рода // Промышленное и гражданское строительство. – 2006. – № 9. – С. 58–59.
2. *Филиппов А.И., Ахметова О.В., Родионов А.С.* Температурное поле турбулентного потока в скважине // Теплофизика высоких температур. 2013. Т. 51. № 2. С. 277.16
3. *Пинягин Д.С., Костарев Н.А., Труфанова Н.М.* // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления = Perm National Research Polytechnic University Bulletin. Electrotechnics, Information Technologies, Controlsystems. - 2019. - № 30. - С. 211-226.
4. *Пинягин Д.С., Костарев Н.А., Труфанова Н.М.* // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления = Perm National Research Polytechnic University Bulletin. Electrotechnics, Information Technologies, Controlsystems. - 2020. - № 36. - С. 48-62.

05.13.18

Н.А. Семькина, В.И. Суворов, И.А. Шаповалова

Тверской государственной университет,
математический факультет,
кафедра компьютерной безопасности и математических методов управления,
Тверь, Semykina.NA@tversu.ru, Shapovalova.IA@tversu.ru, Vladimir.Suvorov@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ КОМПЬЮТЕРНЫМ АТАКАМ

Для оценки и прогноза динамики процесса подавления деструктивных воздействий кибератак на информационный ресурс создана математическая модель, представленная системой нелинейных дифференциальных уравнений. Построенная модель исследована на устойчивость. Анализ проводился с помощью первого метода Ляпунова. Получены условия существования устойчивого положения равновесия.

Ключевые слова: *математическое моделирование, компьютерная атака, устойчивость системы.*

В настоящее время остро стоит вопрос обеспечения информационной безопасности компьютерных систем. По статистическим данным [1] на сегодняшний день наиболее распространенной причиной (59%) нарушения работы сети государственных учреждений, оборонных предприятий и крупных организаций – это целенаправленные кибератаки (АРТ-атаки). Атака АРТ превосходит обычные киберугрозы, так как ориентируется на взлом конкретной цели и готовится на основании информации о ней, собираемой в течение длительного времени. АРТ осуществляет взлом целевой инфраструктуры посредством эксплуатации программных и аппаратных уязвимостей и методов социальной инженерии [2]. Выделяют 4 стадии целевой атаки (подготовка, проникновение, распространение, достижение цели), каждая из которых сопровождается деятельностью, направленной на сокрытие следов присутствия в системе. Основным способом противостояния целевым атакам является недопущение их начала, поскольку активную атаку крайне сложно заметить. Если атака все-таки была начата, или есть предположение о её наличии, ставится задача обнаружения и локализации. Хотя существует целый комплекс различных мер, направленных на обнаружение АРТ, они, зачастую, оказываются малоэффективны [3]. Для создания эффективных контрмер требуется всестороннее исследование проблемы. Одним из подходов к анализу распространения вредоносных программ в информационных системах является математическое моделирование, которое позволяет рассмотреть различные сценарии последствий кибератак. Построим математическую модель, описывающую управление мерами защиты в компьютерной системе.

Процесс защиты от кибератак будем рассматривать на временном интервале $[0, T]$. Предположим, что один и тот же информационный ресурс могут одновременно атаковать несколько хакерских групп. Обозначим через $x_i(t)$ – количество компьютерных атак на инфраструктуру ресурса i -й группировкой в момент времени t . При построении математической модели будем исходить из того, что противоборствующие стороны придерживаются только своей тактики ведения кибератак, не принимая во внимание активность другой противоборствующей стороны. Интенсивность атак злоумышленников зависит от коэффициента интенсивности $\alpha_i(t)$, а также от уровня развития информационных технологий I_i . Информационная система пытается подавить атаки в объеме, равном $z(t)$ с интенсивностью $\beta_i(t)$. Успех защищаемой стороны зависит от ее технологического уровня I и эффективности подавления кибервторжения $\gamma_i(t)$.

В соответствии с вышеперечисленными предположениями имеем следующую систему дифференциальных уравнений с начальными условиями

$$\begin{cases} \frac{dx_i}{dt} = \alpha_i(t)x_i(t)\left(1 - \frac{x_i(t)}{I_i}\right) - \beta_i(t)z(t), & x_i(0) = x_{i0}, i = \overline{1, n}; \\ \frac{dz}{dt} = \left(\sum_{i=1}^n \gamma_i(t)x_i(t)\right)\left(1 - \frac{z(t)}{I}\right), & z(0) = z_0. \end{cases}$$

Исследуем построенную модель на устойчивость. Для анализа задачи рассмотрим сценарий, когда информационную систему атакуют две кибергруппировки, т.е. $i = 1, 2$. Предположим, что параметры модели являются постоянными: $\alpha_i(t) = \alpha_i$, $\beta_i(t) = \beta_i$, $\gamma_i(t) = \gamma_i$. В этом случае динамическая система имеет следующий вид

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = \alpha_1 x_1(t)\left(1 - \frac{x_1(t)}{I_1}\right) - \beta_1 z(t), & x_1(0) = x_{10}, \\ \frac{dx_2}{dt} = \alpha_2 x_2(t)\left(1 - \frac{x_2(t)}{I_2}\right) - \beta_2 z(t), & x_2(0) = x_{20}, \\ \frac{dz}{dt} = \left(\sum_{i=1}^2 \gamma_i x_i(t)\right)\left(1 - \frac{z(t)}{I}\right), & z(0) = z_0. \end{cases}$$

Предположим, что существуют положения равновесия. Рассматривая различные варианты равенства нулю множителей третьего уравнения системы, и учитывая, что все параметры и функции модели должны быть неотрицательными значениями, получаем нетривиальные точки равновесия:

$$\begin{aligned} p_1^* &= (x_1^*, x_2^*, z^*) = \left(\frac{\alpha_1 I_1 + b_1}{2\alpha_1}, \frac{\alpha_2 I_2 + b_2}{2\alpha_2}, I\right), \\ p_2^* &= (x_1^*, x_2^*, z^*) = \left(\frac{\alpha_1 I_1 - b_1}{2\alpha_1}, \frac{\alpha_2 I_2 + b_2}{2\alpha_2}, I\right), \\ p_3^* &= (x_1^*, x_2^*, z^*) = \left(\frac{\alpha_1 I_1 + b_1}{2\alpha_1}, \frac{\alpha_2 I_2 - b_2}{2\alpha_2}, I\right), \\ p_4^* &= (x_1^*, x_2^*, z^*) = \left(\frac{\alpha_1 I_1 - b_1}{2\alpha_1}, \frac{\alpha_2 I_2 - b_2}{2\alpha_2}, I\right), \end{aligned}$$

где $b_1 = \sqrt{\alpha_1^2 I_1^2 - 4\alpha_1 I_1 \beta_1 I}$, $b_2 = \sqrt{\alpha_2^2 I_2^2 - 4\alpha_2 I_2 \beta_2 I}$.

Заметим, что в силу физического смысла задачи все значения точек устойчивости положительны, т.е. $x_1^* > 0$, $x_2^* > 0$, $z^* > 0$.

Применим метод Ляпунова по первому приближению в окрестности точек равновесия [3]. Матрица коэффициентов линеаризованной системы будет иметь вид

$$J(p_i^*) = \begin{pmatrix} \alpha_1 - 2\frac{\alpha_1}{I_1}x_1^* - \lambda & 0 & -\beta_1 \\ 0 & \alpha_2 - 2\frac{\alpha_2}{I_2}x_2^* - \lambda & -\beta_2 \\ \alpha_1\left(1 - \frac{z^*}{I}\right) & \alpha_2\left(1 - \frac{z^*}{I}\right) & -\frac{(\alpha_1 x_1^* + \alpha_2 x_2^*)}{I} - \lambda \end{pmatrix}.$$

Используя значения точек равновесия, получаем характеристическое уравнение третьего порядка

$$\left(\alpha_1 - 2\frac{\alpha_1}{I_1}x_1^* - \lambda\right)\left(\alpha_2 - 2\frac{\alpha_2}{I_2}x_2^* - \lambda\right)\left(-\frac{(\alpha_1 x_1^* + \alpha_2 x_2^*)}{I} - \lambda\right) = 0.$$

Отсюда довольно легко найти решение этого уравнения

$$\lambda_1 = \alpha_1 - 2 \frac{\alpha_1 x_1^*}{I_1}, \quad \lambda_2 = \alpha_2 - 2 \frac{\alpha_2 x_2^*}{I_2}, \quad \lambda_3 = - \frac{(\alpha_1 x_1^* + \alpha_2 x_2^*)}{I}$$

Для устойчивости динамической системы действительная часть всех собственных значений матрицы устойчивости должна быть отрицательна. Для λ_3 это условие выполняется всегда. Исследуем другие собственные числа.

$$\lambda_1 < 0, \text{ если } x_1^* > \frac{I_1}{2}, \quad \lambda_2 < 0, \text{ если } x_2^* > \frac{I_2}{2}.$$

Отсюда следует, что точки равновесия p_2^* , p_3^* , p_4^* не удовлетворяют этим ограничениям, следовательно, в окрестности этих точек динамическая система не является устойчивой, а точка p_1^* является устойчивой.

Данные условия означают, что кибергруппировки для реализации компьютерных атак должны использовать более половины своего технологического резерва, а защищаемая информационная система для успешного отражения атак – весь свой технологический потенциал.

Как было сказано выше, современные АРТ-атаки имеют сложный сценарий проникновения и захвата информационных ресурсов, поэтому для построения адекватной модели рассмотрим параметры интенсивности атак $\alpha_i(t)$, как функции времени. Возможны различные случаи.

Если компьютерные атаки носят волнообразный характер, т. е. увеличиваются к определенному моменту времени t^* , а затем снижаются до нуля, то для описания параметра интенсивности можно выбрать тригонометрическую функцию.

$$\alpha_i(t) = A_i \sin\left(\frac{\pi}{2t^*} t\right) + k_i, \quad A_i, k_i - \text{положительные константы.}$$

Случай, когда кибергруппировка сначала реализует подготовительный этап вторжения, а затем в определенный момент времени t^* проводят лавинообразную атаку, можно описать с помощью степенной функции.

$$\alpha_i(t) = A_i (t - t^*)^n + k_i, \quad A_i, k_i - \text{положительные константы.}$$

Сценарий, когда достигнув своего максимума в информационных технологиях I_i , с течением времени интенсивность атак не изменяется, можно описать логарифмической функцией.

Если на определенном промежутке времени интенсивность атак падает, то происходящие можно описать через обратную тригонометрическую функцию.

Аналогичные ситуации можно рассмотреть и для параметров, характеризующие действия защищаемой информационной системы.

В ходе проведенной работы разработана модель противодействия компьютерным атакам. Модель может найти применение в обеспечении информационно-аналитической поддержки принятия управленческих решений в сфере компьютерной безопасности.

Список литературы

1. Кибербезопасность 2019—2020: тенденции и прогнозы. URL: <https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/cybersecurity-2019-2020/> (дата обращения: 20.04.2021).
2. Левцов В., Демидов Н. Анатомия таргетированной атаки, часть 1// Information Security/ Информационная безопасность. - 2016. - № 2. — С. 36 - 39. (дата обращения: 20.04.2021).
3. Левцов В., Демидов Н. Анатомия таргетированной атаки, часть 3// Information Security/ Информационная безопасность. - 2016. - № 4. — С. 40-45. URL: <http://lib.itsec.ru/articles2/Oborandteh/anatomiya-targetirovannoy-ataki>. (дата обращения: 20.04.2021).
4. Демидович Б.П. Лекции по математической теории устойчивости. – СПб.: Лань, 2008.

05.13.18

О.В. Соловьева, С.А. Соловьев, Р.С. Зарипова, А.В. Чупаев, А.В. Каляшина

Казанский государственный энергетический университет,
Казань, solovyeva.ov@kgeu.ru**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОЙ ПОРИСТОСТИ ЯЧЕИСТОГО МАТЕРИАЛА
ДЛЯ ЗАДАЧ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГАЗА С ПОРИСТЫМ МАТЕРИАЛОМ**

В настоящей работе проведено сравнение эффективности работы моделей высокопористого ячеистого материала (ВПЯМ), построенных простыми аналитическими методами. Параметр эффективности работы материала определен как произведение площади поверхности и времени прохождения газа через пористую среду. Аналитическая оценка показывает разные значения эффективной пористости для разных моделей построения материала. При этом для всех рассмотренных моделей эффективная пористость находится в пределах 0.741-0.821.

Ключевые слова: высокопористый проницаемый ячеистый материал, эффективная пористость, математическая модель.

Неупорядоченность структуры пористой среды позволяет использовать высокопористые ячеистые материалы (ВПЯМ) в качестве фильтров и теплообменников [1-5], а развитая площадь поверхности в сочетании с низким сопротивлением позволяет использовать ВПЯМ в качестве катализаторов для процессов с поверхностными реакциями [6-9].

В настоящей работе построены упорядоченные модели ВПЯМ с применением трех методов: простая кубическая упаковка, объемно-центрированная кубическая упаковка и поверхностно-центрированная кубическая упаковка. Модели ВПЯМ созданы в широком диапазоне значений пористости. Для построенных моделей исследованы: пористость, площадь поверхности твердого материала, время прохождения газа через пористую среду.

Постановка задачи и метод решения

Для построения ВПЯМ часто используют геометрию обратную к упаковке пересекающихся сфер. В свою очередь упаковку сфер можно построить разными способами, например, случайным образом засыпав сферы в область и задав возможность их пересечения. В таком случае сложно заранее определить пористость окончательной геометрии. Наряду со случайной упаковкой сфер существуют модели упорядоченных структур, например, простая кубическая (ПК) упаковка, объемно-центрированная кубическая (ОЦК) упаковка и поверхностно-центрированная кубическая (ПЦК) упаковка. Примеры таких структур представлены на рисунке 1, а-в.

