

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК ПОВОЛЖЬЯ

№10 2022

Направления:

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

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

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

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

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

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

**Казань
2022**

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №10 2022г. – Казань: ООО «Рашин Сайнс», 2022. – 92 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.ntvprrt.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.Ф. Тарасов – д.ф.-м.н., проф.; Х.Э. Харлампиди – д.х.н., проф.; М.В. Шулаев – д.т.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, 2022 г.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>М.Г. Кузнецов, В.С. Минкин, Р.Х. Шагимуллин, В.В. Харьков</i> ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ	7
--	---

1.2.2. — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

<i>А.И. Гималетдинов, А.С. Титовцев</i> ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ РАСТЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ЦВЕТКА ИРИСА	11
<i>Д.С. Лобарёв, Д.В. Толбухин</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧИ ТРЁХ ТЕЛ СРЕДСТВАМИ RYTHON	14
<i>М.М. Ляшева, С.А. Ляшева, М.П. Шлеймович</i> ФИЛЬТРАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОРОГОВОЙ ОБРАБОТКИ ВЕСОВЫХ МОДЕЛЕЙ	18
<i>А.И. Хайбуллина, А.Р. Хайруллин</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В ПУЧКЕ ТРУБ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ LES МЕТОДА	22
<i>Е.Г. Царькова</i> НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ОХРАННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ	27

2.3.1. — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

<i>А.Ю. Барыкин, Р.М. Галиев, В.М. Нигметзянова, Д.И. Нуретдинов, Р.Х. Тахавиев, Ш.С. Хуснетдинов, А.М. Фролов</i> СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ НАГРУЖЕННОСТИ ФЛАНЦЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ КАРДАННОЙ ПЕРЕДАЧИ	30
<i>Д.С. Горбатенко</i> ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ ВБЛИЗИ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ	33
<i>А.В. Запорожцев, В.И. Хазова, В.И. Хазова</i> ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ВЫЯВЛЕНИЮ ТРЕБОВАНИЙ В ЗАДАЧЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТОИР	36
<i>В.А. Коровяев, А.А. Сатаев, В.В. Андреев</i> СИСТЕМНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛООТДАЧИ ПРИ СВОБОДНОЙ КОНВЕКЦИИ ВОДЯНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ВОКРУГ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ЦИЛИНДРА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВНЕШНИХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИЛ	42
<i>А.Ю. Унгер</i> ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ФОРМАЛЬНОЙ ГРАММАТИКИ	45

2.3.3. — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

<i>Н.Н. Алаева, Р.Н. Зарипова</i> ОЦЕНКА РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ (ПО ПЛОТНОСТИ)	48
<i>В.В. Дорошенко, А.В. Просвилов, С.В. Литвинов</i> ОРГАНИЗАЦИЯ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ НА БАЗЕ БПЛА ПОСРЕДСТВОМ УПРАВЛЕНИЯ С БАЗОВОЙ СТАНЦИИ	52
<i>Л.Д. Ибрагимов, И.И. Нуреев, Рин.Ш. Мисбахов, В.В. Садчиков, Л.М. Сарварова</i> МАКЕТИРОВАНИЕ БРЭГГОВСКОГО ОПТИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ТРАНСФОРМАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ	58
<i>В.И. Курир</i> ГИДРОГЕНЕРАТОР ДЛЯ КАМСКОЙ ГЭС	61
<i>И.А. Ломухин</i> СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСОМ ГЕОЛОГО-ТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ	65

<i>В.В. Морозов, И.В. Беляев, Н.С. Довбыш, А.С. Разносчиков, А.В. Жданов</i> УВЕЛИЧЕНИЕ ТВЕРДОСТИ И ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ АРМАТУРЫ НА АВТОМАТИЗИРОВАННОМ КОМПЛЕКСЕ ЛАЗЕРНОЙ МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ	70
<i>Н.Г. Семенова, Л.А. Влацкая, А.М. Семенов</i> АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПО РАЗВИТИЮ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КОММУНАЛЬНО-СЕТЕВЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	74

**2.3.5. — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И
ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ
И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ**

<i>С.С. Емельянова, Н.Н. Иващенко, Е.А. Киселева</i> ИССЛЕДОВАНИЕ НОВЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ В НОВЫХ ВЕРСИЯХ ФАЙЛОВОЙ СИСТЕМЫ LUSTRE	79
---	----

**2.3.6. — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ
ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ, ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

<i>В.В. Семенов</i> МЕТОДИКА ИДЕНТИФИКАЦИИ СОСТОЯНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ	82
--	----

АННОТАЦИИ	85
------------------	----

THE RELEASE MAINTENANCE

<i>M.G. Kuznetsov, V.S. Minkin, R.Kh. Shagimullin, V.V. Kharkov</i> POSSIBILITIES OF USING ACOUSTIC ENERGY GENERATORS	7
---	---

1.2.2. — TECHNICAL SCIENCES — MATHEMATICAL MODELING, NUMERICAL METHODS AND PROGRAM COMPLEXES

<i>A.I. Gimaletdinov, A.S. Titovtsev</i> APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS FOR PLANT CLASSIFICATION ON THE EXAMPLE OF AN IRIS FLOWER	11
<i>D.S. Lobaryov, D.V. Tolbukhin</i> THE MATHEMATICAL MODELING OF THE PROBLEM OF THREE BODIES BY MEANS OF PYTHON	14
<i>M.M. Lyasheva, S.A. Lyasheva, M.P. Shleyimovich</i> IMAGE FILTERING USING THRESHOLD PROCESSING OF WEIGHT MODELS	18
<i>A.I. Khaibullina, A.R. Khairullin</i> SIMULATION OF HEAT TRANSFER IN A TUBE BUNDLE USING LES METHOD	22
<i>E.G. Tsarkova</i> NEURAL NETWORK MODEL OF OPTIMAL MANAGEMENT OF THE SECURITY COMPANY	27

2.3.1. — TECHNICAL SCIENCES — SYSTEM ANALYSIS, MANAGEMENT AND INFORMATION PROCESSING

<i>A.Yu. Barykin, R.M. Galiev, V.M. Nigmatzyanova, D.I. Nuretdinov, R.Kh. Takhaviev, Sh.S. Husnetdinov, A.M. Frolov</i> SYSTEM ANALYSIS OF THE LOAD OF THE FLANGE CONNECTION OF THE CARDAN TRANSMISSION	30
<i>D.S. Gorbatenko</i> ENSURING TRAFFIC SAFETY NEAR TRANSPORTATION COMPLEXES	33
<i>A.V. Zaporozhtsev, V.I. Khazova, V.I. Khazova</i> A FUNCTIONAL APPROACH TO IDENTIFYING REQUIREMENTS IN IMPROVING MAINTENANCE AND REPAIR	36
<i>V.A. Korovaev, A.A. Sataev, V.V. Andreev</i> SYSTEMATIC STUDY OF THE HEAT TRANSFER PROCESS WITH FREE CONVECTION OF A WATER COOLANT AROUND A HORIZONTAL CYLINDER UNDER THE INFLUENCE OF EXTERNAL DYNAMIC FORCES	42
<i>A.Y. Unger</i> AN ESTIMATE OF INFORMATION SYSTEM SECURITY BASED ON FORMAL GRAMMAR	45

2.3.3. — TECHNICAL SCIENCES — AUTOMATION AND MANAGEMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND PRODUCTION

<i>N.N. Alaeva, R.N. Zaripova</i> EVALUATION OF THE RESOLUTION OF PRESSURE SENSORS (BY DENSITY)	48
<i>V.V. Doroshenko, A.V. Prosvirov, S.V. Litvinov</i> ORGANIZATION OF A PHASED ARRAY ANTENNA BASED ON A UAV BY MEANS OF CONTROL FROM A BASE STATION	52
<i>L.D. Ibragimov, I.I. Nureev, Rin.Sh. Misbakhov, V.V. Sadchikov, L.M. Sarvarova</i> BUILD-UP OF BRAGG OPTICAL VOLTAGE/CURRENT MEASURING TRANSFORMER	58
<i>V.I. Kurir</i> HYDROGENERATOR FOR KAMA HPP	61
<i>I.A. Lomukhin</i> AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR A COMPLEX OF GEOLOGICAL AND TECHNICAL MEASURES	65
<i>V.V. Morozov, I.V. Belyaev, N.S. Dovbysh, A.S. Raznoschikov, A.V. Zhdanov</i> THE EFFECT OF LASER SURFACE TREATMENT ON THE HARDNESS AND TRIBOLOGICAL CHARACTERISTICS OF STEEL SHH15SG	70

<i>N.G. Semenova, L.A. Vlatskaya, A.M. Semenov</i> AUTOMATION OF THE DECISION- MAKING PROCESS ON THE DEVELOPMENT OF POWER SUPPLY SYSTEMS OF UTILITY GRID ENTERPRISES	74
--	----

**2.3.5. — PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES — MATHEMATICAL AND
SOFTWARE OF COMPUTERS, COMPLEXES AND COMPUTER NETWORKS**

<i>S.S. Emelyanova, N.N. Ivaschenko, E.A. Kiseleva</i> INVESTIGATION OF NEW OPPORTUNITIES FOR IMPROVING PERFORMANCE AND FAULT TOLERANCE IN NEW VERSIONS OF THE LUSTRE FILE SYSTEM	79
---	----

**2.3.6. — PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES — METHODS AND SYSTEMS
OF INFORMATION SECURITY, INFORMATION SECURITY**

<i>V.V. Semenov</i> METHODOLOGY FOR IDENTIFYING THE STATE OF INFORMATION SECURITY OF ELEMENTS OF CYBER-PHYSICAL SYSTEMS	82
--	----

ABSTRACTS	85
------------------	----

2.3.3.

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

Казанский национальный исследовательский технологический университет,

¹факультет пищевой инженерии,

кафедра Оборудования пищевых производств,

²факультет наноматериалов и нанотехнологий,

кафедра Физики,

³Главный редактор журнала Научно-технический вестник Поволжья,

⁴Казанский государственный аграрный университет,

институт экономики,

кафедра Экономики и информационных технологий,

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

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

В работе рассмотрены возможности применения генераторов акустической энергии для средств передвижения в водной среде. Представлена принципиальная схема конструкции и приведены преимущества паро-газодинамического реактивного движителя.

Ключевые слова: *Генератор акустической энергии, акустический нагнетатель, газовая струя.*

С появлением различных по принципу действия генераторов акустических колебаний стало возможным преобразовывать энергию акустических колебаний в другие виды энергии.

В настоящее время особую остроту приобрела проблема энергосбережения, заключающаяся в более рациональном использовании основных источников энергии, замены их вторичными энергоносителями и в сокращении потерь на генерирование акустической энергии и ее преобразование в другие виды энергии. Решить назревшую проблему возможно только при дальнейшем проведении системных исследований и опытно-конструкторских работах по созданию энергетических установок с пульсационным режимом работы [1, 2].

Поэтому, генераторы акустических колебаний (далее ГАК), настроенные на резонансный режим работы, находят все более широкое использование в различных технологических процессах [3, 4].

В более ранних работах доказывается возможность самовозбуждения акустических колебаний в установках с тепловыми источниками и преобразования энергии таких колебаний в теплоту [5, 6].