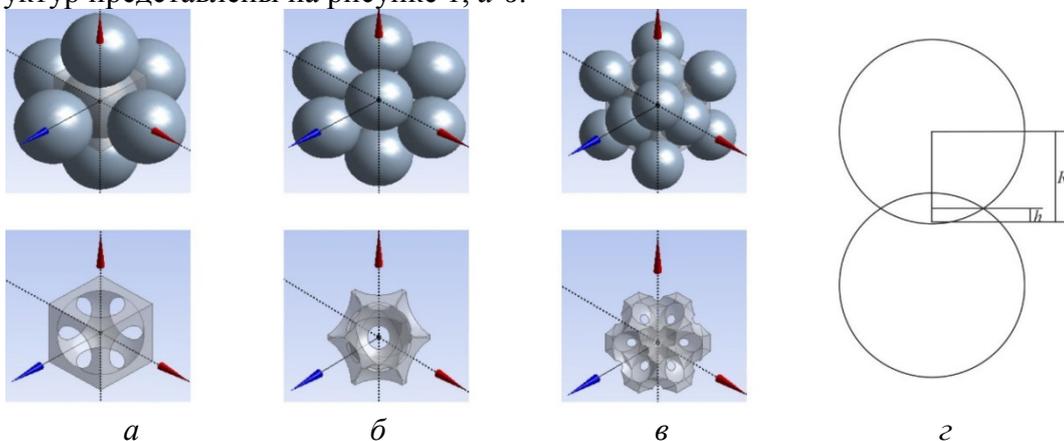


Рис. 1 – Модели периодического элемента ВПЯМ: а – простая кубическая упаковка, б – объемно-центрированная кубическая упаковка, в – поверхностно-центрированная кубическая упаковка, г – схема расположения двух взаимопроникающих сфер

Для рассматриваемых моделей заранее определены геометрические параметры, такие как объем порового пространства, площадь поверхности и пористость. Для расчета соответствующих параметров можно использовать формулы работы [10], полученные для кубического элемента.

Длина грани кубического элемента

$$a = A_1 2(R-h). \quad (1)$$

Объем порового пространства в элементе

$$V = B_1 \pi R^3 - B_2 \pi h^2 (3R-h). \quad (2)$$

Пористость

$$\varepsilon = V/a^3. \quad (3)$$

Площадь поверхности элемента

$$S = C_1 \pi R^2 - C_2 \pi h R. \quad (4)$$

В формулах (1)-(4): R – радиус сферической ячейки, h – расстояние взаимопроникновения сферических ячеек (рис. 1, з). Для модели ПК: $A_1=2$, $B_1=4/3$, $B_2=2$, $C_1=4$, $C_2=12$; для модели ОЦК: $A_1=4\sqrt{3}/3$, $B_1=8/3$, $B_2=16/3$, $C_1=8$, $C_2=32$; для модели ПЦК: $A_1=2\sqrt{2}$, $B_1=16/3$, $B_2=16$, $C_1=16$, $C_2=96$.

При оценке динамики газа исследователей интересует время контакта газа с пористой средой. Данный параметр важен, когда ВПЯМ используется в качестве теплообменника или катализатора. Если ВПЯМ выступает в качестве фильтра, то этот параметр будет актуальным в случае преобладания диффузионного механизма осаждения частиц.

Рассмотрим движение газа со скоростью U_{in} в канале, где расположен ВПЯМ с пористостью ε , рассчитанной по формуле (3). Предположим, что пористость равномерна во всем объеме материала, тогда скорость движения газа через пористый материал можно оценить как

$$U = U_{in}/\varepsilon. \quad (5)$$

Так как пористость $\varepsilon < 1$, то наименьшее значение скорости будет при наибольшем значении ε . Уменьшение скорости движения газа в пористой среде ведет к увеличению времени контакта газа с поверхностью пористого материала, которое мы можем оценить как

$$t = L/U, \quad (6)$$

где L – длина пористой области. Для единичного объема пористой области с единичной длиной мы имеем $t = 1/U = \varepsilon/U_{in}$.

Помимо времени контакта газа с поверхностью, важную роль играет также площадь поверхности твердого материала. Значение площади поверхности S для единичного объема определено выражением (4). Таким образом для оценки эффективности работы пористого материала мы рассмотрим величину

$$E = S t = S \varepsilon / U_{in}. \quad (7)$$

Результаты исследования и их обсуждение

Оценим изменение площади поверхности элемента ВПЯМ в зависимости от величины пористости при пересчете для кубического элемента единичного объема. Результаты представлены на рисунке 2, а. Видно, что площадь поверхности элемента пористого материала уменьшается с увеличением значения пористости для всех рассмотренных моделей (ПК, ОЦК, ПЦК). Таким образом наибольшую площадь поверхности мы получаем для наименьшего допустимого значения пористости. С другой стороны, уменьшение значения пористости приводит к увеличению скорости прохождения газа через пористую среду и, соответственно, к уменьшению времени контакта газа с поверхностью.

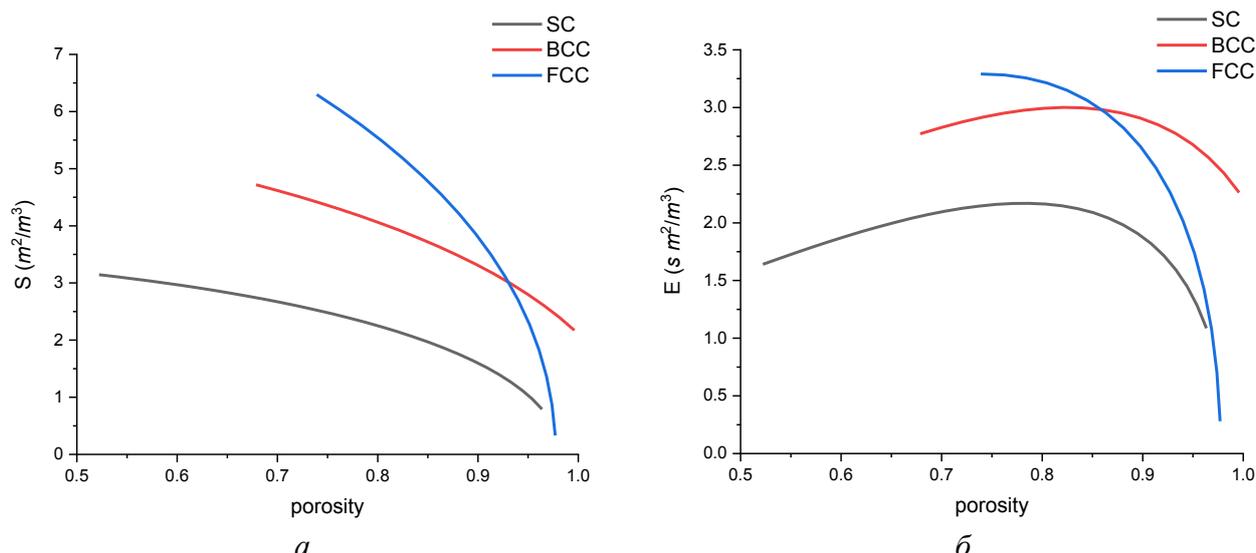


Рис. 2 – Зависимость площади поверхности элемента ВПЯМ от пористости (а), эффективности работы элемента ВПЯМ от пористости (б).

Затем построим графики зависимости согласно формуле (7) в зависимости от пористости материала. Для упрощения выберем $U_{in}=1$. Результаты представлены на рисунке 2, б. Здесь мы видим, что кривые имеют максимум, который находится не на границе отрезка изменения значения пористости. При этом выбор модели построения высокопористого ячеистого материала имеет существенное значение. Так для модели ПК максимум наблюдается при значении пористости $\varepsilon \approx 0.787$, для модели ОЦК $\varepsilon \approx 0.821$, для модели ПЦК $\varepsilon \approx 0.741$. Для модели ПЦК максимум введенного параметра эффективности E находится на границе допустимого значения пористости. Отметим, что несмотря на отличия рассчитанного параметра эффективности E для разных геометрических моделей высокопористого ячеистого материала, эффективная пористость находится в небольших пределах 0.741-0.821.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и правительства республики Татарстан в рамках научного проекта № 18-41-160005.

Список литературы

1. *Hellmann A., Pitz M., Schmidt K., Haller F., Ripperger S.* Characterization of an open-pored nickel foam with respect to aerosol filtration efficiency by means of measurement and simulation // *Aerosol Science and Technology*. 2015. V. 49, № 1. P. 16-23.
2. *Соловьев С.А., Соловьева О.В., Попкова О.С.* Численное моделирование движения аэрозольных частиц в высокопористом проницаемом ячеистом материале // *Журнал физической химии*. 2018. Т. 92, № 3. С. 489-493.
3. *Соловьева О.В., Соловьев С.А., Яфизов Р.Р., Хусаинов Р.Р.* Исследование гидродинамики в пористых средах различной геометрии // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2020. № 1. С. 132-134.
4. *Соловьева О.В., Якимов Н.Д., Чичирова Н.Д.* Исследование гидродинамики и конвективного теплообмена в моделях высокопористого ячеистого материала различной геометрии // *Труды Академэнерго*. 2019. Т. 57, № 4. С. 109-121.
5. *Soloveva O.V., Solovev S.A., Khusainov R.R., Yafizov R.R.* Mathematical Modelling of Heat Transfer in Open Cell Foam of Different Porosities // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2021. V. 1259. P. 371-382.
6. *Киргизов А.Ю., Ильясов И.Р., Ласкин А.И., Ламберов А.А.* Исследование поверхностных трансформаций никелевого высокопористого ячеистого материала с нанесенным слоем оксида алюминия в процессе его синтеза // *Физикохимия поверхности и защита материалов*. 2018. Т. 54, № 5. С. 450-456.
7. *Ильясов И.Р., Назаров М.В., Ламберов А.А.* Исследование взаимодействия частиц палладия с кислотными центрами δ -Al₂O₃ и композита δ -Al₂O₃/Ni-ВПЯМ // *Катализ в промышленности*. 2018. № 1. С. 33-40.
8. *Соловьева О.В., Соловьев С.А.* Математическое моделирование процесса селективного гидрирования ацетилена для катализатора на основе высокопористого проницаемого ячеистого материала // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2020. № 3. С. 128-130.
9. *Соловьева О.В., Соловьев С.А., Ахметвалеева Л.В.* Сравнительный расчет движения химически-реагирующего потока газа при прохождении через традиционный гранулированный слой катализатора и катализатора на основе высокопористого ячеистого материала // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2020. № 4. С. 80-82.
10. *Heidig T., Zeiser T., Freund H.* Influence of resolution of rasterized geometries on porosity and specific surface area exemplified for model geometries of porous media // *Transport in Porous Media*. – 2017. – Т. 120. – №. 1. – С. 207-225.

05.13.18

Д.А. Шишкин, А.Г. Щербинин, С.В. Ершов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СМЕШЕНИЯ ПОЛИМЕРОВ
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ШНЕКА С ДВОЙНОЙ ВОЛНОЙ**

Построена математическая модель изотермического течения ньютоновской жидкости в канале двухволнового шнекового смесителя. Проведена оценка качества получаемой смеси по величине накопленной деформации сдвига. Рассмотрено влияние скорости вращения шнека и величины зазора над барьерным гребнем на процессы смешения

Ключевые слова: математическая модель, смешение, накопленная деформация сдвига, двухволновый шнековый смеситель.

При переработке полимеров на шнековом оборудовании однородность физических и химических свойств в любой точке системы во многом зависит от смешения полимерных материалов, которое происходит за счет вынужденной конвекции расплава среды [1, 2].

Для улучшения эффективности смешения применяют различные модификации смесителей, одним из которых является двухволновый шнековый смеситель [1].

Рассматривается процесс течения расплава полимера в шнековом смесителе следующей конструкции: первые три витка шнека имеет прямоугольный канал глубиной – 6 мм; следующие три витка – двухволновый смеситель с барьерным гребнем; далее полвитка – прямоугольный канал глубиной – 6 мм; затем адаптер; на выходе – фильера, представляющая собой капилляр квадратного сечения 36 мм² длиной 30 мм. Другие геометрические параметры приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Геометрические параметры смесителя

Диаметр шнека, мм	160,0
Шаг винтовой нарезки, мм	160,0
Ширина канала W , мм	137,3
Ширина гребня винтовой нарезки S , мм	15,3
Глубины каналов в зоне смешения H_1, H_2 мм	3,0-9,0
Угол подъема винтовой линии Θ	17°39'
Зазор над барьерным гребнем δ , мм	1,0

При описании процесса течения расплава полимера в смесителе используются следующие допущения: задача изотермическая; процесс стационарный и установившийся, при постоянном массовом расходе; винтовой канал разворачивается на плоскость (рис. 1); используется принцип обращенного движения, при котором канал шнека неподвижен, а верхняя стенка движется со скоростью V_0 ; расплав полимера считается вязкой несжимаемой ньютоновской жидкостью (вязкость – 200 Па·с; плотность – 930 кг/м³); массовые силы равны нулю.

Изменение глубины каналов в зоне смешения приведено на рис. 2.

С учетом сделанных допущений система дифференциальных уравнений, основанных на законах сохранения, имеет вид:

$$\frac{\partial V_i}{\partial x_i} = 0, \quad (1)$$

$$\rho V_j \frac{\partial V_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j}, \quad (2)$$

где $x_i = x, y, z$ – декартовы координаты; $V_i = v_x, v_y, v_z$ – компоненты вектора скорости; τ_{ij} – компоненты девиатора тензора напряжений; P – гидростатическое давление; ρ – плотность расплава полимера.