Полученные в работе [6] данные дают основание полагать, что колебания горючей газовой смеси существенно повышают полноту сгорания топлива, теплонапряженность топочного объема и интенсифицирует теплоперенос от теплоносителя к стенке камеры сгорания.

С появлением многочисленных способов генерации акустической энергии появилась возможность преобразовывать энергию акустических колебаний в другие виды энергии.

Нами продолжены работы по созданию генераторов акустических колебаний, способных решать многоцелевые задачи.

На рисунке 1 схематично показан паро-газодинамический генератор, способный получать в больших количествах из воды насыщенный, перегретый водяной пар и горячую воду, а также в результате сжигания горючего газа и высокой скорости его истечения из труб – тепловую энергию. Это особенно важно при использовании таких генераторов в обогреве жилых и производственных помещений.

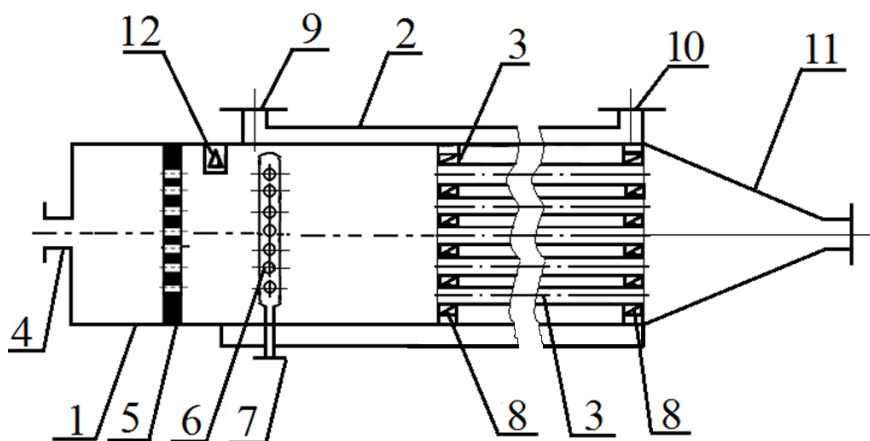


Рис. 1 – Паро-газодинамический генератор:

- 1 – корпус; 2 – кожух; 3 – труба; 4 – патрубок входа горючего газа;
5 – перфорированная перегородка; 6 – распылитель; 7 – штуцер; 8 – трубная решетка;
9 – штуцер входа воды; 10 – патрубок выхода воды; 11 – патрубок выхода продуктов сгорания; 12 – свеча зажигания

Генератор работает следующим образом. По патрубку 4 горючий газ поступает в рабочее пространство корпуса 1 перед перфорированной перегородкой 5 и через отверстия в этой перегородке горячая смесь поступает отдельными равномерно распределенными по сечению корпуса струями в рабочее его пространство перед распылителем 6. От свечи зажигания 12 горючая смесь воспламеняется.

Горение горючей смеси в пространстве корпуса между перегородкой и распылителем приводит к самовозбуждению колебаний газового потока. Это пространство корпуса работает, как генератор газа с максимально достигаемой температурой и еще недостаточно сильным проявлением пульсационного теплопереноса. При прохождении распылителя горящий горючий газ смешивается со свежей порцией окислителя, поступающего в распылитель через штуцер 7 и выходящего через перфорации 6 распылителя равномерно распределенными струями от периферии к центру. Такая аэродинамическая обстановка обеспечивает сильную турбулизацию взаимодействующих газовых потоков и интенсивное перемешивание окислителя с горящим горючим газом.

В пространстве корпуса за распылителем температура горячей газовой смеси и амплитуда пульсаций скорости газового потока резко возрастает, что приводит к повышению теплопереноса и существенному увеличению скорости теплоотдачи в трубах. Из труб продукты сгорания газовой смеси выбрасываются через патрубок 11 наружу.

На рисунке 2 изображен паро-газодинамический реактивный движитель.

Движитель может устанавливаться на воздушных или плавающих и подводных средствах передвижения. Запуск движителя производится в его безводном положении и только после достижения им нормального режима работы погружается в воду. Кожух движителя выполнен перфорированным и заборная вода заполнит его при погружении движителя на воду.

Движитель работает следующим образом. Окислитель из отсека 3 по трубопроводу 5 и топливо по трубопроводу 6 поступают в смеситель, в котором смешиваются и через штуцер образованная смесь выходит из смесителя в камеру корпуса перед перегородкой. В камере за перегородкой происходит процесс сжигания горючего газа в корпусе и в трубах, аналогичный процессу сжигания газа в паро-газодинамическом генераторе.

Движитель наиболее эффективен в резонансном режиме его работы.

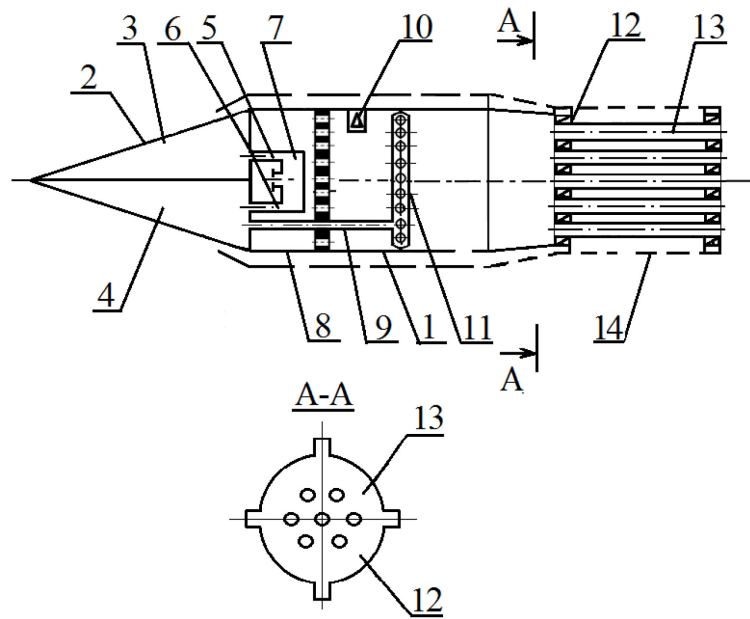


Рис. 2 – Паро-газодинамический реактивный движитель:

1 – корпус; 2 – обтекатель; 3 – отсек с окислителем; 4 – отсек с топливом; 5 – трубопровод; 6 – трубопровод; 7 – смеситель; 8 – перфорированная перегородка; 9 – трубопровод; 10 – свеча зажигания; 11 – распылитель; 12 – трубная решетка; 13 – труба; 14 – кожух

К преимуществам движителя можно отнести:

- безопасность работы;
- простота устройства;
- сравнительно небольшая масса;
- высокая скорость передвижения;
- многоцелевое использование;
- трудность обнаружения его местонахождения;
- бесшумность передвижения в водной среде.

В установившемся режиме сжигания горючего газа тепло, передаваемое от горячего теплоносителя к холодному через разделяющую теплоносители стенку, не меняется.

Имеем:

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3 = \text{const} \quad (1)$$

где Q – тепло, необходимое для полного сжигания топлива, определяемое из уравнения:

$$Q = kF\Delta t, \text{ Вт} \quad (2)$$

где k – коэффициент теплопередачи;

F – поверхность теплообмена разделяющей теплоносители перегородки, м^2 ;

Δt – температурный напор, град.;

$$Q_1 = \alpha_1 (t_1 - t_2) \cdot F \quad (3)$$

Q_1 – тепло, передаваемое горячим теплоносителем перегородке, Вт;

α_1 – коэффициент теплоотдачи горячего теплоносителя, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}}$;

t_1 – температура горячего теплоносителя, град.;

t_2 – температура стенки перегородки со стороны горячего теплоносителя, град.;

$$Q_2 = \frac{\lambda}{\delta} (t_2 - t_3) \cdot F \quad (4)$$

Q_2 – тепло, передаваемое от горячего теплоносителя к холодному теплоносителю через разделяющую теплоносители перегородку, Вт;

λ – теплопроводность материала перегородки, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}}$;

δ – толщина перегородки, м;

t_2 – температура стенки перегородки со стороны горячего теплоносителя, град.;

t_3 – температура стенки перегородки со стороны холодного теплоносителя, град.;

$$Q_3 = \alpha_2 (t_3 - t_4) \cdot F \quad (5)$$

Q_3 – тепло передаваемое стенкой перегородки со стороны холодного теплоносителя холодному теплоносителю, Вт;

t_4 – температура холодного теплоносителя, град.

Основное уравнение теплопередачи от горячего теплоносителя к холодному теплоносителю через разделяющую теплоносители перегородку имеет вид:

$$\sum Q = \sum k F \Delta t_{\text{ср}}, \text{Вт} \quad (6)$$

где $\sum k$ – коэффициент теплопередачи, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}}$;

$\Delta t_{\text{ср}}$ – температурный напор, град;

Совместное решение уравнений (1)-(6) позволяет определить требуемую тепловую нагрузку на перегородку из условия полного сжигания продуктов сгорания газообразного топлива.

Для определения требуемого количества тепла $\sum Q$ можно использовать график зависимости удельного теплового потока от перепада температур [7,8].

Параметр $\sum k$, подлежащий вычислению, необходим для выбора оптимальных величин производительности акустической камеры сжигания горючего газа и распределения температур при передаче тепла от одного теплоносителя к другому теплоносителю через разделяющую эти теплоносители перегородку.

Список литературы

1. Коротков Ю.Ф., Семин И.А., Шагивалеев А.А., Минкин В.С., Кузнецов М.Г., Ларионов В.М. Патент № 2607151 РФ, МПК В63Н 11/00. Оpubл.10.01.2017 бюл.№1 Водометный движитель.
2. Коротков Ю.Ф., Семин И.А., Минкин В.С., Кузнецов М.Г., Ермакова Е.Ю. Патент № 164570 РФ, МПК F04F 7/00. Оpubл.10.09.2016 бюл.№25 Поршневой акустический резонатор.
3. Паро-газодинамические генераторы акустических колебаний. Минкин В.С., Кузнецов М.Г., Шагимуллин Р.Х., Харьков В.В., Гумерова Г.Х. Научно-технический вестник Поволжья. № 12, 2021. – Казань: ООО «Рашин Сайнс», С. 11-13.
4. Генерация резонансных акустических колебаний и их использование. Минкин В.С., Кузнецов М.Г., Шагимуллин Р.Х., Сальманов Р.С. Научно-технический вестник Поволжья. №7, 2020г. -Казань: ООО "Рашин Сайнс", 2020.-с7-10.
5. Кузнецов М.Г., Коротков Ю.Ф., Ларионов В.М. Генераторы акустических колебаний. – Казань: Казанский ГАУ, 2016. -100 с.
6. Акустические нагнетатели газожидкостных сред. Минкин В.С., Кузнецов М.Г., Шагимуллин Р.Х., Вахитов М.Р., Галеева Э.И. Научно-технический вестник Поволжья. №1, 2021г. -Казань: ООО "Рашин Сайнс", 2021.-с6-8.
7. Ларионов В.М., Зарипов Р.Г. Автоколебания газа в установках с горением. Изд.КНИТУ им.Туполева, 2003 г., -227 с.
8. Кузнецов М.Г., Козулина О.В., Ермакова Е.Ю., Коротков Ю.Ф., Николаев А.Н. Расчет теплоизоляции аппаратов для разделения и нагрева водонефтяной эмульсии. Вестник Казанского технологического университета, т.16, №17, 2013г. С231-232

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ — 1.2.2.

1.2.2.

А.И. Гималетдинов, А.С. Титовцев

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
Кафедра интеллектуальных систем и управления информационными ресурсами,
Казань, notna6683@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ РАСТЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ЦВЕТКА ИРИСА

В работе описан процесс создания нейронной сети архитектуры «многослойный перцептрон», обученной и протестированной на наборе данных о цветках ирис. Данная нейронная сеть предназначена для классификации цветка по четырем его входным признакам – длина лепестка, ширина лепестка, длина чашелистика, ширина чашелистика – на три класса – Ирис Щетинистый(Iris Setosa), Ирис Разноцветный(Iris Versicolor), Ирис Виргинский(Iris Virginic).

Ключевые слова: *нейронная сеть, искусственный интеллект, машинное обучение.*

1. Введение

Интерес к изучению нейронных сетей, как и искусственного интеллекта в целом, связан с тем, что современная техника, принцип работы которой основан на искусственном интеллекте, сильно упрощает жизнь человека, автоматизируя процессы, которые до некоторого времени приходилось осуществлять вручную. Определение личности по видео/фото, преобразование написанного текста в напечатанный вариант, напечатанного текста в звук и наоборот, определение диагноза для больных пациентов и т.д. – все это уже сегодня применяется в повседневной жизни, и искусственный интеллект ничуть не уступает человеку, а иногда даже и опережает его в отдельно взятых задачах. Ожидается, что нейронные сети смогут решить многие из тех проблем, которые сдерживают дальнейшее развитие научно-технического прогресса. Поэтому исследование нейронных сетей как метода искусственного интеллекта имеет огромный потенциал и является одной из важнейших задач современной информационной индустрии и человечества в целом.

2. Программная часть

В качестве языка программирования для написания программной части был использован Python версии 3.10.7 и такие его библиотеки, как NumPy, Sklearn и Matplotlib.pyplot (в книге [1] объясняется функционал этих библиотек и алгоритм их импортирования). Перед началом обучения структура нейронной сети выглядела следующим образом: 4 нейрона на входном слое (по количеству входных параметров), 5 нейронов на скрытом слое, 3 выходных нейрона (по количеству классов), матрицы весов и векторы смещения задавались случайными числами в качестве «заглушек» (рис. 1).

Скорость обучения равнялась 0,001, количество эпох – 100. В переменную x была передана выборка из исследуемого набора данных, состоящая из массива входных параметров (длина лепестка, длина чашелистика, ширина лепестка, ширина чашелистика). Переменной y была присвоена выборка из того же набора данных, состоящая из массива правильных чисел, каждое из которых обозначает класс Ириса, так 0 соответствует Ирису щетинистому, 1 – Ирису виргинскому, 2 – Ирису разноцветному.

Прямое распространение работало по следующему алгоритму: каждый входной параметр при переходе от входного слоя к скрытому перемножался на матрицу весов и складывался с вектором смещения. После линейного преобразования полученный результат прогонялся

через нелинейную функцию Relu (все что меньше нуля – обратить в нуль, все что больше – оставить, как есть). Переход со скрытого слоя на выходной происходил схожим образом, перемножая на другую матрицу весов и складываясь с другим вектором смещения. В качестве нелинейной преобразования использовалась функция Softmax, переводящая входной числовой вектор в вектор вероятностей от 0 до 1. Вектор, получившийся на выходе, через кросс-энтропию сравнивался с y , а полученная разница (ошибка) передавалась в переменную E .

Математическое представление прямого распространения задается следующими формулами:

$$t_1 = xW_1 + b_1, \quad (1)$$

$$h_1 = F(t_1), \quad (2)$$

$$t_2 = h_1W_2 + b_2, \quad (3)$$

$$z = Softmax(t_2) = S(t_2), \quad (4)$$

$$S(t) = \left\{ \frac{e^{t_i}}{\sum_j e^{t_j}} \right\}, \quad (5)$$

$$F(t) = Relu(t) = \max(0, t), \quad (6)$$

Формула (1) описывает умножение входного сигнала на матрицу весов и прибавление соответствующего вектора смещения.

Формула (2) описывает нелинейное преобразование предыдущего вычисления с помощью формулы (6).

Формула (3) аналогична формуле (1) за тем исключением, что теперь это вычисление производится уже на втором слое, и, соответственно, входной сигнал x здесь уже заменяет h_1 .

Формула (4) – последняя операция перед выходом в последний слой, описанная в формуле (5).

Обратное распространение проводилось от полученной в конце алгоритма ошибки (переменной E , равной разнице между предсказанием нейросети и правильным ответом из обучающей выборки) ко входному слою, а точнее к матрице весов и вектору смещения между входным и скрытым слоями, параллельно вычисляя частные производные E по каждой матрице весов и каждому вектору смещения. Веса обновлялись на каждой итерации путем вычитания из каждой матрицы весов и вектора смещения соответствующую частную производную, умноженную на скорость обучения, т.к. градиент – вектор из частных производных – направлен в сторону роста функции, а в данном случае необходимо минимизировать функцию ошибки, поэтому двигаться необходимо в сторону антиградиента (в книге [2] объясняется, что представляет из себя градиент и формулы для его вычисления).

Математическое представление обратного распространения задается следующими формулами:

$$E = CrossEntropy(z, y) = - \sum_j y_j \ln z_j, \quad (7)$$

$$\frac{\partial E}{\partial \Omega} = \left\{ \frac{\partial E}{\partial \omega_1}, \frac{\partial E}{\partial \omega_2}, \frac{\partial E}{\partial \omega_3}, \dots \right\} \quad (8)$$

$$\frac{\partial E}{\partial W_1} = \frac{\partial E}{\partial Z} * \frac{\partial Z}{\partial h} * \frac{\partial h}{\partial W_1}, \quad (9)$$

$$\frac{\partial E}{\partial t_i} = \frac{\partial E}{\partial h_i} * \frac{\partial h_i}{\partial t_i} = \frac{\partial E}{\partial h_i} * F'(t_i), \quad (10)$$

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ij}} = \frac{\partial E}{\partial t_j} * \frac{\partial t_j}{\partial w_{ij}} = \frac{\partial E}{\partial t_j} * x_i, \quad (11)$$

$$\frac{\partial E}{\partial b_i} = \frac{\partial E}{\partial t_i} * \frac{\partial t_i}{\partial b_i} = \frac{\partial E}{\partial t_i} * 1, \quad (12)$$

$$\frac{\partial E}{\partial x} = \frac{\partial E}{\partial t} * W^T, \quad (13)$$

Формула (7) описывает схему вычисления ошибки.

Формула (8) показывает связь между частной производной от ошибки всем весам нейросети и частными производными ошибки по отдельно взятым весам.

Формула (9) описывает процесс вычисления частной производной ошибки по весам первого слоя, согласно цепному правилу.

Формула (10) описывает вычисление частной производной ошибки по весу между определенными нейронами первого и второго слоя

Формула (11) описывает вычисление частной производной ошибки по входному значению, умноженному на матрицу весов после прибавления вектора смещения.

Формула (12) описывает вычисление частной производной ошибки по вектору смещения.

Формула (13) описывает вычисление частной производной ошибки по входному значению.

Точность вычислялась как отношение правильно определенных классов, ко всем парам параметры – класс в наборе данных. При данных условиях точность работы нейросети составляла 85%.

С целью повышения точности работы были изменены такие гиперпараметры, как число нейронов на скрытом слое – с 5 до 10, скорость обучения – с 0,001 до 0,0002, количество эпох – со 100 до 400. Также, была добавлена команда, перемешивающая набор данных перед каждой эпохой, с целью сделать поиск в пространстве весов стохастическим, предотвращая потенциальную возможность появления замкнутых циклов в процессе эволюции синаптических весов.

Для существенной стабилизации процесса обучения последовательный режим (sequential mode) был заменен на пакетный (batch mode), чтобы на каждой итерации оптимизационного алгоритма считать градиент с большей точностью и не по одному образцу, а сразу по группе таких образцов (в книге [3] объясняется разница между последовательным и пакетным режимом).

При добавлении пакетного режима произошли следующие изменения в коде: появился дополнительный гиперпараметр BATCH_SIZE (размер пакета), равный 50, x и y приобрели дополнительные измерения, и теперь x – матрица, y – вектор. Количество итераций в каждой эпохе сократилось в 50 раз. Теперь во время прямого распространения уже будут получаться не векторы, а матрицы, и градиенты во время обратного распространения будут вычисляться не по векторам, а по матрицам, а финальная ошибка будет считаться как сумма ошибок на различных элементах пакета. Частная производная E по обоим вектору смещения теперь будет вычисляться суммированием частных производных по каждому измерению пакета.

После внесенных изменений в программу, точность работы нейросети увеличилась до 97%.

Список литературы

1. Robert Johansson Numerical Python: Scientific Computing and Data Science Applications with Numpy, SciPy and Matplotlib //Apress, Ураясу, – 2019. - №. 2. С. 44-51, 137-147
2. Кеда О.А., Мохрачева Л.П., Пампура Е.М., Рыбалко А.Ф., Рыбалко Н. М. Математика. Часть 8. Теория поля //Издательство Уральского университета, Екатеринбург. – 2014. – С. 7-8
3. Сергеев А.П., Тарасов Д.А., Введение в нейросетевое моделирование //Издательство Уральского университета, Екатеринбург. – 2017. – С.73-76

1.2.2.

Д.С. Лобарёв, Д.В. Толбухин

Псковский государственный университет,
институт математического моделирования и игропрактики,
кафедра математики и теории игр,
Псков, lds1979@mail.ru, swampydt@yandex.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧИ ТРЁХ ТЕЛ СРЕДСТВАМИ PYTHON

В работе представлены результаты математического моделирования системы трёх обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка для материальных точек – уравнений Ньютона. Для моделирования используется модифицированный численный метод Рунге-Кутты 8-го порядка точности. При разработке приложения использовались интегрированная среда разработки для языка программирования Python – PyCharm, кроссплатформенная свободная среда для разработки графических интерфейсов – QtDesigner, и библиотеки Python SciPy, Matplotlib и PyQt5.

Ключевые слова: задача трёх тел, уравнения Ньютона, численные методы, Python, PyQt5, QtDesigner, Scipy, Matplotlib.

В работе рассматриваются системы уравнений Ньютона для двух или трёх тел, отвечающие за траектории движений. Для численного решения системы в алгоритме используется функция `scipy.integrate.solve_ivp`, с помощью которой решается система дифференциальных уравнений первого порядка. Более подробно решение дифференциальных уравнений и задач оптимального управления средствами Maple и Python авторы статьи рассматривали в ряде предшествующих публикаций [1, 2].