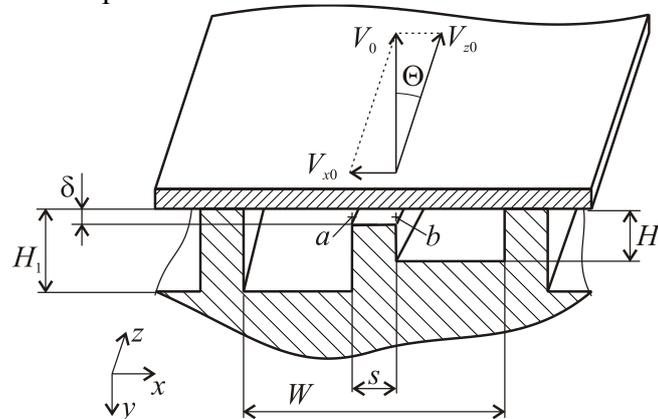


Рис. 1 – Схема развернутого винтового канала. Здесь H_1, H_2 – глубины каналов в зоне смешения; W – ширина канала; s – ширина барьерного гребня; Θ – угол подъема винтовой линии, δ – зазор между барьерным гребнем нарезки шнека и внутренней поверхностью корпуса

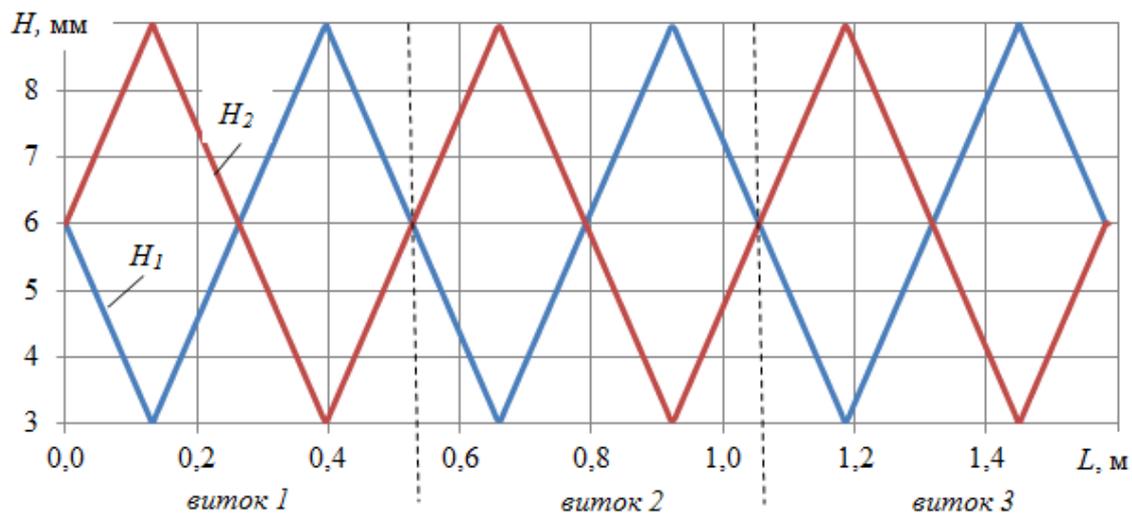


Рис. 2 – Изменение глубины каналов по длине зоны смешения

Уравнения (1), (2) замыкаются следующими граничными условиями: на входе в канал задается массовый расход; на выходе из фильеры – гидростатическое давление; задаваемая скорость пластины V_0 определяется по величине скорости вращения шнека $N_{ш}$.

Для оценки качества получаемой смеси используется способ, основанный на определении величины накопленной деформации сдвига [1-3]:

$$\bar{\gamma} = \bar{t} \bar{\dot{\gamma}}, \quad (3)$$

где \bar{t} – среднее время деформации жидкости; $\bar{\dot{\gamma}}$ – средняя скорость сдвига.

Среднее время деформации расплава полимера в зоне смешения определяется из выражения:

$$\bar{t} = L_c / \bar{v}_z, \quad (4)$$

где L_c – длина зоны смешения; \bar{v}_z – средняя скорость расплава полимера в поперечном сечении канала в направлении оси z .

Задача решается в пакете ANSYS CFX. Трехмерная математическая модель течения расплава полимера в смесителе содержит 821 тыс. элементов. Форма элементов – гексаэдры.

Массовый расход на входе в канал подбирается таким образом, чтобы перепад давления между входом и выходом был равен нулю. При числе оборотов шнека $N_{ш} = 60$ об/мин величина массового расхода G_0 получается равной 0,090 кг/с.

На рис. 3 приведена зависимость давления по длине канала. В зоне смешения давление в точке *a* (см. рис. 1) показано красным цветом, а в точке *b* – синим. Перепад давления в зазоре достигает 1,76 МПа. График удельного расхода над барьерным гребнем по его длине изображен на рис. 4. Зависимость имеет волнообразный характер, несимметричный относительно нуля, что обусловлено наличием перепада давления между каналами и продольной циркуляцией материала.

На рис. 5 построена зависимость накопленной деформации сдвига от числа оборотов шнека. Из рисунка видно, что увеличение числа оборотов шнека с 40 до 80 об/мин (на 100%) приводит к увеличению накопленной деформации лишь на 6%, что обусловлено тем, что с ростом средней скорости сдвига на 98% среднее время пребывания материала уменьшается на 46%.

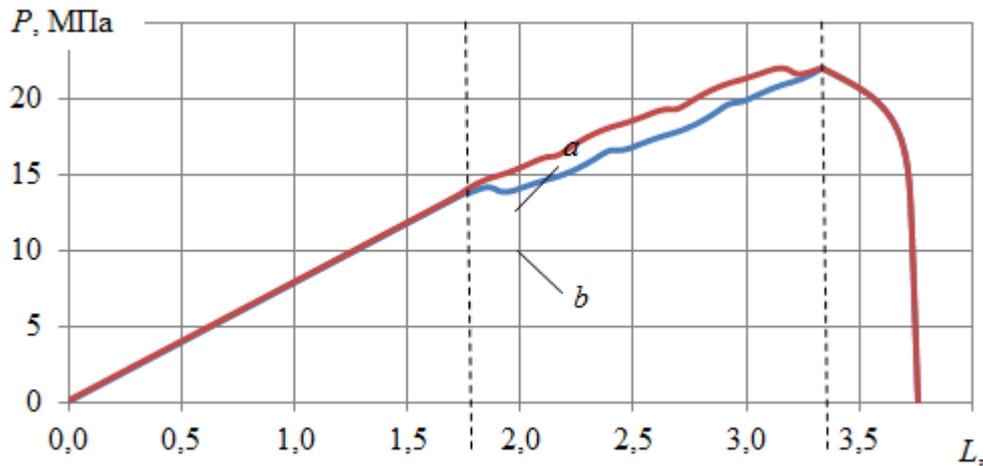


Рис. 3 – Зависимость давления по длине канала смесителя

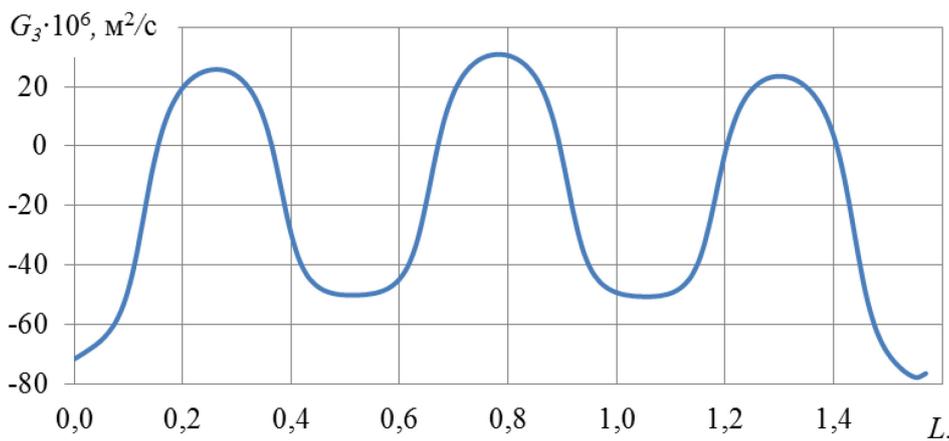


Рис. 4 – Зависимость удельного расхода расплава полимера через зазор над барьерным гребнем по длине зоны смешения

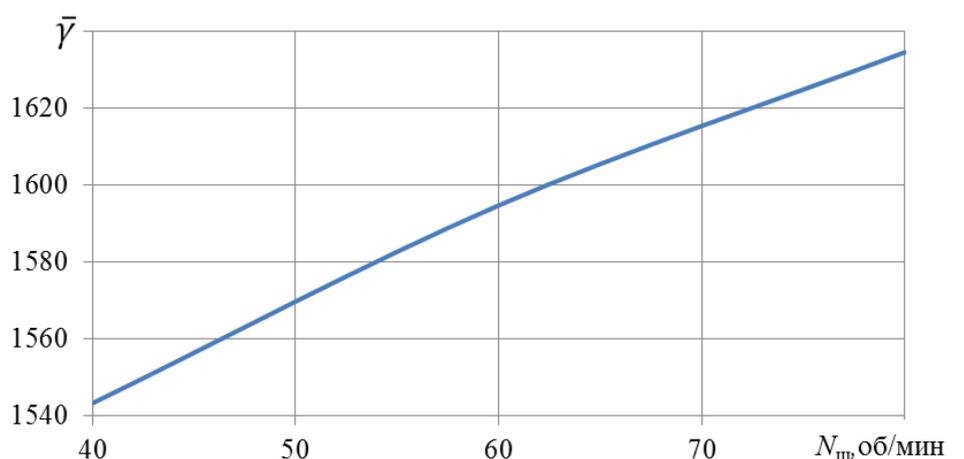


Рис. 5 – Зависимость накопленной деформации сдвига от числа оборотов шнека

В таблице 2 приведены результаты смесительной способности экструдера при различных значениях зазора над барьерным гребнем при $N_{ш} = 60$ об/мин. Также в таблице 2 отображены соответствующие данные для случая, когда зона смешения имеет прямоугольный канал без барьерного гребня с поперечным сечением равным поперечному сечению канала с барьерным гребнем и зазором $\delta = 1,0$ мм. Из таблицы видно, что при снижении величины зазора с 2,0 мм до 0,5 мм накопленная деформация сдвига увеличивается на 53%, а замена прямоугольным каналом приводит к снижению смесительной способности на 12%.

Таблица 2 – Параметры смешения

Форма канала в зоне смешения	δ , мм	G_0 , кг/с	\bar{v}_z , м/с	$\bar{\dot{\gamma}}$, 1/с	\bar{t} , с	$\bar{\gamma}$
С разд. гребнем	0,5	0,090	0,131	162,26	12,09	1961,81
С разд. гребнем	1,0	0,090	0,129	130,55	12,22	1594,79
С разд. гребнем	2,0	0,090	0,127	102,52	12,47	1277,99
Прямоугольный	–	0,101	0,145	102,85	10,89	1119,59

Таким образом, результаты исследований показали, что величина накопленной деформации в двухволновом шнековом смесителе с переменной глубиной каналов превышает накопленную деформацию в случае с прямоугольным каналом. Уменьшение величины зазора над барьерным гребнем приводит к росту эффективности процесса смешения, При увеличении числа оборотов шнека величина накопленной деформации растет незначительно.

Список литературы

1. Раувендааль К. Экструзия полимеров. С.-Петербург: Профессия. 2010. 768 с.
2. Тадмор З., Гогос К. Теоретические основы переработки полимеров. М.: Химия. 1984. 632 с.
3. Терлыч А.Е., Щербинин А.Г. Анализ процесса смешения в пластицирующем экструдере при наложении электрической изоляции // Химические волокна. 2016. № 1. С. 14-17.

05.13.18

**С.В. Якубовская, Н.И. Красовская, Н.Ю. Сильницкая,
Е.Ю. Иванова, О.В. Красовская**

Тюменский индустриальный университет,
Институт транспорта,
Строительный институт,
Тюмень, sv5508@mail.ru, krass51@mail.ru, 89292650015@yandex,
i-ekaterina@mail.ru, krasovskajaov@tyuiu.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ДЕФОРМИРОВАНИИ ВО ВРЕМЕНИ

В работе рассмотрен вопрос определения напряженного состояния многослойных конструкций с учетом изменения во времени механических характеристик материалов по разработанной математической модели и моделирования напряжений во времени на базе компьютерной программы. Представлены результаты расчета трехслойной цилиндрической оболочки (сталь, бетон, сталь) в виде графиков, которые характеризуют такие свойства материалов как ползучесть.

Ключевые слова: многослойные конструкции, деформирование во времени, напряжения, деформации.

При строительстве и ремонте нефтегазовых объектов (муфтовые соединения участков магистральных трубопроводов, обсадные колонны буровых скважин и т.д.) применяются конструкции, представляющие собой многослойные цилиндрические оболочки. Слои таких конструкций представлены различными материалами, обладающими свойствами вязкоупругости. То есть с течением времени механические характеристики этих материалов меняются, что приводит соответственно к изменению напряженно - деформированного состояния рассматриваемых конструкций. Связи между слоями выполнены с помощью болтов, анкеров или эпоксидного клея. Работа такой конструкции имеет ряд особенностей: при воздействии внешней нагрузки происходит перераспределение напряжений между слоями, так как имеющиеся связи допускают проскальзывание слоев по отношению друг к другу [1]; величина жесткости межслойных связей зависит от количества и параметров соединительных элементов. Основным условием предупреждения аварийных ситуаций является эксплуатационная надежность их работы. Поэтому вопрос определения напряженно - деформированного состояния таких конструкций является актуальным.

В работе предлагается математическая модель деформирования во времени многослойных цилиндрических оболочек. Физические соотношения при ползучести для сложного напряженного состояния записываются в соответствии с положениями деформационной теории.

Соотношения из [2] представлены с учетом изменения во времени (t) напряжений и деформаций:

$$\begin{aligned} [\sigma_{\xi}^i(t) - \sigma_0^i(t)] \frac{\varepsilon_{in}^i(t)}{\sigma_{in}^i(t)} = \frac{1}{1 + \nu^i(t)} [\varepsilon_{\xi}^i(t) - \varepsilon_0^i(t)] \\ \tau_{\xi \varphi}^i(t) \frac{\varepsilon_{in}^i(t)}{\sigma_{in}^i(t)} = \frac{1}{2[1 + \nu^i(t)]} \gamma_{\xi \varphi}^i(t); (\xi, \varphi = 1, 2, 3), \end{aligned} \quad (1)$$

где $\sigma_{in}^i(t)$ и $\sigma_0^i(t)$ – интенсивность напряжений и среднее напряжение в материале i-го слоя; $\varepsilon_{in}^i(t)$ и $\varepsilon_0^i(t)$ – интенсивность деформаций и средняя деформация соответственно; $\nu^i(t)$ – коэффициент поперечной деформации материала i-го слоя.