Зададим параметры: *fun* – система обыкновенных дифференциальных уравнений; *t_span* – краевые условия времени; *y0* – начальные значения радиус-векторов и векторов скоростей; *method* – выбор численного метода; *t_eval* – количество шагов итераций метода. Поскольку данная функция применима для обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка, первоначальная система *n* уравнений второго порядка сводится к системе *2n* уравнений первого порядка. Для задачи трёх тел система будет иметь следующий вид [3]:

$$\frac{d^2 \bar{r}_i}{dt^2} = G \left(\frac{m_j \bar{r}_{ij}}{r_{ij}^3} + \frac{m_k \bar{r}_{ik}}{r_{ik}^3} \right); \{i, j, k\} = \{1, 2, 3\},$$

где $\bar{r}_{ij} = \bar{r}_j - \bar{r}_i$, $r_{ij} = |\bar{r}_{ij}|$. Заменяя первую производную радиус-вектора по времени на вектор скорости, более подробно расписывая $\bar{r}_{ij}$ и переходя к безразмерным величинам, выводится следующая система *2n* уравнений первого порядка.

$$\begin{aligned} \frac{d\bar{v}_1}{dt} &= K_1 m_2 \frac{\bar{r}_2 - \bar{r}_1}{|\bar{r}_2 - \bar{r}_1|^3} + K_1 m_3 \frac{\bar{r}_3 - \bar{r}_1}{|\bar{r}_3 - \bar{r}_1|^3}, \\ \frac{d\bar{v}_2}{dt} &= K_1 m_1 \frac{\bar{r}_1 - \bar{r}_2}{|\bar{r}_1 - \bar{r}_2|^3} + K_1 m_3 \frac{\bar{r}_3 - \bar{r}_2}{|\bar{r}_3 - \bar{r}_2|^3}, \\ \frac{d\bar{v}_3}{dt} &= K_1 m_1 \frac{\bar{r}_1 - \bar{r}_3}{|\bar{r}_1 - \bar{r}_3|^3} + K_1 m_2 \frac{\bar{r}_2 - \bar{r}_3}{|\bar{r}_2 - \bar{r}_3|^3}, \\ \frac{d\bar{r}_1}{dt} &= K_2 \bar{v}_1, \quad \frac{d\bar{r}_2}{dt} = K_2 \bar{v}_2, \quad \frac{d\bar{r}_3}{dt} = K_2 \bar{v}_3. \end{aligned}$$

Коэффициенты K_1 и K_2 введены для соблюдения соотношений в уравнениях при переходе к безразмерным величинам. Данный приём используется для более эффективного описания характеристик тел. В таком случае все тела на примере масс можно описать через массу Солнца, указав соотношение масс между телами. Коэффициенты пропорции описываются следующими формулами:

$$K_1 = G \frac{T_o * M_o}{R_o^2 * V_o}, \quad K_2 = \frac{V_o * T_o}{R_o},$$

где T_o – орбитальный период, M_o – масса, R_o – радиус-вектор и V_o – скорость тела, относительно которого описываются физические величины рассматриваемых тел.

В рассматриваемых примерах, M_o – масса Солнца, R_o – расстояние от Солнца до звёздной системы Альфа Центавра, V_o – скорость сложного движения Земли относительно Солнца, T_o – орбитальный период системы Альфа Центавра относительно Солнца. Рассматривается система, состоящая из Альфа Центавра А, Альфа Центавра Б и третьего тела с произвольными показателями. Компоненты радиус-векторов и векторов скоростей взяты произвольным образом для создания условий, при которых гравитационное воздействие станет ощутимым во влиянии на траекторию движения каждого тела. Данные в системе моделирования представлены на рис. 1.

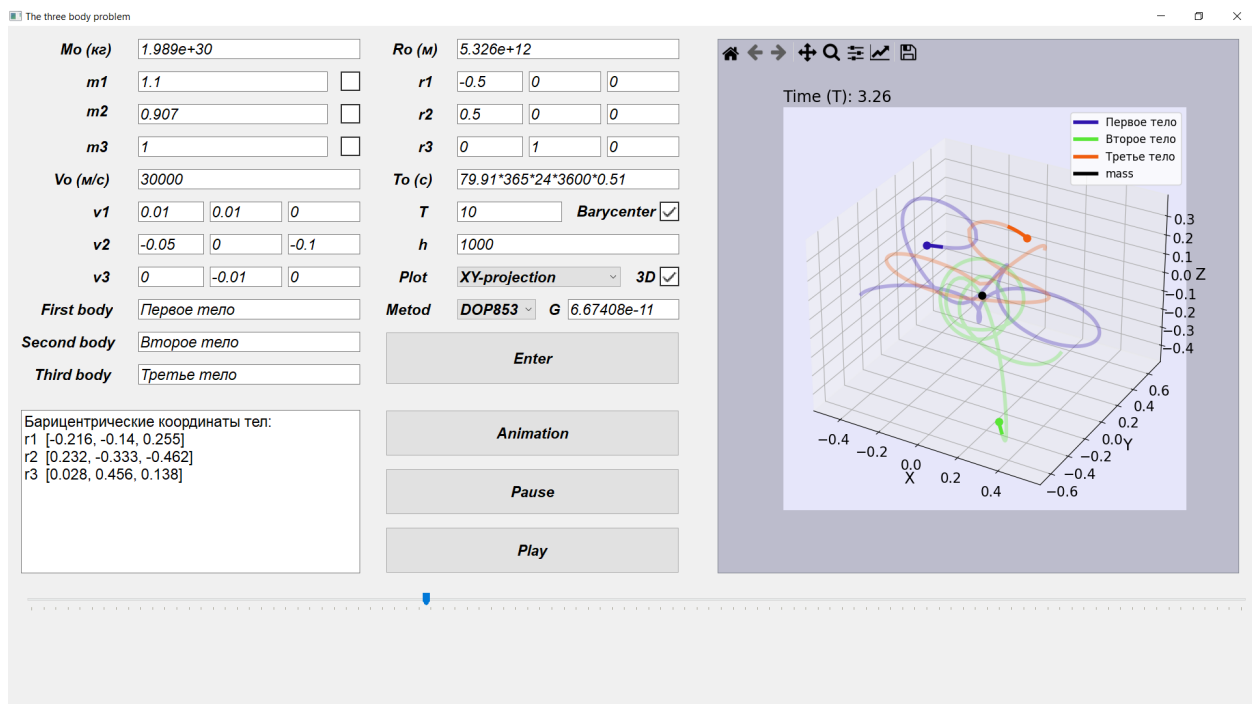


Рис. 1 – Интерфейс приложения после ввода данных и запуска анимации

Для проверки работы модели в приложении применяются условия такого частного решения задачи трёх тел как восьмёрка Мура [4]. При длительном рассмотрении развития системы наблюдается нарушение стабильности – траектория «восьмёрки» начинает вращаться вокруг своей оси. Разрушение системы, когда все три тела вылетают за область ощутимого гравитационного воздействия, представлено на рис. 2.

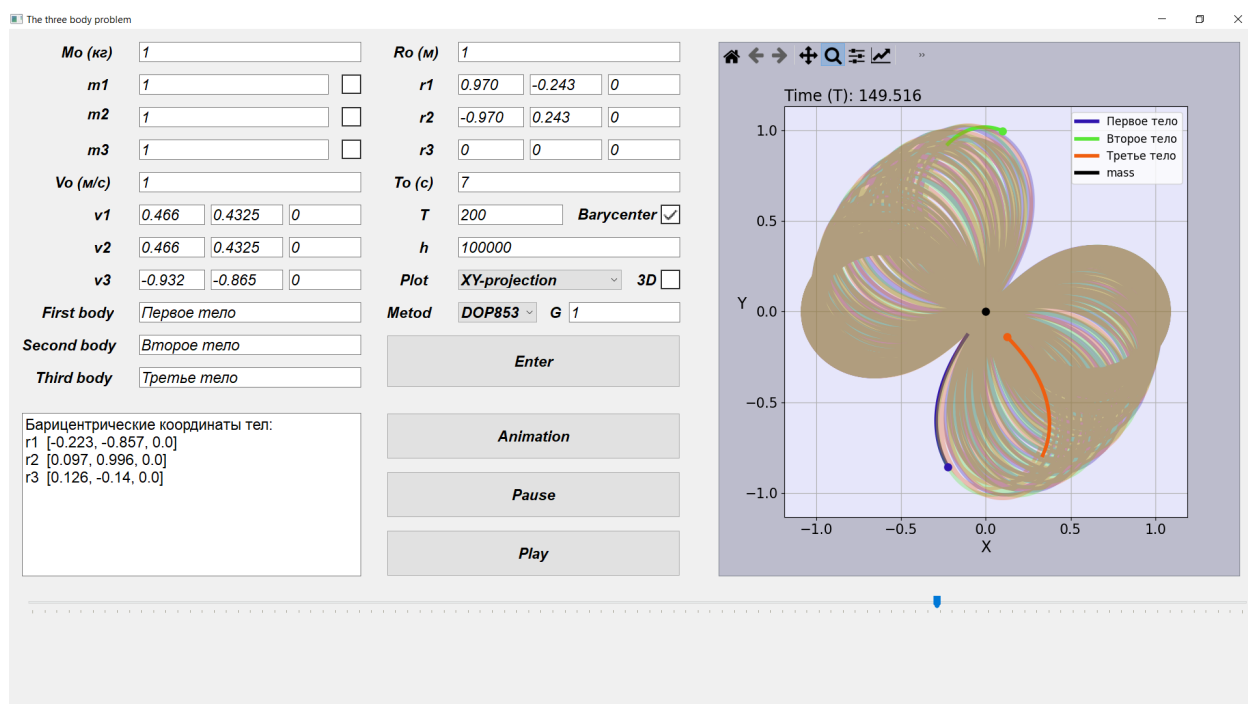


Рис. 2 – График восьмёрки Мура после нарушения стабильности

Далее для проверки работы модели берутся два частных решения китайских математиков Shijun Liao, Xiaoming Li и Yu Yang. На рис. 3 имеем решение модели из статьи [5], а на рис. 4 – из статьи [6], определяемое как $I. A_2^{l.c.}(0.5)$ в полной таблице решений сайта авторов [7].