Объемные деформации связаны линейной упругой зависимостью со средними напряжениями. Ползучесть проявляется только в деформациях формоизменения. Тогда жесткость материала в точке с учетом процессов ползучести определяется зависимостью

между интенсивностями деформаций и напряжений. Уравнение (1) принимает вид [3], но записано с учетом процессов протекающих во времени:

$$\begin{aligned} \sigma_1^i(t) - \frac{\sigma_1^i(t) + \sigma_2^i(t)}{3} &= \frac{E^{*i}(t)}{1 + \nu^i(t)} \left[\varepsilon_1^i(t) - \frac{\sigma_1^i(t) + \sigma_2^i(t)(1 - 2\nu_0^i)}{3 E_0^i} \right], \\ \sigma_2^i(t) - \frac{\sigma_1^i(t) + \sigma_2^i(t)}{3} &= \frac{E^{*i}(t)}{1 + \nu^i(t)} \left[\varepsilon_2^i(t) - \frac{\sigma_1^i(t) + \sigma_2^i(t)(1 - 2\nu_0^i)}{3 E_0^i} \right], \end{aligned} \quad (2)$$

где E_0^i , ν_0^i - модуль упругости и коэффициент Пуассона для линейного упругого деформирования; $E^*(t) = \sigma_{in}(t)/\varepsilon_{in}(t)$ - жесткость материала в точке при деформировании во времени.

Из соотношений (2) получим связь между отдельными компонентами напряжений и деформаций, которую представим в форме [3], только с учетом параметров времени:

$$\begin{aligned} \varepsilon_1^i(t) &= A_{11}\sigma_1^i(t) - A_{12}\sigma_2^i(t), & \varepsilon_2^i(t) &= -A_{12}\sigma_1^i(t) - A_{11}\sigma_2^i(t), \\ \gamma_{12}^i(t) &= A_{33}\tau_{12}^i(t), \end{aligned} \quad (3)$$

где A_{nl} - переменные параметры, определяемые из выражений:

$$\begin{aligned} A_{11} &= \frac{2}{3} \frac{(1 + \nu^i(t))}{E^{*i}(t)} + \frac{1 - 2\nu_0^i}{3 E_0^i}, \\ A_{12} &= \frac{2}{3} \frac{1 + \nu^i(t)}{E^{*i}(t)} - \frac{1 - 2\nu_0^i}{3 E_0^i}, & A_{33} &= \frac{2(1 + \nu^i(t))}{E^{*i}(t)}. \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь и далее обозначение зависимости от времени (t) опускаем.

Соотношения между величинами $\sigma_{in}^i(t)$, $\varepsilon_{in}^i(t)$ для определения $E^{*i}(t)$ представим через интеграл Стильтьеса [4] (индекс i опускаем):

$$\varepsilon_{in}(t) = \int_{\tau_1}^t \Pi(t - \tau) d\sigma_{in}(\tau),$$

где $\Pi(t - \tau)$ - функция ползучести материала; τ_1 - возраст материала конструкции в момент загрузки.

Используя интеграл Римана, проинтегрировав по частям и считая, что напряжения до момента τ_1 (до приложения нагрузки на конструкцию) отсутствуют, получим:

$$\varepsilon_{in}(t) = \frac{\sigma_{in}(t)}{E_0} + \int_{\tau_1}^t \Pi'(t - \tau) \sigma_{in}(\tau) d\tau, \quad (5)$$

где $(E_0)^{-1} = \Pi(t - \tau)$ - податливость материала в момент загрузки; E_0 - модуль упругости (характеристика жесткости мгновенного деформирования); $\Pi'(t - \tau)$ - функция скорости ползучести.

Следовательно, соотношения между интенсивностями деформаций и напряжений определяется двумя слагаемыми. Первое слагаемое отражает мгновенные деформации, второе связано с проявлением вязкоупругих свойств материала во времени. Тогда, используя

(5), величину $\varepsilon_{in}(t)/\sigma_{in}(t)$, входящую в (1), представим в виде:

$$\frac{\varepsilon_{in}(t)}{\sigma_{in}(t)} = (E)^{-1} = \left[\frac{1}{E_0} + \frac{\alpha_{in}(t)}{\sigma_{in}(t)} \right], \quad (6)$$

Здесь $\alpha_{in}(t) = \int_{\tau_1}^t \Pi'(t - \tau) \sigma_{in}(\tau) d\tau$; $\alpha_{in}(t)$ - деформации ползучести вязкоупругого материала.

Для определения $\Pi'(t - \tau)$ в (6) следует воспользоваться экспериментальными данными [5,6]. Здесь, как и при мгновенном деформировании, используем экспериментальный факт,

когда кривая деформирования материала при одноосных напряжениях совпадает с кривой ползучести при объемном напряженном состоянии, записанной в интенсивностях.

Вывод системы дифференциальных уравнений для составной цилиндрической оболочки с учетом деформирования во времени выполняется согласно [4]. Уравнения равновесия получаем, рассматривая элемент i -го слоя составной оболочки и составляющие, учитывающие работу швов составной конструкции. В результате имеем систему дифференциальных уравнений в перемещениях, которая представлена в операторной форме.

$$\begin{aligned} L_1^i(u_1) + L_1^i(u_2) + L_1^i(w) + q_1^i r &= 0 ; \\ L_2^i(u_1) + L_2^i(u_2) + L_2^i(w) + q_2^i r &= 0 ; \\ L_3^i(u_1) + L_3^i(u_2) + L_3^i(w) + q_3^i r &= 0 ; \end{aligned} \tag{7}$$

Для решения задачи изгиба составной цилиндрической оболочки в перемещениях разрешается система (7) из $(2n+3)$ уравнений относительно перемещений u_1^i , u_2^i и w . Для решения уравнений составлена программа в среде MathLab.

Результаты расчета представлены на рис. 1.

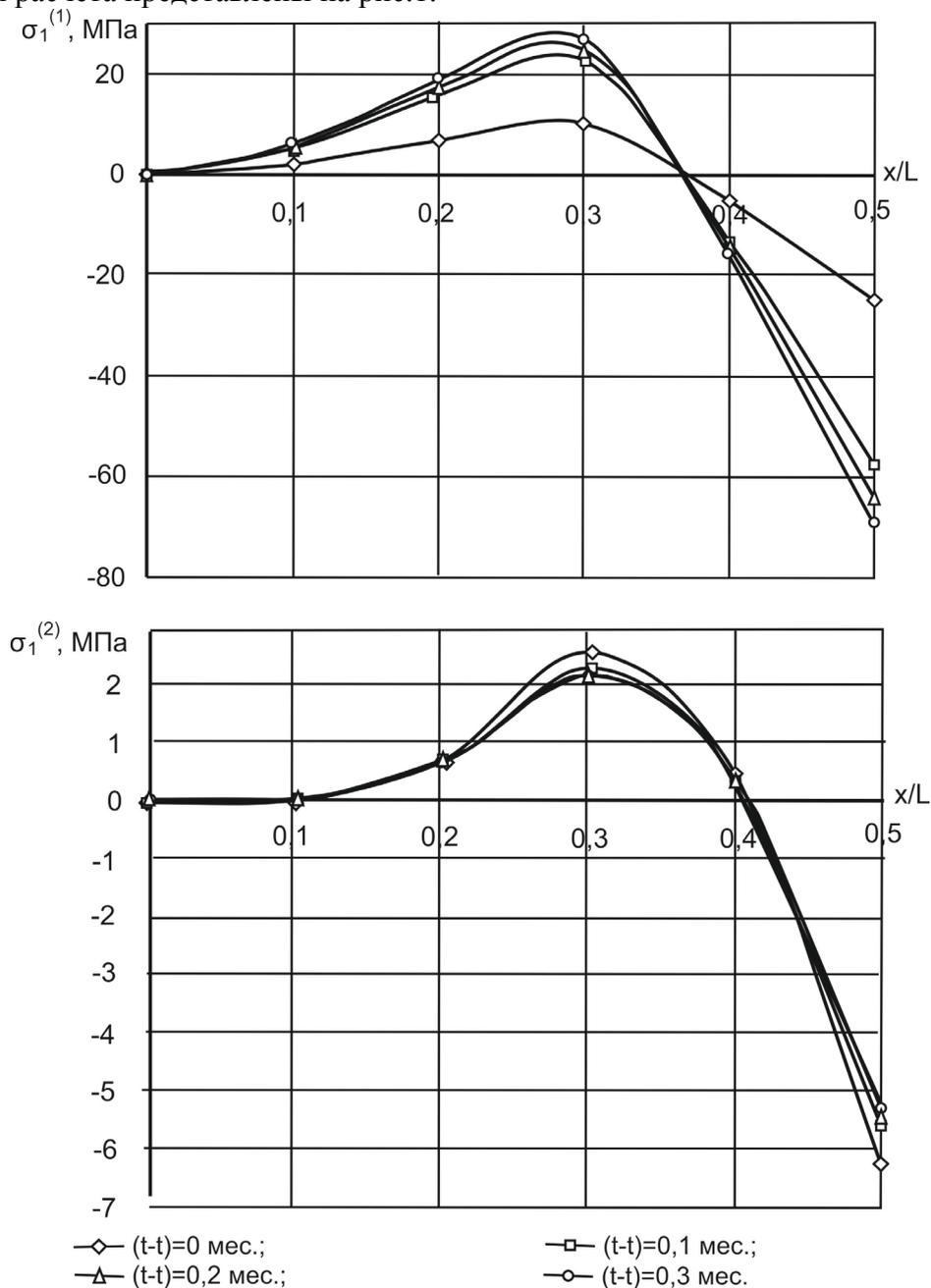


Рис. 1 – Распределение нормальных напряжений в первом и втором слоях вдоль оси x

Была рассмотрена трехслойная цилиндрическая оболочка со следующими параметрами: радиус $r=3600$ мм, длина $L=3600$ мм, модули упругости $E^{(1)}=E^{(3)}=2,1 \cdot 10^5$ МПа, $E^{(2)}=2,4 \cdot 10^4$ МПа; коэффициенты Пуассона $\nu^{(1)}=\nu^{(3)}=0,3$, $\nu^{(2)}=0,2$; толщины слоев $h^{(1)}=h^{(3)}=8$ мм, $h^{(2)}=1200$ мм. Осесимметричная нагрузка $q_0=1,0$ МПа – локальная, распределена в центральной зоне на $1/6$ части от длины оболочки. При этом использовались следующие значения параметров ядра: $E_0=8 \cdot 10^3$ МПа; $\nu^{(0)}=0,2$; $A=1,294$ мес $^{-1}$; $\alpha=0,326$.

Величины напряжений в первом и третьем слоях с течением времени при фиксированной жесткости межслойных связей возрастают в 2,8 раза. Во времени изменяется качественная картина распределения напряжений.

Наибольшее изменение напряжений происходит в начальный период загрузки. Для $(t-\tau)=0,1$ мес. разница между мгновенной деформацией 115%, для $(t-\tau)=0,2$ мес. разница между данным и предыдущим моментом времени $(t-\tau)=0,1$ мес. 11%. Подобным образом ведут себя напряжения во втором слое. Разница в том, что в течении времени величины $\sigma_1^{(2)}$ уменьшаются и наибольшее расхождение (в сравнении с мгновенным деформированием) составит 16,2%.

Выводы. В работе представлена разработанная математическая модель расчета напряженного состояния многослойных цилиндрических оболочек с учетом деформирования во времени. Моделирование результатами расчета уровня напряжений позволяет прогнозировать поведение таких конструкций во времени.

Список литературы

1. *Ржаницын А.Р.* Составные стержни и пластинки. – М.: -Стройиздат, 1986 – 316с.
2. *Лукаш П.А.* Основы нелинейной строительной механики. - М.: Стройиздат, 1978. - 204с.
3. *Климанов В.И., Тимашев С.А.* Нелинейные задачи подкрепленных оболочек. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1985.-291с.
4. *Колтунов М.А.* Ползучесть и релаксация.- М.: Высшая школа, 1976.-279с.
5. *Якубовская С.В., Сильницкая Н.Ю., Иванова Е.Ю.* Явление ползучести и релаксации армированных полиэтиленовых трубопроводов // *Фундаментальные исследования.* -2015.- №2. Ч.8.- С.1676-1680.
6. *Якубовская С.В., Сильницкая Н.Ю.* Экспериментальные исследования прочностных свойств муфтовых соединений полиэтиленовых трубопроводов // *Фундаментальные исследования.* -2015.- №2. Ч.15. - С.3285-3288.

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ
ИНФОРМАЦИИ, ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ (05.13.19)**

05.13.19

Е.В. Бурькова канд. педагог. наук, А.А. Рычкова канд. педагог. наук

Оренбургский государственный университет,
факультет математики и информационных технологий,
кафедра вычислительной техники и защиты информации,
Оренбург, evb99@yandex.ru, rnansy@yandex.ru

**МЕТОДИКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
ПРИ ВЫБОРЕ СРЕДСТВ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ
НА ОСНОВЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ**

В работе представлены обобщенный алгоритм автоматизированной системы поддержки принятия решений, методика применения метода анализа иерархий, функциональная модель процесса выбора средств физической защиты.

Ключевые слова: *система физической защиты, угрозы безопасности, система поддержки принятия решений, метод анализа иерархии (МАИ), функциональная модель.*

Проблема физической безопасности современных объектов информатизации не теряет своей актуальности, что обусловлено с одной стороны, возрастанием стоимости защищаемых активов предприятий, усложнением их информационной инфраструктуры, и высокой степенью технической оснащенности и подготовленности нарушителей, возникновением новых угроз безопасности объекта, которые могут привести к материальному ущербу, потере репутации – с другой стороны.

Эффективность системы физической защиты (далее - СФЗ) объекта информатизации во многом определяется решением задачи рационального выбора средств защиты, при этом определяющее значение приобретает обследование объекта с точки зрения его значимости, ценности защищаемых ресурсов, выявление уязвимостей и актуальных угроз безопасности. Задача выбора средств физической защиты, способных обеспечить нейтрализацию актуальных угроз безопасности с минимальными затратами, является актуальной.

Для решения данной задачи целесообразно использовать автоматизированную систему поддержки принятия решений (далее - СППР), которая позволит снизить трудоемкость всех этапов проектирования СФЗ и избежать ошибок [1]. Схема обобщенного алгоритма автоматизированной СППР для выбора физических средств защиты показана на рис. 1.