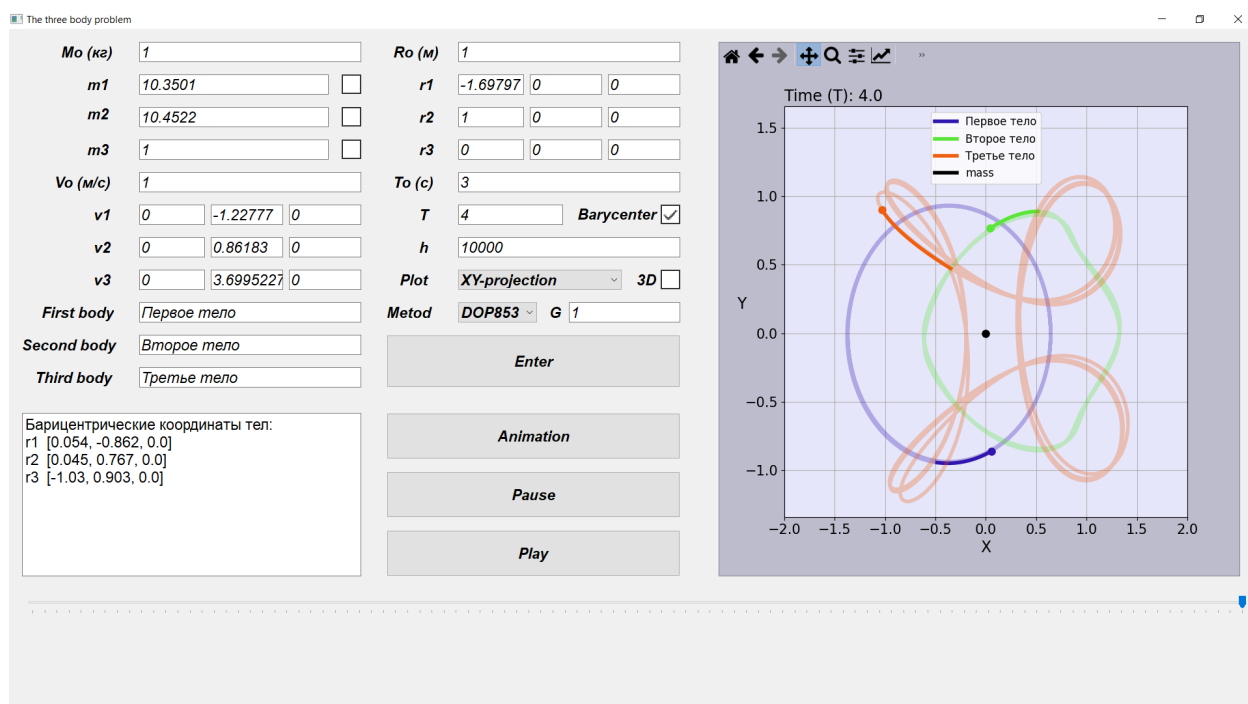


Рис.3 – Нарушение стабильности после первого полного обращения

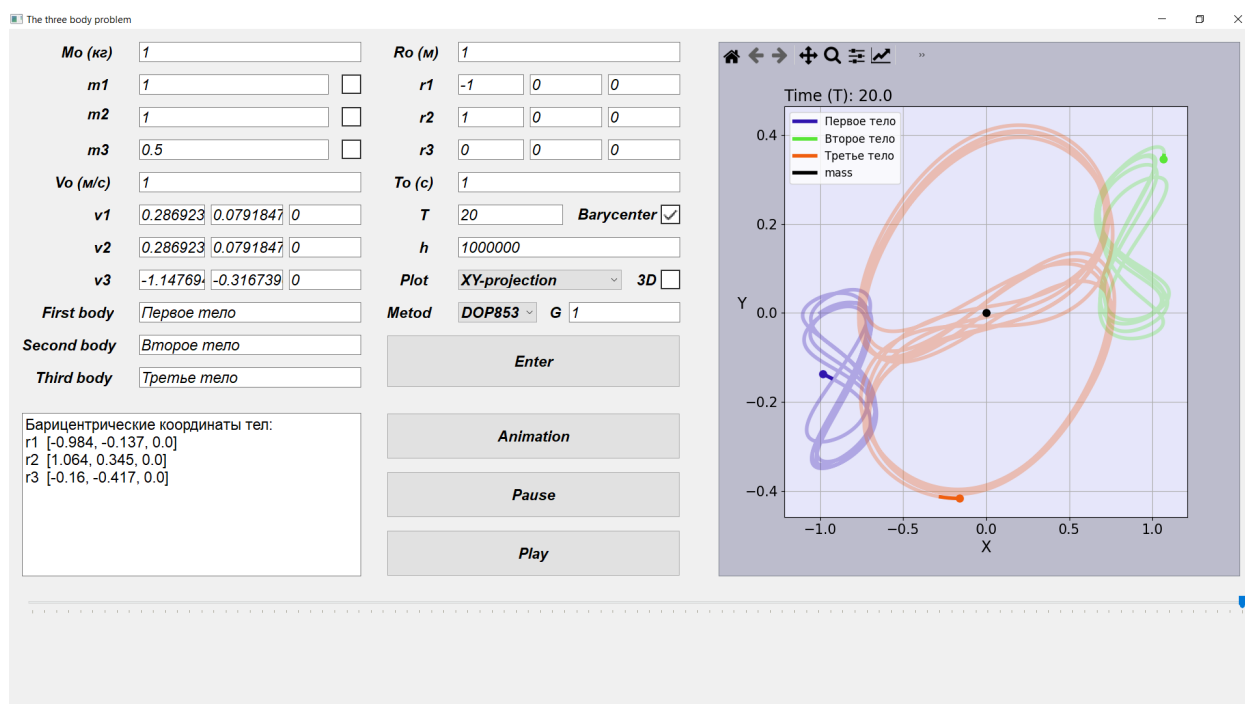


Рис. 4 – Возмущения в траекториях движения при одном миллионе шагов

В результате представлена авторская разработка специальной программы моделирования и визуализации в 2D и 3D проекции задачи трёх тел. Алгоритм решения использует численные методы решения, а удобный интерфейс приложения позволяет пользователю самостоятельно настроить необходимые параметры для получения конкретного эффекта. Результаты тестирования программы указывают на необходимость введения дополнительных параметров. Одной из таких модификаций может стать график полной энергии системы, так как величина отклонения значения полной энергии в момент t_1 от t_0 помогает определить полезность применения численного метода.

Список литературы

1. Лобарёв Д.С. Поиск оптимального решения в двухкритериальной линейно-квадратичной задаче с экспертными оценками в системе Maple // Вестник Псковского государственного университета. Серия: Естественные и физико-математические науки. 2014. № 4. С. 114-122.
2. Лобарёв Д.С., Толбухин Д.В. Поиск оптимального решения дифференциальной линейно-квадратичной задачи управления средствами Python в облачной среде Google Colab. // Научно-технический вестник Поволжья. 2021. № 12. С. 208-213.
3. Маршал К. Задача трёх тел. Москва – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004. 640 с.
4. Alain Chenciner, Richard Montgomery. A remarkable periodic solution of the three-body problem in the case of equal masses // Annals of Mathematics. 2000. № 152. P. 881-901.
5. Shijun Liao, Xiaoming Li and Yu Yang. Three-body problem – from Newton to supercomputer plus machine learning // New Astronomy. № 96. 2022.
6. Xiaoming Li, Yipeng Jing, Shijun Liao: Over a thousand new periodic orbits of a planar three-body system with unequal masses // Publications of the Astronomical Society of Japan. 2018. P. 1-7.
7. Movies of the Periodic Planar Collisionless Three-Body Orbits with unequal mass in Real Space or on Shape Sphere [Электронный ресурс] – Режим доступа – <https://numericaltank.sjtu.edu.cn/three-body/three-body-unequal-mass-movies.htm>

1.2.2.

М.М. Ляшева, С.А. Ляшева канд. техн. наук, М.П. Шлеймович канд. техн. наук

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ, институт компьютерных технологий и защиты информации,
кафедра автоматизированных систем обработки информации и управления,
Казань, mpshleymovich@kai.ru

ФИЛЬТРАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОРОГОВОЙ ОБРАБОТКИ ВЕСОВЫХ МОДЕЛЕЙ

В статье описан подход к фильтрации изображений с использованием пороговой обработки весовых моделей. Рассмотрены вопросы построения весовых моделей на основе дискретных ортогональных вейвлет-преобразований Добеши. Предложена процедура сглаживания изображений на основе описанного подхода.

Ключевые слова: *фильтрация изображений, пороговая обработка, вейвлет-преобразование, весовая модель.*

Современные информационные системы основаны на применении вычислительных технологий [1], интеллектуальных технологий [2], технологий анализа данных [3], технологий защиты от электромагнитных воздействий [4] и т.д. Среди других технологий также активно применяются технологии цифровой обработки изображений [5].

Решение многих задач цифровой обработки изображений базируется на применении дискретных ортогональных вейвлет-преобразованиях [6]. На рис. 1 показаны известные тестовые изображения boat, house, jetplane, lake в полутоновом виде с разрешением 512×512 и результаты их двухуровневых дискретных ортогональных вейвлет-преобразований Добеши-2, Добеши-4, Добеши-6 и Добеши-8. При этом детализирующие коэффициенты отображаются в виде точек с яркостью, обратно пропорциональной модулям соответствующих значений, т.е. чем темнее точка, тем большему по модулю значению она соответствует.



Рис. 1 – Примеры дискретных ортогональных вейвлет-преобразований Добеши-2, Добеши-4, Добеши-6, Добеши-8

Из рассмотрения рисунка видно, что большие значения детализирующих коэффициентов соответствуют точкам изменения яркости. Это свойство вейвлет-преобразования позволяет использовать его для локализации характерных признаков изображений при решении задач их анализа.

В ряде работ авторов описано построение весовых моделей изображений и их применение для решения различных задач [7]. Весовая модель представляет собой двумерную матрицу, каждый элемент которой позволяет оценить значимость соответствующих коэффициентов с точки зрения вклада в энергию изображения:

$$E_I = E_1 + E_2; \quad (1)$$

$$E_1 = \sum_{k=0}^{N_{j_0}-1} \sum_{l=0}^{M_{j_0}-1} a_{j_0,k,l}^2; \quad (2)$$

$$E_I = \sum_{j=j_0}^{J-1} \sum_{k=0}^{N_j-1} \sum_{l=0}^{M_j-1} (h_{j,k,l}^2 + v_{j,k,l}^2 + d_{j,k,l}^2), \quad (3)$$

где E_1 , E_2 – низкочастотная и высокочастотная составляющие энергии; $a_{j,k,l}$, $h_{j,k,l}$, $v_{j,k,l}$, $d_{j,k,l}$ – детализирующие коэффициенты вейвлет-преобразования j -го уровня в позициях (k, l) соответствующих матриц; N_{j_0} , M_{j_0} – количество строк и количество столбцов матриц коэффициентов начального уровня; N_j , M_j – количество строк и количество столбцов матриц коэффициентов j -го уровня.

Для низкочастотной фильтрации изображений существенное значение имеют оценки вклада в энергию детализирующих коэффициентов, вычислить которые можно с помощью следующей процедуры:

1. Задать вид дискретного ортогонального вейвлет-преобразования;
2. Задать J и j_0 ;
3. Выполнить преобразование;
4. Вычислить весовые значения детализирующих коэффициентов преобразования уровня j_0 :

$$w_{j_0,k,l} = \sqrt{h_{j_0,k,l}^2 + v_{j_0,k,l}^2 + d_{j_0,k,l}^2}; \quad (4)$$

5. Вычислить весовые значения детализирующих коэффициентов преобразования уровней $j = j_0 + 1, \dots, J - 1$:

$$w_{j,k,l} = \sqrt{w_{j-1,k,l/2,l/2}^2 / 4 + h_{j,k,l}^2 + v_{j,k,l}^2 + d_{j,k,l}^2}. \quad (5)$$

Множество значений $\{w_{j,k,l}\}$ представляет собой весовую модель изображения. На рис. 2 показаны весовые модели тестовых изображений boat, house, jetplane, lake уровня $J - 1$, полученные на основе вейвлет-преобразований Добеши-2, Добеши-4, Добеши-6 и Добеши-8.