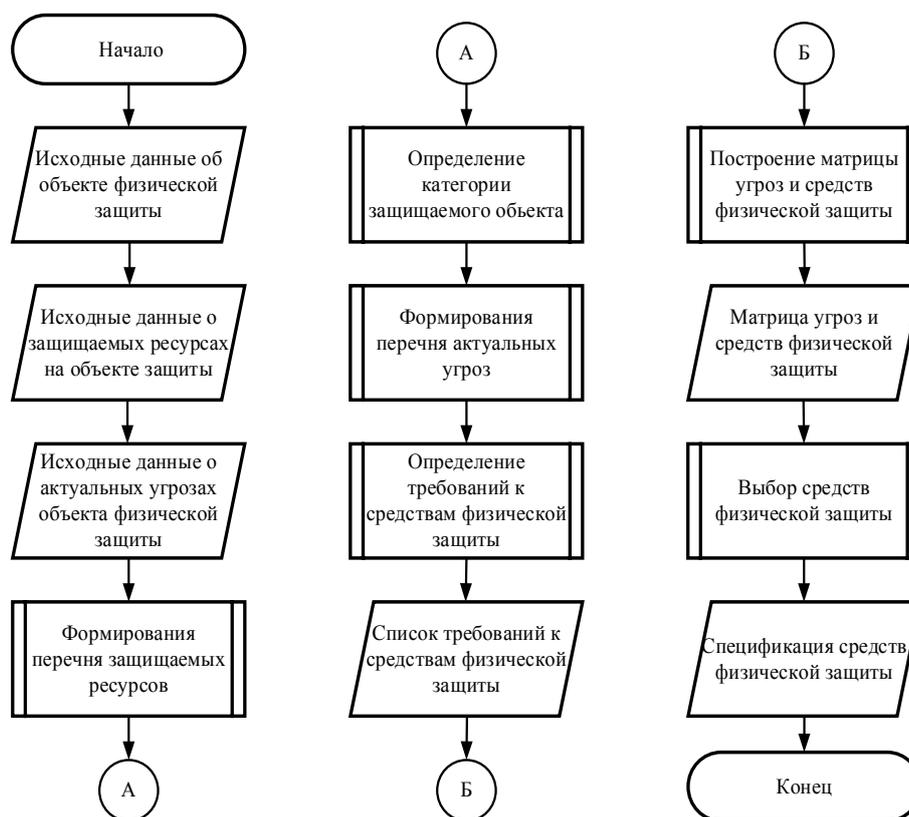


Рис. 1 – Схема обобщенного алгоритма автоматизированной СППР

Важным вопросом проектирования средств защиты является формирование перечня критериев выбора. В нашей системе используются критерии: возможность средств защиты нейтрализовать несколько актуальных угроз; величина предотвращенного вероятного ущерба; помеховая обстановка вокруг защищаемого объекта; возможность интеграции выбранных средств в существующую СФЗ [2].

При выборе средств физической защиты предлагается использовать экспертный метод анализа иерархий (далее - МАИ). Основное преимущество данного метода заключается в возможности учёта множества факторов (критериев), но при этом, учитывается их возможная неравнозначность между собой. Кроме того, в МАИ есть возможность дополнять исходные матрицы критериев новыми данными.

Ввиду универсальности МАИ, алгоритм его применения имеет достаточно гибкую структуру и применяется для решения задач различного характера. Рассмотрим методику применения МАИ для выбора средств физической защиты информации.

Этап 1. На первом шаге происходит определение (формирование) S - цели принятия решения (выбор оптимального средства физической защиты), альтернативных вариантов сертифицированных средств защиты (A), среди которых будет выбираться лучший и признаков для сравнения альтернатив – $P = \{P_1, \dots, P_k\}$. В качестве признаков используются соответствующие требования к физическим средствам защиты, по которым будет происходить выбор лучшего решения.

Этап 2. На втором шаге строится начальная иерархия, показанная на рисунке 2. В данной иерархии на верхнем (нулевом) уровне находится цель – S , далее следует уровень признаков (критериев) для сравнения, на нижнем уровне иерархии находятся уровень из альтернатив.

Этап 3. На третьем шаге происходит формирование матрицы сравнений признаков и определение приоритетов с использованием метода парных сравнений, формирование количественных суждений о парах объектов (P_i, P_j). Для проведения сравнения Т. Саати ввёл ранговую шкалу, на основе которой эксперты выставляют свои оценки альтернативам и критериям в процессе сравнения всех параметров.

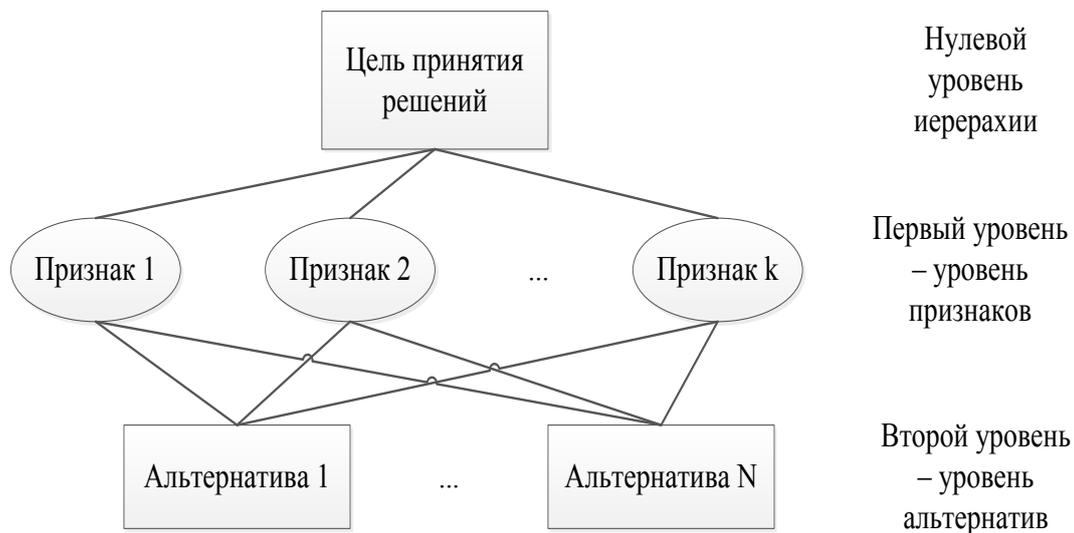


Рис. 2 – Начальная иерархия

Этап 4. Четвертый шаг – формирование матрицы сравнений альтернатив решений по каждому признаку и определение приоритетов с использованием метода парных сравнений.

Этап 5. На пятом шаге определяются весовые коэффициенты W_i , соответствующих суждениям экспертов:

$$w_i = \sqrt[k]{\prod_{k=1}^i A_{ik}} \quad , \quad i = (1,k) \tag{1}$$

где a_{ij} – количественная оценка P_i/P_j ,
 k – количество признаков.

Этап 6. На шестом шаге происходит построение собственных векторов v_i для каждой из матриц сравнения признаков по формуле (2):

$$v_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^k w_i} \tag{2}$$

Этап 7. Следующий шаг – получение глобальных приоритетов альтернатив посредством линейной свертки приоритетов элементов на всех уровнях иерархии. Свёртка проводится по формуле (3):

$$\lambda_i = \sum_{j=1}^k v_{ij} \cdot \mu_j \tag{3}$$

где μ_j – j -ый элемент собственного вектора матрицы признаков.

Этап 8. Завершающий шаг вычислений – это построение конечной матрицы для поиска решения. Матрица содержит в себе сводную информацию обо всех этапах проведения расчётов (таблица 1).

Таблица 1 – Конечная матрица поиска решения

Признак	Критерий 1	Критерий 2	...	Критерий k	Обобщённые приоритеты
Собственный вектор матрицы критериев	μ_1	μ_2	...	μ_j	
Альтернатива 1	v_{11}	v_{12}	...	v_{1k}	λ_1
...
Альтернатива N	v_{k1}	v_{k2}	...	v_{kN}	λ_N

Итоговое мнение экспертов рассчитывается как среднегеометрическое от агрегированных оценок элементов матрицы парных сравнений.

Для оценки степени согласованности экспертного решения рассчитывается применяется индекс согласованности, который позволяет оценить, насколько расходятся между собой мнения участников-экспертов.

Значение отношения согласованности считается допустимым, если оно не более 0,10 (10%). В таком случае при заданных исходных данных решение может быть найдено. Если значение превышает допустимый уровень, то исходная информация искажена. В этом случае принятые решения будут неточными, обладать низким качеством или вовсе неверными. Решением данной проблемы служит пересмотр исходной информации или введение новых источников и дополнение исходного набора данных [3, 4].

В рамках разработки СППР нами была разработана функциональная модель системы, представленная на рисунке 3.

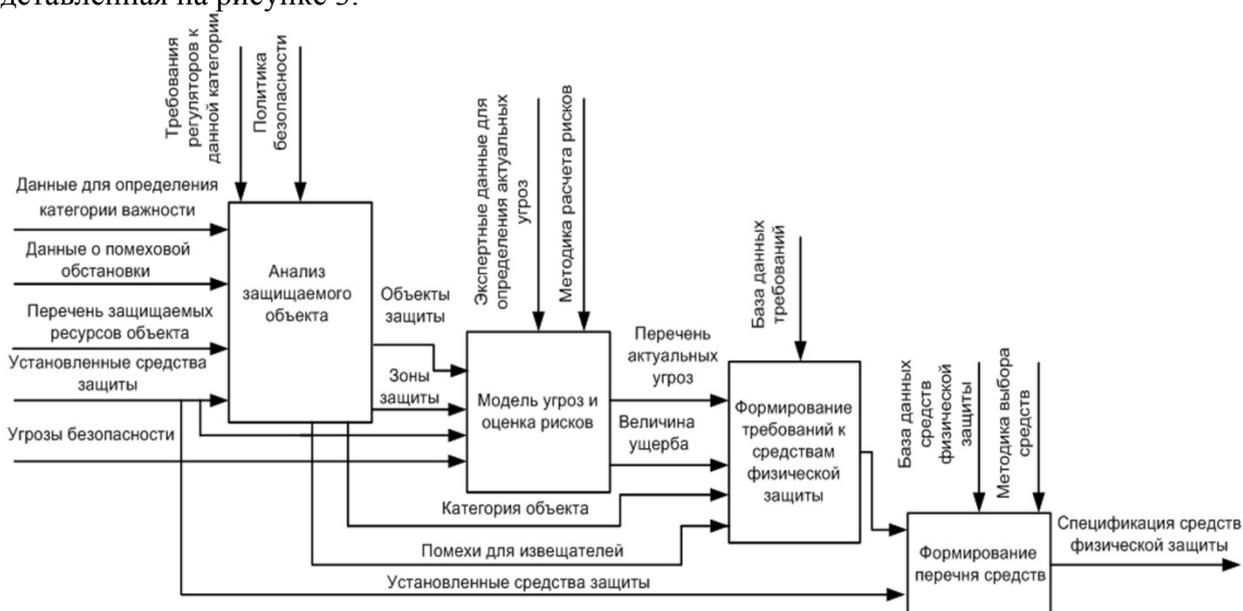


Рис.3 – Функциональная модель системы выбора средств СФЗ

Входными данными модели являются: информация, необходимая для выявления категории защищаемого объекта по уровню важности, что необходимо для формирования требований нормативно-правовых документов в соответствии с категорией; данные о возможных помехах, связанных с наличием линий электропередач, железнодорожных путей и других, которые могут оказывать влияние на срабатывание датчиков; данные о защищаемых ресурсах объекта, оценка их ценности; данные о существующих средствах защиты (для учета совместимости); перечень вероятных угроз безопасности заданного объекта [5].

На выходе СППР формируется перечень выбранных средств физической защиты, отвечающих заданным требованиям. В качестве документов используются: требования регуляторов к защите объекта данной категории, экспертные данные для определения актуальных угроз, методика расчета рисков, методика выбора средств.

Разработанная методика принятия решений при выборе средств физической защиты позволяет учесть важные критерии, построить оптимальную структуру системы физической защиты с минимальными затратами и обеспечить достаточный уровень защищенности объекта.

Список литературы

1. Куделькин В.А. Принципы создания интегрированных систем безопасности критически важных и потенциально опасных объектов / В.А. Куделькин, И.М. Янников, М.В. Телегина // Интеллектуальные системы в производстве. –2017. – № 1. – С.105-109.
2. Бурькова Е.В. Критерии выбора средств физической защиты объектов информатизации / Е.В. Бурькова // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : материалы Всерос. науч.-метод. конф.- Оренбург : ОГУ, 2018. – С. 1746-1750.
3. Ковальская Н.М. Метод анализа иерархий в распределенных системах принятия решений по вопросам состязательного характера [Электронный ресурс] / Ковальская Н. М., Рычкова А. А. // Наука и современность : сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф., 28 апр. 2016 г., Сызрань / Междунар. центр инновационных исслед. "ОМЕГА САЙНС"; Отв. ред А. А. Сукиасян. - Электрон. дан. - Уфа: ОМЕГА САЙНС,2016. - Т. 3. - С. 68-73.
4. Рытов М.Ю. Применение метода анализа иерархий для выбора средств защиты информации корпоративного портала / М.Ю. Рытов, П.А. Ковалев, А.Ю. Пугачев // Информация и безопасность, 2014. - Т. 17, № 1. С. 68-73.
5. Бурькова Е.В. Модель системы выбора средств физической защиты объекта информатизации / Е.В. Бурькова // Информация и безопасность, 2018. - Т. 21, № 2 (4). - С. 195-202.

**АННОТАЦИИ
ABSTRACTS**

В.С. Минкин, М.Г. Кузнецов,
Р.Х. Шагимуллин, Р.С. Сальманов, В.В. Харьков
ПАРОГАЗОДИНАМИЧЕСКИЙ РЕАКТИВНЫЙ ДВИЖИТЕЛЬ

Ключевые слова: генератор акустической энергии, поршневой акустический нагнетатель, газовая струя.

Рассмотрены устройство и принцип действия парогазодинамического реактивного движителя. Отмечена способность перемещения объекта с реактивным движителем с огромной скоростью под водой, по воде и над водой. Дана теплоэнергетическая характеристика объекта с парогазодинамическим реактивным движителем.

Д.А. Бахаева, И.Б. Гинзбург, В.А. Столярчук
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО
ОБУЧЕНИЯ MOODLE ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ
КОЛЛЕКТИВНОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ

Ключевые слова: коллективная экспертиза, результаты интеллектуальной деятельности, организация дистанционного обучения, средства дистанционного обучения, научная работа студентов.