Для анализа значимости детализирующих коэффициентов вейвлет-преобразования можно применить пороговое преобразование:

$$s_{j,k,l} = \begin{cases} 1, & w_{j,k,l} \geq \Delta_j; \\ 0, & w_{j,k,l} < \Delta_j, \end{cases} \quad (6)$$

где $s_{j,k,l}$ – элемент матрицы значимости j -го уровня в позиции (k, l) ; $w_{j,k,l}$ – весовое значение детализирующих коэффициентов j -го уровня в позиции (k, l) ; Δ_j – пороговое значение для определения значимости детализирующих коэффициентов j -го уровня.

Матрица значимости может быть использована для изменения детализирующих коэффициентов:

$$\hat{h}_{j,k,l} = h_{j,k,l} s_{j,k,l}; \quad (7)$$

$$\hat{v}_{j,k,l} = v_{j,k,l} s_{j,k,l}; \quad (8)$$

$$\hat{d}_{j,k,l} = d_{j,k,l} s_{j,k,l}, \quad (9)$$

где $\hat{h}_{j,k,l}$, $\hat{v}_{j,k,l}$, $\hat{d}_{j,k,l}$ – новые значения детализирующих коэффициентов. Обратное вейвлет-преобразование с новыми значениями коэффициентов позволяет получить сглаженное изображение.

Таким образом, можно предложить следующую процедуру фильтрации изображений:

1. Построить весовую модель изображения;
2. Вычислить матрицы значимости детализирующих коэффициентов;
3. Изменить значения детализирующих коэффициентов с использованием элементов матриц значимости;
4. Выполнить обратное вейвлет-преобразование.



Рис. 2 – Примеры весовых моделей

Данную процедуру можно применить для удаления шума. Например, при сглаживании изображений с гауссовым шумом с нулевым средним и стандартным отклонением, равным 10% от максимальной интенсивности, было получено значение пикового отношения сигнал/шум PSNR ≈ 23 дБ, что в среднем на 3 дБ превышает соответствующий показатель для зашумленных данных. Пороговое значение вычислялось адаптивно как удвоенное значение медианы весовых значений уровня $J - 1$. Весовая модель была получена на основе преобразования Добеши-8

В заключение отметим, что описанный подход является достаточно гибким. Он предусматривает возможность менять способ вычисления весовых значений для получения наилучших результатов в различных условиях применения.

Список литературы

1. Шалагин С.В., Нурутдинова А.Р. Реализация модифицированного метода Рабинера для множества стохастических матриц на нейронных сумматорах. Интеллектуальные системы. Теория и приложения. 2022. Т. 26. № 1. С. 129–132.
2. Нургалиев Б.Х., Катасёв А.С. Нейросетевая система выявления признаков генетических заболеваний человека по фотографии Вестник Технологического университета. 2022. Т. 25. № 1. С. 61–64.
3. Кирпичников А.П., Ризаев И.С., Тахавова Э.Г., Сафаров Н.И. Разработка эффективного алгоритма иерархической кластеризации. Вестник Технологического университета. 2019. Т. 22. № 10. С. 117-122.
4. Гизатуллин З.М., Мубараков Р.Р. Анализ излучаемых электромагнитных помех от преобразователей электроэнергии в условиях эксплуатации. Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 2 (54). С. 29-39.
5. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. 3-е изд, испр. и доп. М.: Техносфера, 2012. 1104 с.
6. Mallat S. A Wavelet Tour of Signal Processing. Academic Press, 2009. 832 p.
7. Ляшева С.А., Морозов О.Г., Шлеймович М.П. Анализ весовой модели для сжатия изображений на основе вейвлет-преобразования. Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2020. № 3 (51). С. 9-22.

1.2.2.

А.И. Хайбуллина, А.Р. Хайруллин

Казанский государственный энергетический университет,
Казань, haybullina.87@mail.ru

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА
В ПУЧКЕ ТРУБ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ LES МЕТОДА**

В данной работе методом LES исследуются теплообмен при поперечном обтекании коридорного десяти рядного пучка труб. При моделировании использовались LES Smagorinsky, LES WALE и LES WM методы. Число Рейнольдса Re было 2400. Локальные характеристики теплообмена восьмого ряда сравнены с экспериментальными данными. Лучшее совпадение с данными эксперимента получено при использовании LES WALE и LES WM методов.

Ключевые слова: пучок труб, LES, теплообмен, численное моделирование.

При моделировании течений в пучке труб применяются такие методы как прямое численное моделирование (DNS), моделирование крупных вихрей (LES) и решение усредненных уравнений Навье-Стокса (RANS) подходы. RANS модели позволяют существенно уменьшить требуемые вычислительные ресурсы, необходимые для проведения математического моделирования. Использование LES подходов позволяет получить более точные результаты по сравнению с RANS [1-4] моделями, при этом требуют меньших вычислительных ресурсов чем DNS. LES модели применяются с различными подсеточными моделями, а от выбора той или иной подсеточной модели зависит точность решения. В данной работе приведены результаты теплообмена десятирядного трубного пучка в поперечном потоке полученные с использованием LES Smagorinsky, LES WALE и LES WM метода.

Расчетная область пучка труб, используемого в данной работе, показана на рисунке 1. Направление потока на входе совпадало с осью абсцисс x . Ось z параллельна трубкам пучка. Расчетная область имеет 10 цилиндров по направлению потока. Диаметр трубок 0,01 м. Отношение продольного (ось x) шага к диаметру трубного пучка составляет $S_1/D = 1,3$, поперечного (ось Y) $S_2/D = 2,6$. Длина пучка труб перед и после него составляла $5D$ и $12D$ соответственно. Длина в поперечном направлении (ось z) была $1D$. Количество элементов сетки между двумя цилиндрами в продольном направлении составляло 40. Количество элементов сетки по периферии цилиндров и по размаху составляло 160 и 8 соответственно. Коэффициент расширения в радиальном направлении составлял 1,22. Минимальный размер ячеек в пристеночной области был $8,1 \cdot 10^{-4}$, что аналогично работе [4]. На входе в расчетную область в качестве граничного условия задавалась постоянная скорость потока $u_x = 0,1543$ м/с. На стенки трубок в качестве граничного условия задавалась нулевая скорость. Температура набегающего потока составляла $18,5^\circ\text{C}$. На центральных цилиндрах задавалось граничное условие постоянной температуры $19,5^\circ\text{C}$. Расчеты производились с помощью Fluent. Для всех расчетов использовался алгоритм PISO. Центральная разностная схема использовалась для дискретизации уравнений импульса. Шаг по времени был 0.005 с.

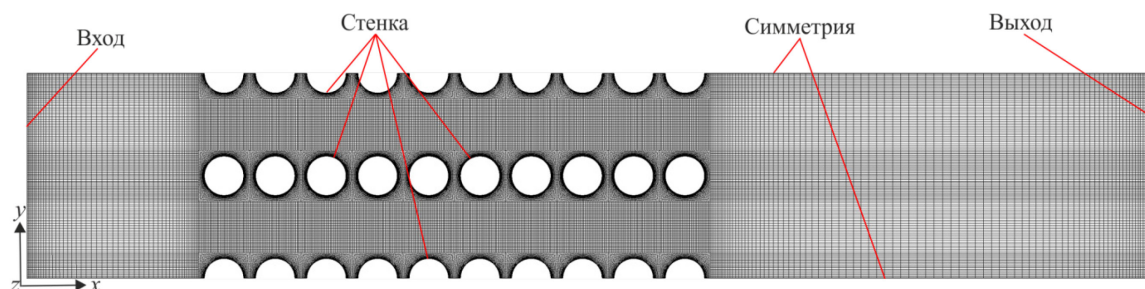


Рис. 1 – Расчетная область

Расчеты выполнены при числе Рейнольдса $Re = 2400$. В качестве рабочей жидкости использовалась вода. Теплофизические свойства воды были постоянны. Число Прандтля $Pr = 7.33$. Полное время расчета составляло 16 с. Теплоотдача для каждой трубки осреднялась по поверхности цилиндра и за период времени $t = [8; 16]$ с. На рисунке 2 показаны мгновенные значения числа Нуссельта осредненные по поверхности восьмого цилиндра в пучке для трех различных LES техник.

На рисунке 3 локальные значения числа Нуссельта восьмого цилиндра осредненные по пространству и времени для трех различных LES техник сравниваются с экспериментальными данными [5] при тех же условиях. LES WALE и LES WM дают лучшее совпадение с экспериментальными данными [5]. LES Smagorinsky лучше прогнозирует теплообмен в зоне вихреобразования при $\varphi > 100^\circ$, однако завышает теплоотдачу в лобовой части цилиндра. Максимальная теплоотдача для LES WALE и LES WM наблюдается при φ около 45° , что соответствует соударению потока жидкости в коридорном пучке. Максимальная теплоотдача для LES Smagorinsky наблюдается при φ около 25° и 70° , при этом в зоне φ около 45° происходит понижение теплоотдачи, что не отражает физику процесса.

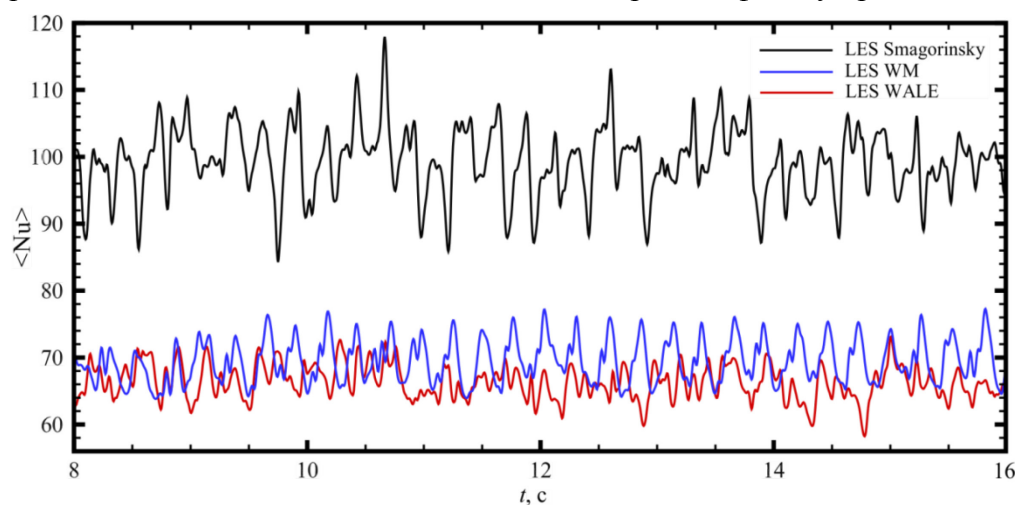


Рис. 2 – Мгновенные значения числа Нуссельта осредненные по поверхности восьмого цилиндра

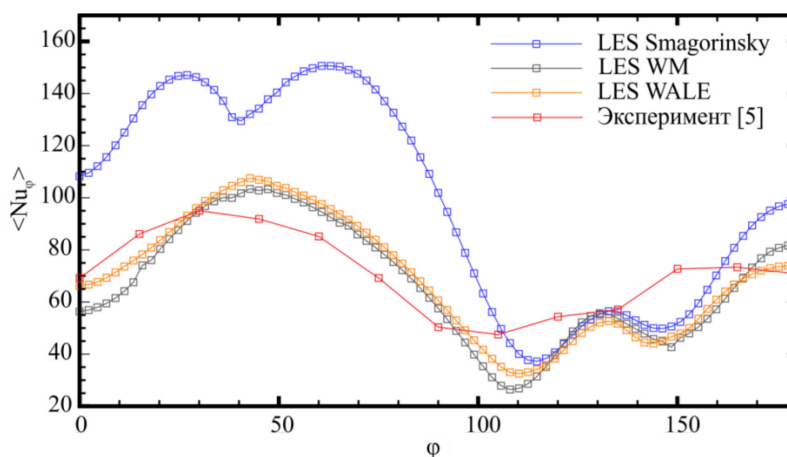


Рис. 3 – Локальные значения числа Нуссельта восьмого цилиндра осредненные по пространству и времени

На рисунке 4 показаны интегральные значения числа Нуссельта осредненные по поверхности всего цилиндра в зависимости от ряда трубки в пучке. С увеличением числа рядов (со второго по девятый ряд) происходит рост теплоотдачи для всех LES техник. Увеличение теплоотдачи с увеличением числа рядов по потоку пучка также отмечается в работе [5]. Отклонения числа Нуссельта для восьмого цилиндра с экспериментальными данными составило 28.5 %, 7.1 %, 2.2 % для LES Smagorinsky, LES WALE и LES WM техники соответственно.