В статье рассматриваются проблемы повышения качества и актуализации учебных материалов в системах дистанционного обучения, а также привлечения к этому процессу самих учащихся, чтобы одновременно стимулировать их инновационную и научную активность. Для решения этих проблем предлагается использовать подходы к организации процессов коллективной экспертизы результатов интеллектуальной деятельности и информационных материалов в сочетании с программной системой дистанционного обучения Moodle. Это позволяет выявить и устранить недостатки, а также интенсифицировать научную работу студентов.

А.И. Калашников, Д.В. Моисеев
НОВАЯ ВЕРСИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО ПРОГРАММНОГО
КОМПЛЕКСА МАРШРУТИЗАЦИИ ПОЛЕТА ЛЕГКИХ
БЕСПИЛОТНИКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫЧИСЛИТЕЛЯ
INTLINPROG

Ключевые слова: маршрут полета, оптимальная маршрутизация, точечные объекты, протяженные объекты, легкий беспилотник, ветер в зоне полета, метод ветвей и границ, программная реализация, эффективность расчета, MATLAB, intlinprog.

В статье обсуждается новая версия программного комплекса маршрутизации полета легких беспилотников, в котором в качестве ядра используется вычислитель intlinprog пакета MATLAB. Проведен сравнительный анализ различных вариантов настроек вычислителя. Даны рекомендации по варианту настроек (опций), который наилучшим образом подходит для решения задач маршрутизации полета легких беспилотников.

А.Е. Петров, Ч.Б. Бактыбеков
СИСТЕМА ПОЛЕОРИЕНТИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ
ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО СИНХРОННОГО
ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ ДЛЯ
ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Ключевые слова: система управления, полеориентированное, синхронный, электропривод, безредукторный, энергоэффективный, энергосберегающий, электродвигатель.

Система полеориентированного управления энерго-сберегающего синхронного электропривода с постоянными магнитами для промышленного оборудования представляет собой регулирование, при котором в качестве переменных в системе используются значения напряжений, токов и потокоцеплений, в пространственных векторах. Используемые методы для достижения повышения эффективности системы управления данного синхронного электропривода с

V.S. Minkin, M.G. Kuznetsov,
R.Kh. Shagimullin, R.S. Salmanov, V.V. Kharkov
STEAM GAS DYNAMIC JET PROPULSION

Keywords: acoustic energy generator, an acoustic piston blower, a gas jet.

The device and the principle of operation of a steam-gas-dynamic jet propulsion system are considered. The ability to move an object with a jet engine at high speed under water, on water and above water is noted. The heat and energy characteristics of an object with a steam-gas-dynamic jet propulsion are given.

D.A. Bakhaeva, I.B. Ginzburg, V.A. Stolyarchuk
USING THE MOODLE DISTANCE LEARNING SYSTEM
FOR COLLECTIVE EXPERTISE

Keywords: collective expertise, intellectual activity results, distance learning organization, distance learning means, students' scientific work.

The article discusses the problems of improving the quality and updating of educational materials in distance learning systems, as well as involving students themselves in this process in order to simultaneously stimulate their innovative and scientific activity. To solve these problems, it is proposed to use approaches to the collective examination processes organizing of the intellectual activity results and information materials in combination with the Moodle distance learning software system. This allows us to identify and eliminate shortcomings, as well as to intensify the students' scientific work.

A.I. Kalashnikov, D.V. Moiseev
A NEW ISSUE OF SPECIAL SOFTWARE FOR PATH
ROUTING OF MINI UAV USING THE SOLVER
INTLINPROG

Keywords: path of flight, optimal path, planning, mini UAV, wind in flight zone, branch and bound, software realization, efficiency of calculate, MATLAB, intlinprog.

The article discusses the use of new issue of software for path routing of mini UAV, in which used the intlinprog of the MATLAB. Various options for tuning solver are analyzed and their combinations are recommended, which are best suited for solving the problems of routing the path flight of mini UAV.

A.E. Petrov, Ch.B. Baktybekov
FIELD-ORIENTED CONTROL SYSTEM FOR ENERGY-
SAVING SYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE WITH
PERMANENT MAGNETS FOR INDUSTRIAL
EQUIPMENT

Keywords: control system, field-oriented, synchronous, electric drive, gearless, energy-efficient, energy-saving, electric motor. *The field-oriented control system of an energy-saving synchronous electric drive with permanent magnets for industrial equipment is a regulation in which the values of voltages, currents and flow connections in spatial vectors are used as variables in the system. The methods used to achieve an increase in the efficiency of the control system of this synchronous electric drive with permanent magnets based on the development of a mathematical model, information and intelligent algorithms, are implemented by the parameters of*

постоянными магнитами на основе разработки математической модели, информационных и интеллектуальных алгоритмов, реализованы параметрами систем позволяющей использовать представленное управление энергосберегающего электропривода.

Цель данной научной статьи – разработка системы полеориентированного управления энергосберегающего синхронного электропривода с постоянными магнитами для промышленного оборудования.

Метод, используемый в разработке системы полеориентированного управления безредукторного синхронного электропривода с постоянными магнитами, был основан исходя из параметров реального приводного ленточного конвейера, с учетом особенностей конструкции высокомоментных двигателей.

В работе решаются задачи системы полеориентированного управления энергосберегающего электропривода и состоят в том, чтобы найти такое решение, которое обеспечит допустимое управление высокими показателями динамических характеристик, которое повысит эффективность производительности данного энергосберегающего безредукторного синхронного электропривода с постоянными магнитами.

V.V. Poptsov

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ АВТОМОБИЛЕЙ SUBARU FORESTER ТРЕТЬЕГО ПОКОЛЕНИЯ

Ключевые слова: надёжность, параметр потока отказов, наработка, интервалы отказов, неисправность.

В статье опубликованы результаты исследования надежности автомобилей Subaru Forester. Произведен сбор и обработка статистических материалов по отказам на различных СТО г. Тюмени. Выполнен анализ параметра потока отказов и выявлены закономерности его изменения. Результатом выполненной работы является разработка рекомендаций по повышению надежности автомобилей указанной марки.

V.V. Poptsov

RELIABILITY STUDY OF THE THIRD GENERATION SUBARU FORESTER

Keywords: reliability, failure flow parameter, operating time, failure intervals, malfunction.

The article contains the results of research on the reliability of Subaru Forester cars. The collection and processing of statistical materials on refusals at various service stations in Tyumen was carried out. The analysis of the parameter of the flow of failures is carried out and the patterns of its change are revealed. The result of the work performed is the development of recommendations for improving the reliability of cars of this brand.

M.V. Slavashevich, V.T. Bobronnikov,

A.A. Morozov, A.V. Starkov

МОНИТОРИНГ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА

Ключевые слова: Данные ДЗЗ, космические снимки, нефтяное загрязнение.

В работе рассматриваются вопросы обработки данных дистанционного зондирования Земли из космоса для оценки техногенной нагрузки. В качестве исследуемого явления выбрана авария 29 мая на территории ТЭЦ-3 Норильско-Таймырской энергетической компании. Визуальное дешифрирование космических снимков со спутника Sentinel-2 L2A позволило сделать вывод о значительном воздействии на территорию.

M.V. Slavashevich, V.T. Bobronnikov,

A.A. Morozov, A.V. Starkov

EMERGENCY MONITORING IN THE NORILSK AREA ACCORDING TO ERS DATA FROM SPACE VEHICLES

Keywords: ERS data, satellite imagery, oil pollution.

The paper considers the methodology for assessing the technogenic load based on Earth remote sensing. The accident on May 29 on the territory of the CHPP-3 of the Norilsk-Taimyr Energy Company was chosen as the investigated phenomenon. Visual interpretation of satellite images from the Sentinel-2 L2A satellite makes a conclusion about a significant impact on the territory.

V.A. Berezhnoy, O.A. Ivaschuk, Y.N. Maslakov

РАЗРАБОТКА МЕТОДА СЕГМЕНТАЦИИ 3D МОДЕЛЕЙ ВЕГЕТАТИВНОЙ ЧАСТИ ПОБЕГА

Ключевые слова: автоматизированная система фенотипирования, математическое моделирование, сегментация, 3D моделирование.

В статье рассматривается один из этапов фенотипирования растений – сегментация 3D модели растений на органы. Авторы исследуют вегетативную часть побега, состоящую из ствола и листьев и предлагают оригинальный метод сегментации. Апробация метода проведена на 792 3D моделях растений 6 видов, приведены метрики качества.

V.A. Berezhnoy, O.A. Ivaschuk, Y.N. Maslakov

DEVELOPMENT OF SEGMENTATION METHOD FOR THE 3D MODEL OF VEGETATIVE PLANT PART

Keywords: automated phenotyping system, mathematical modeling, segmentation, 3D modeling.

The article considers one of the phenotyping stages – segmentation of a plant's 3D model into organs. The authors study the vegetative part of the plant, consisting of the stem and leaves, and propose the original method of segmentation. The method was validated on 792 3D plant's 3D models of six species, performance metrics are given.

И.С. Горячев

**СИНТЕЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ
ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ
СУДНА В СЛОЖНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ УСЛОВИЯХ***Ключевые слова: судно, сигнал, информационная модель,
координаты.*

Динамические объекты в процессе взаимодействия на ограниченном пространстве формируют открытые сложные динамические морские системы. Информация о текущей ситуации является неполной и неточной, активность взаимодействующих объектов в общем случае может быть сложно предсказуема. Нормативные регуляторы активности, накладывающие ограничения на возможные действия по управлению, являются противоречивыми и недостаточно определенными, в статье приведены основные математические модели кватирования сигнала и их адаптация.

А.С. Лапаева, Д.Ю. Соколов, А.В. Савчиц

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ДОЗИРОВАНИЯ РЕАГЕНТОВ
ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ НА ВОДОЗАБОРНЫХ ОЧИСТНЫХ
СООРУЖЕНИЯХ***Ключевые слова: дозирование реагентов, очистные сооружения,
алгоритм дозирования, информационные технологии.*

Данная статья посвящена разработке алгоритмов дозирования реагентов в процессе очистки природной воды, поступающей в городские сети. Разработанные алгоритмы обеспечивают повышение качества очистки воды и позволяют снизить расход дозируемых реагентов. Для реализации алгоритмов выбрана программа SimInTech.

М.П. Овчинцев

**ПРЕДСТАВЛЕНИЕ НЕКОТОРЫХ АНАЛИТИЧЕСКИХ
ФУНКЦИЙ ЧЕРЕЗ ТЭТА ФУНКЦИЮ ЯКОБИ***Ключевые слова: тэта функция Якоби, функция Грина,
комплексная функция Грина, функция Робинсона, экстремальная
функция.*

В представленной работе несколько аналитических функций определяются через тэта функцию Якоби. Статья состоит из двух частей. В первой части приводятся определения тэта функции Якоби, функции Робинсона, комплексной функции Грина и аналитической функции, введенной в работах В.В. Восканяна, а также их свойства. Во второй части эти функции выражаются через тэта функцию Якоби. Здесь же доказываются тождества, которым удовлетворяют указанные функции. В конце работы комплексная функция Грина, заданная в круговом кольце выражается через тэта функцию Якоби и через функцию Робинсона.

Т.А. Деменкова, Ф.А. Игнатьев

**ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ТЕСТИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ
БЛОКОВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ***Ключевые слова: тестирование, процессорные устройства,
цифровые блоки, элементная база, вычислительные системы.*

В работе выполнен анализ существующих методов, алгоритмов и программных средств проверки цифровых блоков процессорных устройств для отладки и освоения вычислительных систем, выполненных на современной элементной базе. Проведены исследования возможных решений в данной предметной области, предложен алгоритм тестирования. Разработано программное обеспечение для реализации проектов на отечественной элементной базе.

Т.А. Деменкова, А.О. Индришенок

**МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ АППАРАТНЫХ ЗАКЛАДОВ В
ЦИФРОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ***Ключевые слова: вычислительные системы, встроенные
средства контроля, диагностика, цифровые системы
обработки данных, аппаратные закладки.*

В работе исследуется проблема создание методов проектирования встроенных средств контроля и диагностики

I.S. Goryachev

**SYNTHESIS OF SPATIAL INFORMATION STREAMS
FOR VESSEL CONTROL IN NAVIGATION CONDITIONS***Keywords: vessel, signal, information model, coordinates.*

Dynamic objects in the process of interaction in a limited space form open complex dynamic marine systems. Information about the current situation is incomplete and inaccurate, the activity of interacting objects in the general case can be difficult to predict. Normative regulators of activity, which impose restrictions on possible control actions, are contradictory and insufficiently defined; the article presents the main mathematical models of signal acknowledgment and their adaptation.

**A.S. Lapaeva, D.Y. Sokolov, A.V. Savchic
DEVELOPMENT OF ALGORITHMS FOR DOSING
REAGENTS FOR WATER TREATMENT AT WATER
INTAKE TREATMENT FACILITIES***Keywords: reagent dosing, treatment facilities, dosing
algorithms, information technologies.*

This article is devoted to the development of algorithms for dosing in the process of cleaning natural water supplied to urban networks. The developed algorithms improve the quality of water treatment and reduce the consumption of metered reagents. The SimInTech program is selected for the implementation of algorithms.

M.P. Ovchintsev

**REPRESENTATION OF SOME ANALYTIC FUNCTIONS
THROUGH THE JACOBI THETA FUNCTION***Keywords: Jacobi Theta function, Green's function, Green's
complex function, Robinson's function, extremal function.*

In the present paper, I present some analytic functions with the help of the Jacobi Theta function. The article consists of two parts. In the first part, the definitions of the Jacobi theta function, the Robinson function, the complex Green function, and the analytical function introduced in the works of V.Voskanyan are given, as well as their properties. In the second part, these functions are represented in terms of the Jacobi theta function. Here I also prove the identities that satisfy these functions. At the end of the paper, the complex Green function given in a circular ring is represented in terms of the Jacobi theta function and in terms of the Robinson function.

T.A. Demenkova, Ph.A. Ignatyev

**SOFTWARE FOR TESTING DIGITAL UNITS OF
COMPUTER SYSTEMS***Keywords: testing, processor devices, digital blocks, element
base, computing systems.*

The paper analyzes the existing methods, algorithms and software for checking digital blocks of processor devices for debugging and mastering computing systems based on modern element base. Research of possible solutions in this subject area has been carried out, a testing algorithm has been proposed. Software has been developed for the implementation of projects on the basis of domestic components.

T.A. Demenkova, A.O. Indrishenok

**METHODS FOR DETECTING HARDWARE BOOKMARKS
IN DIGITAL COMPUTER SYSTEMS***Keywords: computing systems, built-in testing tools,
diagnostics, digital data processing systems, hardware
bookmarks.*

The paper investigates the problem of creating methods for designing built-in control and diagnostics to identify possible

для выявления возможных аппаратных закладок, которые могут привести к полному выведению системы из строя или нарушению ее нормального функционирования, включая несанкционированный доступ к информации, ее изменение или блокирование. Рассматривается возможность обнаружения аппаратных троянов в цифровых системах обработки данных на основе часов реального времени. Показаны подходы при проектировании вычислительных систем с учетом возможных рисков нарушения целостности разработанных проектов.

Е.Г. Макейкин, А.В. Хохлов, Г.С. Лазарев, А.И. Боровик
МИГРАЦИЯ БАЗЫ ДАННЫХ ИЗ СИСТЕМЫ
«ЛОЦМАН:PLM 2014» В «ЛОЦМАН:PLM 2018 SE»

Ключевые слова: база данных, резервное копирование, миграция данных, файловый архив, сквозная 3D-технология.

В настоящее время на предприятии в рамках реализации сквозной 3D-технологии, выполняется проект по внедрению комплекса систем инженерного ПО Российской компании АСКОН. Основным компонентом комплекса является сертифицированная система управления жизненным циклом изделия «ЛОЦМАН:PLM SE MILITARY» (исполнение 1 – «PLM:ТИС 2014» и исполнение 2 – «ЛОЦМАН:PLM 2018 SE») (далее - Система). Основное внимание в данной работе уделяется на представлении процесса миграции (переноса) данных из PLM:ТИС 2014 в исполнение 2. За время существования сквозной 3D-технологии, впервые была осуществлена работа по миграции всего пула наработанных данных из одной системы в другую.

Р.Э. Семенов

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ НА ОБЪЕКТЕ ОТВЕТСТВЕННОГО
НАЗНАЧЕНИЯ

Ключевые слова: Wi-Fi сеть, подключение к сети Интернет, Интернет в метрополитене, архитектура беспроводной сети. В данной работе представлены результаты исследования и проектирования локальной сети на участке метрополитена которая включает в себя две станции, тоннель между ними и подвижный состав. Сеть спроектирована в двухпутных туннелях, которые находятся в процессе строительства Большой кольцевой линии московского метрополитена. Сеть подвижного состава организована в вагонах "Москва", это позволяет добиться большей скорости и стабильности соединения, по сравнению с существующими, в настоящее время, локальными сетями метрополитена.

Н.Н. Беспалов, Ю.В. Горячкин,
К.Ю. Панькин, И.О. Бектышкин

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ
ПРЯМЫХ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И
ТЕМПЕРАТУРНОГО КОЭФФИЦИЕНТА НАПРЯЖЕНИЯ
ДИОДА D242

Ключевые слова: полупроводниковый диод, прямой ток, вольт-амперная характеристика, температурный коэффициент напряжения, моделирование, температура.

Статья посвящена исследованию вольт-амперных характеристик и температурного коэффициента напряжения выпрямительного низкочастотного диода штыревой конструкции D242. Результаты исследования получены на основе моделирования с использованием пакета программ инструментального и технологического моделирования Synopsys TCAD. Определен диапазон значений прямого испытательного тока, применение которых на практике обуславливает снижение погрешности измерения значений напряжения в прямом направлении и относительно небольшую погрешность определения значения температурного коэффициента напряжения диодов.

hardware backups that can lead to the complete disabling of the system or disruption of its normal functioning, including unauthorized access to information, its modification or blocking. The possibility of detecting hardware Trojans in digital data processing systems based on a real-time clock is considered. Approaches to the design of computing systems are shown taking into account possible risks of violating the integrity of the developed projects.

E.G. Makeykin, A.V. Khokhlov, G.S. Lazarev, A.I. Borovik
MIGRATION OF THE DATABASE FROM THE
«LOODSMAN:PLM 2014» IN «LOODSMAN:PLM 2018 SE»

Keywords: database, backup, data migration, file archive, end-to-end 3D technology.

Currently, as part of the implementation of end-to-end 3D technology, the company is implementing a project to implement a complex of engineering software systems of the Russian company ASCON. The main component of the complex is the certified product lifecycle management system «LOODSMAN:PLM SE MILITARY» (version 1 – «PLM:TIS 2014» and performance 2 – «LOODSMAN:PLM 2018 SE») (hereinafter referred to as the System). The main focus of this paper is on the representation of the process of migration (migration) of data from PLM:TIS 2014 in execution 2. During the existence of end-to-end 3D technology, for the first time, work was carried out on the migration of the entire pool of accumulated data from one system to another.

R.E. Semenov

RESEARCH ON THE POSSIBILITIES OF DEVELOPING A
WIRELESS NETWORK AT A RESPONSIBLE FACILITY
Keywords: Wi-Fi network, Internet connection, Internet in the metro, wireless network architecture.

This article presents the results of research and design of a local network on a section of the metro that includes two stations, a tunnel between them and rolling stock. The network is designed in two-track tunnels, which are in the process of construction of Big Circle Line. The network of rolling stock is organized in the "Moscow" subway trains, which allows you to achieve greater speed and stability of the connection, compared to the currently existing local metro networks.

N.N. Bepalov, Y.V. Goryachkin,
K.Y. Pankin, I.O. Bektyashkin

MODELING AND RESEARCH OF THE PARAMETERS
OF DIRECT VOLT-AMPERE CHARACTERISTICS
AND TEMPERATURE COEFFICIENT OF VOLTAGE OF
D242 DIODE

Keywords: semiconductor diode, forward current, current-voltage characteristic, the temperature coefficient of voltage, simulation, temperature.

The article is devoted to the study of the current-voltage characteristics and the temperature coefficient of the voltage of the rectifier low-frequency diode of the pin design D242. The research results were obtained on the basis of modeling using the software package for instrumental and technological modeling Synopsys TCAD. The range of values of the forward test current is determined, the use of which in practice causes a decrease in the error in measuring the voltage values in the forward direction and a relatively small error in determining the value of the temperature coefficient of the diode voltage.

И.Н. Бояршинова, В.С. Хусаинов
ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ С
ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ВЕСА

Ключевые слова: оптимальное проектирование, двухэтапная методика, топологическая оптимизация, параметрическая оптимизация, метод Нелдера-Мида.

Статья содержит материалы, посвященные развитию и расширению области применения двухэтапной методики оптимального проектирования конструкций, представленной в работах [1 – 3]. Методика реализована для задачи оптимального проектирования, которая была предложена участникам конкурса, организованного в рамках проекта GenerationS. Решение проводилось при помощи пакетов прикладных программ SolidThinking Inspire (топологическая оптимизация), ANSYS workbench, а также написанной на языке Python программы, реализующей алгоритм метода Нелдера-Мида (параметрическая оптимизация), позволяющая проводить расчеты совместно с ANSYS workbench. Применение предложенной методики ведет к существенной экономии затрат на материалы и проектирование. Кроме того, полученную конструкцию можно изготовить не только при помощи аддитивных технологий, но и традиционными методами.

С.Г. Буланов
АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ С НЕЛИНЕЙНОЙ
ДОБАВКОЙ

Ключевые слова: устойчивость по Ляпунову, компьютерный анализ устойчивости.

Представлены критерии устойчивости систем линейных обыкновенных дифференциальных уравнений с нелинейной добавкой. Критерии получены на основе матричных мультипликативных преобразований разностных схем численного интегрирования. Вычисление возмущенного и невозмущенного решения, входящего в конструкцию критериев, на основе метода варьiruемого кусочно-интерполяционного приближения повышает достоверность анализа устойчивости и расширяет диапазон исследования.

Е.С. Гольцов, Н.М. Труфанова
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ И
ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ПРОЦЕСС
ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА ПРИ СИЛАНОВОЙ СШИВКЕ

Ключевые слова: модель volume of fluid, силановая шивка, тепломассоперенос, пар, вода, математическая модель.

В работе разработана нестационарная двумерная математическая модель процессов тепломассопереноса в ванне с кабелем и двухкомпонентной средой - пар-вода. В результате исследования были получены векторные поля скоростей, поля температур и распределения фаз в силанольной ванне. Определено влияние физических и геометрических параметров на процесс тепломассопереноса для различных маркоразмеров, длин заготовки, размеров барабанов и конструкций.

В.А. Егоров, Д.С. Попов
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕАБИЛИТАЦИОННОГО
ЭКЗОПРОТЕЗА НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА

Ключевые слова: Математическая модель, реабилитационный экзопротез, уравнение Лагранжа.

В работе описана математическая модель экзопротеза нижних конечностей человека, полученная при помощи уравнения Лагранжа.

I.N. Boyarshinova, V.S. Husainov
THE OPTIMAL DESIGN OF STRUCTURES TO REDUCE
WEIGHT

Keywords: optimal design, topologic optimization, parametric optimization, two-stage methodology, Nelder-Mead method.

The article contains materials devoted to the development and expansion of the field of application of the two-stage methodology for the optimal design of structures presented in articles [1 – 3]. The technique was implemented for the problem of optimal design, which was proposed to the participants of the competition organized within the framework of the GenerationS project. The solution was carried out using the SolidThinking Inspire application packages, ANSYS workbench, as well as a program written in Python that implements the Nelder-Mead method algorithm, which allows calculations in conjunction with ANSYS workbench. Application of the proposed methodology leads to significant savings in material and design costs. In addition, the resulting structure can be manufactured by traditional methods.

S.G. Bulanov
STABILITY ANALYSIS OF SYSTEMS OF LINEAR
DIFFERENTIAL EQUATIONS WITH NONLINEAR
ADDITION

Keywords: Lyapunov stability, computer stability analysis.

In paper stability criteria for systems of linear ordinary differential equations with nonlinear additional term are presented. The criteria are obtained on the basis of matrix multiplicative transformations of difference schemes of numerical integration. The calculation of the perturbed and unperturbed solution included in the construction of the criteria is based on the method of variable piecewise interpolation approximation, which leads to increase the accuracy of the stability analysis and expand the research range.

E.S. Goltsov, N.M. Trufanova
NUMERICAL ANALYSIS OF HEAT AND MASS
TRANSFER DURING THE PROCESS OF SILANE
CROSSLINKING IN WATER BATH

Keywords: volume of fluid model, silane crosslinking, heat and mass transfer, steam, water, mathematical model

In this paper, a non-stationary two-dimensional mathematical model of heat and mass transfer processes in a bath with a cable and a two-component medium-steam-water is developed. As a result of the study, vector fields of velocities, temperature fields, and phase distributions in the silanol bath were obtained. The influence of physical and geometric parameters on the heat and mass transfer process for various sizes, billet lengths, drum sizes and structures is determined.

V.A. Egorov, D.S. Popov
MATHEMATICAL MODEL OF REHABILITATION
EXOPROTHESIS OF THE LOWER LIMBS
OF THE HUMAN

Keywords: Mathematical model, rehabilitation exoprosthesis, La Grange equation.

The paper describes a mathematical model of an exoprosthesis of human lower extremities, obtained using the La Grange equation.

В.А. Иванов, И.А. Мутугуллина
ВЛИЯНИЕ ЗАКРУТКИ ВОЗДУШНОГО ЗАРЯДА
НА КОНВЕКТИВНЫЙ ТЕПЛООБМЕН В ЦИЛИНДРЕ ДВС

Ключевые слова: пограничный слой, закрученный поток, вторичные течения, конвективный теплообмен

Рассматривается влияние крупномасштабных вихревых структур на интенсификацию теплопередачи в цилиндре двигателя. Показывается, что закрутка воздушного заряда приводит не к интенсификации теплопередачи, а, наоборот, - к блокированию её.

V.A. Ivanov, I.A. Mutygullina
EFFECT OF AIR CHARGE TWIST ON CONVECTIVE
HEAT TRANSFER IN THE CYLINDER OF THE
INTERNAL COMBUSTION ENGINE

Keywords: boundary layer, swirling flow, secondary flows, convective heat transfer.

The influence of large-scale vortex structures on the intensification of heat transfer in the engine cylinder is considered. It is shown that the twist of the air charge does not lead to an intensification of heat transfer, but, on the contrary, to its blocking.

Исмаил Ахмед, М.Ю. Филимонов
ПРОЕКТ И МОДЕЛЬ РЕГУЛЯТОРА ДВИГАТЕЛЯ
ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО
ПРИВОДА МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ

Ключевые слова: двигатель постоянного тока, PID-регулятор, метод Зиглера-Николса, DDMR, моделирование.

В работе представлены результаты по моделированию двигателя постоянного тока (DCM), исследуется устойчивость модели и проектируется пропорционально-интегрально-дифференцирующий регулятор (PID-регулятор) для этой модели. Управляемая модель соединена с мобильным роботом с дифференциальным приводом (DDMR). Исследована новая модель, полученная путем объединения модели DCM и кинематической модели DDMR.

I. Ahmed, M.Yu. Filimonov
DESIGN AND MODEL DC MOTOR CONTROLLER FOR
DIFFERENTIAL DRIVE MOBILE ROBOT APPLICATIONS
Keywords: direct-current motor, PID control, Ziegler-Nichols method, DDMR, modeling.

In this paper, we present the results of modeling a permanent magnet Direct Current Motor (DCM), study the stability of the model and design a Proportional Integral Derivative (PID) controller for this model. The controlled model is coupled with Differential Drive Mobile Robot (DDMR). A new model is obtained by combining the DC motor model and DDMR kinematics model.

А.А. Корелин, И.Я. Дятлов, Н.М. Труфанова
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЧИСЛЕННЫЙ
АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ВУЛКАНИЗАЦИИ
ПОЛИЭТИЛЕНОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Ключевые слова: математическая модель, степень сшивки, полиэтиленовая изоляция.

В современных кабелях среднего и высокого напряжения, в качестве изоляции используется сшитый полиэтилен, механические свойства которого значительно выше линейного полиэтилена. Сшивка производится пероксидным методом, который происходит в вулканизационной трубе в среде азота при температуре 400С°. В работе разработана математическая модель процесса тепломассопереноса в трубе вулканизации, реализация которой позволила определить параметры рационального технологического процесса.