На рисунках 5,6 показаны линии тока и заливки скорости для разных моментов времени, по которым заметно нестационарное течение и вихреобразование позади цилиндров

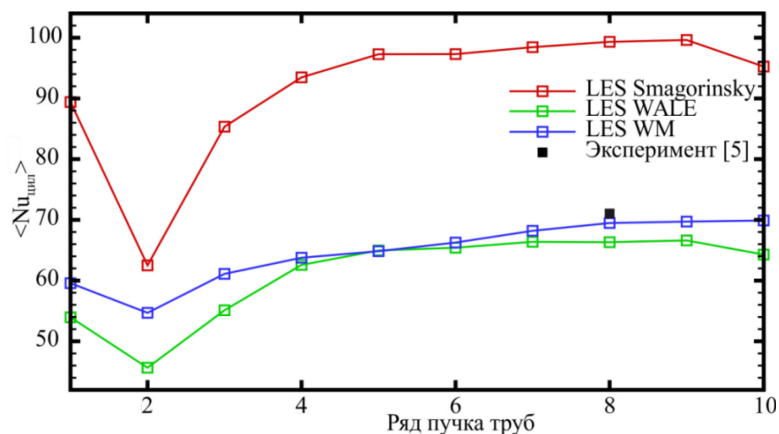


Рис. 4 – Распределение теплоотдачи цилиндров по глубине пучка

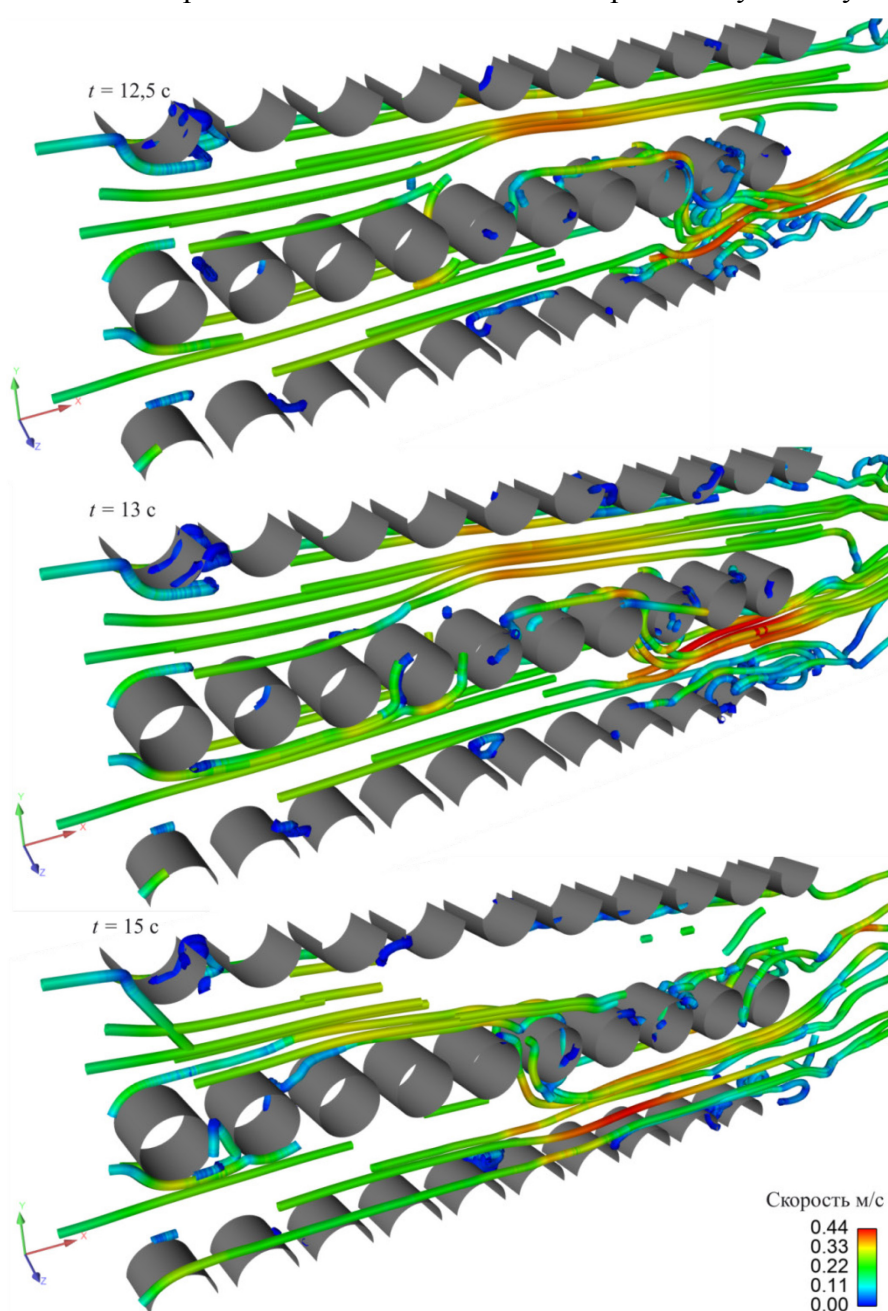


Рис. 5 – Линии тока в пучке труб для разных моментов времени полученные с использованием LES WM

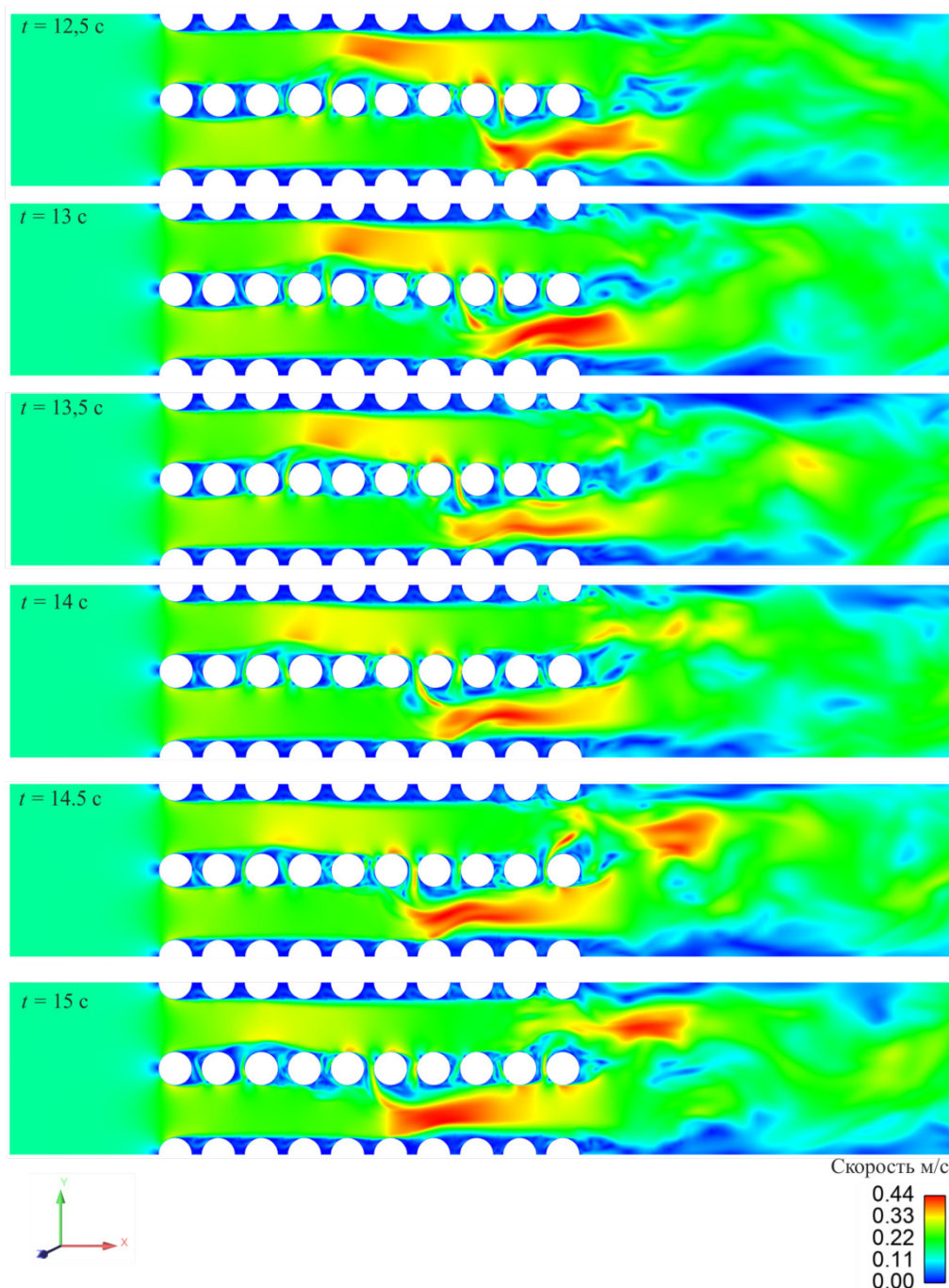


Рис. 6 – Заливка скорости в пучке труб для разных моментов времени полученные с использование LES WM

В данной работе получены результаты по теплообмену в десяти рядном коридорном пучке труб при использовании LES Smagorinsky, LES WALE и LES WM техник. Локальные характеристики теплообмена сравнены с экспериментальными данными. LES Smagorinsky лучше прогнозирует теплообмен в зоне вихреобразования при $\varphi > 100^\circ$, однако завышает теплоотдачу в лобовой части цилиндра. LES WALE и LES WM техники хорошо предсказывают теплообмена как в передней так задней части цилиндра. Отклонения числа Нуссельта осредненного по всей поверхности восьмого цилиндра и по времени с экспериментальными данными составило 28.5 %, 7.1 %, 2.2 % для LES Smagorinsky, LES WALE и LES WM техники соответственно.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 18-79-10136, <https://rscf.ru/project/18-79-10136/>.