A.A. Korelin, I.Ya. Dyatlov, N.M. Trufanova
MATHEMATICAL MODELING AND NUMERICAL
ANALYSIS PROCESS VULCANIZATION OF
POLYETHYLENE INSULATION

Keywords: mathematical model, degree of crosslinking, polyethylene insulation.

In modern medium and high voltage cables, cross-linked polyethylene is used as insulation, the mechanical properties of which are significantly higher than linear polyethylene. Cross-linking is carried out by the peroxide method, which takes place in a vulcanization tube in a nitrogen atmosphere at a temperature of 400C°. The work developed a mathematical model of the process of heat and mass transfer in a vulcanization pipe, the implementation of which made it possible to determine the parameters of a rational technological process.

Н.И. Красовская, С.В. Якубовская, О.В. Красовская,
А.В. Сычева, А.А. Лещев, Е.Ю. Иванова
ФОРМИРОВАНИЕ НАВЫКОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ
ОБЪЕКТОВ ПРОСТРАНСТВА У СТУДЕНТОВ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛИЧНОСТНО ОРИЕНТИРОВАННОЙ
МОДЕЛИ ОБРАЗОВАНИЯ

Ключевые слова: образовательные парадигмы, моделирование объектов, компьютерная графика, инженерная графика, творчество.

В работе обсуждаются методические приемы формирования способности студентов первого года обучения к компьютерному моделированию объектов пространства с использованием различных графических пакетов прикладных программ. Это становится возможным при переходе к личностно ориентированной модели образования.

N.I. Krasovskaya, S.V. Yakubovskaya, O.V. Krasovskaya,
A.V. Sycheva, A.A. Leshchev, E.Y. Ivanova
BUILDING SKILLS IN MODELING SPACE FOR
STUDENTS USING A PERSONALITY-ORIENTED
MODEL OF EDUCATION

Keywords: educational paradigms, object modeling, computer graphics, engineering graphics, creativity.

The paper discusses the methodical techniques of shaping the ability of first-year students to computer-simulat space objects using various graphic packages of applications. This becomes possible when we move to a personality-oriented model of education.

А.А. Нечаев, В.Ю. Мельцов
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВА КОНФИГУРАЦИИ
ГИПЕРПАРАМЕТРОВ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ
НА ОСНОВЕ МАТРИЧНОЙ ФАКТОРИЗАЦИИ

Ключевые слова: рекомендательная система, коллаборативная фильтрация, матричная факторизация, байесовская оптимизация.

В статье представлены результаты исследования работы нескольких рекомендательных моделей, обученных при помощи алгоритмов матричной факторизации с различными

A.A. Nechaev, V.Yu. Meltsov
INVESTIGATING THE HYPERPARAMETER
CONFIGURATION SPACE OF MATRIX FACTORIZATION
RECOMMENDATION MODELS

Keywords: matrix factorization, hyperparameter optimization, Bayesian optimization, recommender systems.

This paper presents the results of an investigation on performance of several recommender models trained by matrix factorization algorithms with the usage of different hyperparameters. Prediction errors and training times are

гиперпараметрами. Анализируются величины ошибки предсказания и времени обучения моделей. Также демонстрируются предсказания гауссовских процессов, использованных при байесовской оптимизации гиперпараметров.

Д.С. Пинягин, Н.М. Труфанова
ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ
ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В СКВАЖИНЕ С
ПРИЗАБОЙНЫМ НАГРЕВАТЕЛЕМ

Ключевые слова: призабойный нагреватель, нефтяная скважина, турбулентное течение, высокая вязкость, тепловой процесс.

В работе рассмотрена двумерная осесимметричная математическая модель процесса теплообмена в нефтяной скважине с призабойным нагревателем, который используется для скважин с высоковязкой нефтью. Реализация разработанных математических моделей осуществлялась методом конечных объемов в программном комплексе ANSYS. Произведено сравнение двух математических моделей течения нефти с турбулентным и ламинарным режимами течения с учетом призабойного нагревателя. В результате исследования были получены поля скоростей, температур во всем объеме скважины. Построены распределения скоростей и температур по сечению НКТ. Исследовано влияние величины вязкости на температуру перед входом в электрический центробежный насос. Была выбрана наиболее оптимальная модель течения.

Н.А. Семькина, В.И. Суворов, И.А. Шаповалова
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ
КОМПЬЮТЕРНЫМ АТАКАМ

Ключевые слова: математическое моделирование, компьютерная атака, устойчивость системы.

Для оценки и прогноза динамики процесса подавления деструктивных воздействий кибератак на информационный ресурс создана математическая модель, представленная системой нелинейных дифференциальных уравнений. Построенная модель исследована на устойчивость. Анализ проводился с помощью первого метода Ляпунова. Получены условия существования устойчивого положения равновесия.

О.В. Соловьева, С.А. Соловьев,
Р.С. Зарипова, А.В. Чупаев, А.В. Каляшина
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОЙ ПОРИСТОСТИ ЯЧЕИСТОГО
МАТЕРИАЛА ДЛЯ ЗАДАЧ МАТЕМАТИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГАЗА С
ПОРИСТЫМ МАТЕРИАЛОМ

Ключевые слова: высокопористый проницаемый ячеистый материал, эффективная пористость, математическая модель. В настоящей работе проведено сравнение эффективности работы моделей высокопористого ячеистого материала (ВПЯМ), построенных простыми аналитическими методами. Параметр эффективности работы материала определен как произведение площади поверхности и времени прохождения газа через пористую среду. Аналитическая оценка показывает разные значения эффективной пористости для разных моделей построения материала. При этом для всех рассмотренных моделей эффективная пористость находится в пределах 0.741-0.821.

Д.А. Шишкин, А.Г. Шербинин, С.В. Ершов
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА
СМЕШЕНИЯ ПОЛИМЕРОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ
ШНЕКА С ДВОЙНОЙ ВОЛНОЙ

Ключевые слова: математическая модель, смешение, накопленная деформация сдвига, двухволновый шнековый смеситель.

Построена математическая модель изотермического течения ньютоновской жидкости в канале двухволнового шнекового смесителя. Проведена оценка качества получаемой смеси по

analyzed. Also, the predictions of Gaussian processes are demonstrated, which have been used for Bayesian hyperparameter optimization.

D.S. Pinyagin, N.M. Trufanova
NUMERICAL STUDY OF HEAT AND MASS TRANSFER
PROCESSES IN A WELL WITH A BOTTOM HEATER

Keywords: bottomhole heater, oil well, turbulent flow, high viscosity, thermal process.

The paper considers a two-dimensional axisymmetric mathematical model of the process of heat and mass transfer in an oil well with a bottomhole heater, which is used for wells with high-viscosity oil. A mathematical model of an oil well with turbulent and laminar oil flow was developed, taking into account the bottomhole heater. As a result of the study, the fields of velocities and temperatures were obtained in the entire volume of the well. Distributions of velocities and temperatures over the tubing section were constructed, various models of turbulent flow were compared. The influence of the viscosity value on the temperature before entering the electric centrifugal pump is investigated. The most optimal flow model was chosen under the given conditions.

N.F. Semykina, V.I. Suvorov, I.A. Shapovalova
MATHEMATICAL MODEL OF COUNTERING
COMPUTER ATTACKS

Keywords: mathematical model, computer attack, stability of the system.

To assess and predict the dynamics of the process of suppressing the destructive effects of computer attacks on an information resource, a mathematical model is created, represented by a system of nonlinear differential equations. An equilibrium position is found. The conditions for the existence of a stable equilibrium are found. The Lyapunov method is used to analyze the equilibrium points.

O.V. Soloveva, S.A. Solovev,
R.S. Zaripova, A.V. Chupaev, A.V. Kalyashina
ESTIMATION OF THE EFFECTIVE POROSITY OF AN
OPEN CELL FOAM MATERIAL FOR THE PROBLEMS OF
MATHEMATICAL MODELING OF THE INTERACTION
OF GAS WITH A POROUS MATERIAL

Keywords: open cell foam material, effective porosity, mathematical model.

In this work, we compare the performance of models of an open cell foam material constructed by simple analytical methods. The parameter of the material efficiency is defined as the product of the surface area and the time of gas passage through the porous medium. Analytical evaluation shows different values of effective porosity for different construction models of the material. In this case, for all considered models, the effective porosity is in the range of 0.741-0.821.

D.A. Shishkin, A.G. Shcherbinin, S.V. Ershov
ESTIMATION OF THE EFFICIENCY OF THE PROCESS
OF MIXING OF POLYMERS WHEN USING A DOUBLE
WAVE SCREW

Keywords: mathematical model, polymer mixing, accumulated shear strain.

A mathematical model of a mixer with a variable depth of the turn-to-turn channel was constructed using the example of a double-wave screw. The quality of the resulting mixture was assessed by the criterion of accumulated shear strain. The

величине накопленной деформации сдвига. Рассмотрено влияние скорости вращения шнека и величины зазора над барьерным гребнем на процессы смешения

С.В. Якубовская, Н.И. Красовская,
Н.Ю. Сильницкая, Е.Ю. Иванова, О.В. Красовская
МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ
МНОГОСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ
ДЕФОРМИРОВАНИИ ВО ВРЕМЕНИ

Ключевые слова: многослойные конструкции, деформирование во времени, напряжения, деформации.

В работе рассмотрен вопрос определения напряженного состояния многослойных конструкций с учетом изменения во времени механических характеристик материалов по разработанной математической модели и моделирования напряжений во времени на базе компьютерной программы. Представлены результаты расчета трехслойной цилиндрической оболочки (сталь, бетон, сталь) в виде графиков, которые характеризуют такие свойства материалов как ползучесть.

Е.В. Бурькова, А.А. Рычкова
МЕТОДИКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ВЫБОРЕ СРЕДСТВ
ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ НА ОСНОВЕ МЕТОДА
АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ

Ключевые слова: система физической защиты, угрозы безопасности, система поддержки принятия решений, метод анализа иерархии (МАИ), функциональная модель.

В работе представлены обобщенный алгоритм автоматизированной системы поддержки принятия решений, методика применения метода анализа иерархий, функциональная модель процесса выбора средств физической защиты.

influence of the screw rotation speed and the turn-to-turn gap on the value of the accumulated shear deformation is considered.

S.V. Yakubovskaya, N.I. Krasovskaya,
N.Y. Silnitskaya, E.Yu. Ivanova, O.V. Krasovskaya
MODELLING OF THE STRESS STATE OF MULTILAYER
STRUCTURES DURING DEFORMATION IN TIME

Keywords: multilayer structures, deformation in time, stresses, deformations.

The paper considers the issue of determining the stress state of multilayer structures, taking into account the change in time of the mechanical characteristics of materials according to the developed mathematical model and modeling of stresses in time based on the developed computer program. The results of the calculation of a three-layer cylindrical shell (steel, concrete, steel) are presented in the form of graphs that characterize such properties of materials as creep.

E.V. Burkova, A.A. Rychkova
THE METHOD OF DECISION-MAKING SYSTEM FOR
THE SELECTION OF PHYSICAL PROTECTION MEANS
BASED ON THE HIERARCHY ANALYSIS METHOD

Keywords: physical protection system, security threats,, decision support system, the hierarchy analysis method (MAI), functional model.

The paper presents a generalized algorithm of an automated decision support system, a methodology for applying the hierarchy analysis method, and a functional model of the process of selecting physical protection tools.

Публичный лицензионный договор-оферта о правах на статью

Редакция журнала «Научно-технический вестник Поволжья» предлагает Вам присылать свои статьи для публикации на страницах журнала, а также на сайте Научной электронной библиотеки (НЭБ). Предоставление Автором своего произведения является полным и безоговорочным акцептом, т.е. данный договор считается заключенным с соблюдением письменной формы. Присылая для публикации произведение, Автор также предоставляет Редакции журнала права на использование произведения и гарантирует, что он обладает достаточным объемом прав на передаваемое произведение. Также Автор предоставляет редакции журнала право переуступить на договорных условиях частично или полностью полученные по настоящему Договору права третьим лицам без выплаты Автору вознаграждения. Все авторские права регулируются в соответствии с действующим законодательством России.

Договор публичной оферты по обработке персональных данных

В процессе осуществления выпуска журнала "Научно-технический вестник Поволжья", ООО "Рашин Сайнс" осуществляется обработка персональных данных, предоставленных авторами статей в рамках сообщения своих регистрационных данных для осуществления публикации в журнале (имя, фамилия, отчество, адрес автора, контактный телефон и e-mail приводятся в регистрационной форме, заполняемой авторами при отправке статьи в журнал). Обработка осуществляется редакцией журнала для целей надлежащей отправки журнала автору и возможности связи с автором лиц, заинтересованных в результатах труда автора статьи. Под обработкой персональных данных в контексте настоящего согласия понимаются действия редакции по сбору, систематизации, накоплению, хранению, использованию, распространению, уничтожению персональных данных, а также действия по их дальнейшей обработке с помощью автоматизированных систем управления базами данных, и иных программных средств, используемых редакцией журнала. Настоящее согласие автора на обработку персональных данных является бессрочным и может быть отозвано в любой момент путем отказа автора от получения журнала и дальнейшей обработки его персональных данных.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ

№5 2021

Направления:

**05.13.01 – СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА
ИНФОРМАЦИИ (технические науки)**

**05.13.06 – АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ
(технические науки)**

**05.13.11 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ
СЕТЕЙ (физико-математические науки)**

**05.13.11 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ
СЕТЕЙ (технические науки)**

**05.13.18 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ
МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ (технические науки)**

**05.13.19 – МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ,
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
(физико-математические науки)**

www.ntvp.ru

Реестровая запись от 08.05.2019 серия ПИ № ФС 77 -75732

Подписано в печать 27.05.2021 Формат А4. Печать цифровая.

Дата выхода в свет 27.05.2021

10,9 усл.печ.л. 12,3 уч.изд.л. Тираж 500 экз. Заказ 3430.

Учредитель: ООО "Рашин Сайнс":

420111, г. Казань, ул. Университетская, 22, помещение 23.

Адрес редакции, издательства, типографии – ООО "Рашин Сайнс":

420111, г. Казань, ул. Университетская, 22, помещение 23.

Цена свободная.

© Рашин Сайнс

тел. (843) 216-30-35

Отпечатано с готового оригинал-макета

ООО «Рашин Сайнс»