Список литературы

1. *Kulasekharan N., Prasad B.V.* Performance of 2-D Turbulence RANS Models for Prediction of Flow Past a Staggered Tube Bank Array // *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*. 2009. no. 3. P. 386-407.
2. *Rollet-Miet P., Laurence D., Ferziger J.* LES and RANS of turbulent flow in tube bundles // *Int. J. of Heat and Fluid Flow*. 1999. Vol. 20. no. 3. P. 241-254.
3. *Wang Y.Q., Jackson P.L.* Turbulence Modeling Applied to Flow Through a Staggered Tube Bundle // *J. of Therm. and Heat Trans.* 2010. Vol. 24. № 3. P. 534-543.
4. *Li X., Wu X., He S.* Numerical investigation of the turbulent cross flow and heat transfer in a wall bounded tube bundle // *Int. J. of Thermal Sci.* 2014. Vol. 75. P. 127-139.
5. *Жукаускас А., Макаревич В. и Сланчаускас А.* Теплоотдача в пучках труб при поперечном обтекании жидкости. Минтис Вильнюс, 1968. С. 192.

1.2.2.

Е.Г. Царькова

Тверской государственный университет,
математический факультет,
Тверь, university69@mail.ru,
Федеральное казенное учреждение «Научно-исследовательский институт
Федеральной службы исполнения наказаний», НИЦ-1,
Москва

НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ОХРАННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Целью исследования является решение актуальной задачи построения оптимальной стратегии управления деятельностью охранного предприятия в условиях конкуренции с другими поставщиками охранных услуг. Отдельное внимание уделено вводу управления процессом с помощью искусственной нейронной сети, используемой для идентификации параметров задачи. Получены соотношения для реализации вычислительного алгоритма построения приближенного оптимального решения.

Ключевые слова: охранный деятельность, оптимальное управление, необходимые условия оптимальности, искусственная нейронная сеть, метод градиентного спуска.

Рассматривается модель управления деятельностью поставщиков охранных услуг в условиях конкуренции. Для увеличения собственной клиентской базы охранными предприятиями используются различные стратегии продвижения предлагаемых услуг [1]. Введем переменные $x_i(t) \geq 0, i=1,2$, определяющие общее число потребителей охранных услуг, являющихся клиентами i -го поставщика. В случае, когда конкуренция отсутствует, число клиентов поставщика охранных услуг увеличивается согласно экспоненциальному закону: $x_i(t) = x_{i0} \cdot e^{\varepsilon_i t}$. Здесь ε_i – коэффициент, характеризующий скорость прироста числа клиентов, x_{i0} – общее число клиентов i -й организации в начальный момент времени, $i=1,2, t \in [0, T]$. Тогда процесс изменения числа клиентов i -ого поставщика охранных услуг может быть описан системой обыкновенных дифференциальных уравнений:

$\dot{x}_i(t) = x_i(t) \left(\varepsilon_i - \sum_{j=1}^2 \gamma_{ij} x_j(t) \right), i=1,2$. Построим модель конкурентной борьбы рассматриваемых

организаций, осуществляющих услуги по обеспечению безопасности. Полагаем, что поставщик №1 с численностью клиентской базы $x_1(t)$ является лидером рынка в рассматриваемой экономической нише и борется за сохранение числа клиентов, поставщик №2 (являющийся группой охранных предприятий, отличных от поставщика №1), имеющий число клиентов, равное $x_2(t)$, за счет соответствующих стратегий управления борется за прирост клиентской базы. Между моментом изменения внешней среды и моментом принятия управленческого решения, связанного с реакцией на данные изменения, существует постоянное запаздывание $\tau > 0$ [2]. Введем в модель данный параметр, учитывая, что на начальном временном интервале $t \in [-\tau, 0]$ число клиентов i -го поставщика определяется следующими соотношениями [3]: $x_i(t) = \varphi_i(t), t \in [-\tau, 0], i=1,2$. Управляющее воздействие $u_i(t), i=1,2$, измеряется средней величиной суммы средств, выделяемых в единицу времени i -м поставщиком охранных услуг на увеличение клиентской базы. На значение управления накладываются естественные ограничения: $\alpha_i \leq u_i(t) \leq \beta_i, i=1,2$. Здесь параметры α_i, β_i определяют значения нижней и верхней границ величины ресурса, выделяемого в единицу времени на увеличение клиентской базы. Введем в модель коэффициенты $r_i, i=1,2$, определяющие влияние управления на прирост клиентской базы i -го поставщика. Тогда при

наличии конкуренции между рассматриваемыми охранными предприятиями процесс изменения объема клиентской может быть описан системой дифференциальных уравнений с запаздыванием:

$$\begin{aligned}\dot{x}_1(t) &= x_1(t)(\varepsilon_1 - \gamma_{11}x_1(t-\tau) - \gamma_{12}x_2(t-\tau)) - r_1u_1(t), \\ \dot{x}_2(t) &= x_2(t)(\varepsilon_2 - \gamma_{21}x_1(t-\tau) - \gamma_{22}x_2(t-\tau)) - r_2u_2(t), \quad x_1(t) = \varphi_1(t), \quad x_2(t) = \varphi_2(t), \quad t \in [-\tau, 0].\end{aligned}\quad (1)$$

Целью управления является максимизация функционала, позволяющего выразить величину прибыли 1-го поставщика от оказания охранных услуг в течение периода времени $[0, T]$: $I(u_1) = \int_0^T Nx_1(t)dt \rightarrow \max$. В рассматриваемой модели отдельное внимание уделяется

определению значений параметров, $r_i, i=1,2$, которые в общем случае могут изменяться во времени в зависимости от условий внешней среды и влияния случайных факторов. Для идентификации значений данных параметров может быть использована искусственная нейронная сеть, обученная на статистических данных об объеме клиентской базы рассматриваемых субъектов охранной деятельности за предыдущие периоды. Динамика рассматриваемого процесса в общем виде описывается системой уравнений:

$$\dot{x}_i(t) = \beta_i(t, x_i(t)) + G_i \left(\sum_{j=1}^2 w_{ij}(t)x_j(t-h_j) - \psi_i \right) + \sum_{j=1}^2 b_{ij}(t)u_j(t), \quad i=1,2, \quad \text{где } w_{ij}(t) - \text{значения весовых коэффициентов введенной искусственной нейронной сети (ИНС), } \psi_1, \psi_2 - \text{определенные на основе статистических данных величины, } G_i(t, x(t), w(t)) = G_i \left(\sum_{j=1}^2 w_{ij}x_j(t) - \psi_i \right), \quad t \in [0, T].$$

Целевой функционал в рассматриваемой задаче определяется соотношением:

$$I(u) = \int_0^T (M_1 f_0(t, x(t), u(t), w(t)) - Nx_1(t))dt + M_2 \Phi(x(T)) \rightarrow \inf, \quad (2)$$

где $f_0(x(t), w(t), u(t))$ – функция энергии искусственной нейронной сети, $\Phi(x(T), T)$ – терминальные ограничения, M_1, M_2, N – весовые коэффициенты.

Для решения полученной задачи оптимального управления с учетом как классического управления, так и введенного управления искусственной нейронной сетью (нейроуправления) доступен широкий спектр численных методов построения приближенного решения [2].

Остановимся на процессе обучения введенной ИНС более подробно. В общем случае состояние нейронной сети, содержащей K нейронов, может быть описано системой дифференциальных уравнений следующего вида [3]:

$$\ddot{x}_i(t) + \varepsilon(1 - \beta_i x_i^2(t)) + v_i^2 x_i(t) = u_i(t) + \sum_{j=1}^K w_{ij}(t) \left(x_j(t-h_j) - \dot{x}_i(t) \right), \quad \text{где } i = \overline{1, K}, t \in [0, T]. \quad \text{С учетом}$$

обозначений: $\dot{x}_i(t) = y_i(t)$, $z_j(t) = y_j(t-h_j)$, $j = \overline{1, K}, t \in [0, T]$, система дифференциальных уравнений принимает вид:

$$\dot{x}_i(t) = y_i(t), \quad j = \overline{1, K}, t \in [0, T], \quad (3)$$

$$\dot{y}_i(t) = -v_i^2 x_i(t) - \varepsilon(1 - \beta_i x_i^2(t)) + u_i(t) + \sum_{j=1}^K w_{ij}(t) \left(y_j(t-h_j) - y_i(t) \right), \quad (4)$$

$$x_i(0) = a_i, \quad \dot{x}_i(t) = \varphi_i(t), \quad i = \overline{1, K}, t \in [-\max\{h_j\}, 0], |u_i(t)| < B_i, |w_{ij}(t)| < C_{ij}. \quad (5)$$

В рассматриваемой модели ИНС используются следующие параметры: x_i – амплитуда колебаний i -го нейрона; $y_i(t)$ – значение скорости изменения амплитуды колебаний i -го нейрона; $u(t)$ – значение функции управления, характеризующее внешнее воздействие ансамбля нейронов на i -й нейрон; K – общее число нейронов; T – фиксированное время

протекания процесса; $\varepsilon > 0$ и β – коэффициенты, характеризующие нелинейное воздействие на i -ый нейрон ансамбля нейронов, v_i – значение собственной частоты колебания i -го нейрона. Учитываются запаздывания при передаче сигнала от одного нейрона к другому. Целью управления при обучении искусственной нейронной сети является построение процесса, в результате протекания которого в конечный момент времени характеристики нейронов будут совпадать с заданными терминальными условиями, а также построение оптимального управления $\bar{u}(t)$ ансамблем нейронов с целью минимизации значения целевого функционала. Получаем задачу оптимального управления следующего вида. Требуется минимизировать функционал:

$$I(u) = \int_0^T (M_1 f_0(t, x(t), u(t), w(t)) - Nx_1(t)) dt + M_2 \Phi(x_1(T)) \rightarrow \inf, \quad (6)$$

при ограничениях (3) – (5). Для решения задачи применим необходимые условия оптимальности в форме принципа максимума для динамических систем с запаздывающим аргументом [4]. Разбивая временной интервал $[0, T]$ на q слоев и аппроксимируя интеграл по правилу левых прямоугольников, а систему дифференциальных уравнений по схеме Эйлера, получим дискретную задачу оптимального управления [5]:

$$I(u, w) = \sum_{i,j=1}^K (M_1 f_0(t, x^l, u^l, w^l) - Nx_1^l) \Delta t + M_2 \Phi(x_1^K) \rightarrow \inf, \quad (7)$$

$$\begin{aligned} x_i^{l+1} &= x_i^l + \Delta t y_i^l, \quad x_i^0 = a_i, \quad y_i^l = \varphi_i^l, \quad l \in [-\max\{v_j\}, 0], \quad \alpha_i \leq |u_i^l| \leq \beta_i, \\ y_i^{l+1} &= y_i^l + \Delta t \left(- (v_i^l)^2 x_i^l - \varepsilon (1 - \beta_i (x_i^l)^2) + u_i^l + \sum_{j=1}^N w_{ij}^l (y_j^{l-\tau_j} - y_i^l) \right). \end{aligned} \quad (8)$$

Нижний индекс $i = \overline{1, K}$ определяет номер координаты вектора, верхний индекс $l = \overline{1, q}$ определяет номер нейронного слоя в схеме аппроксимации. Для дискретной задачи оптимального управления (7), (8) строим функцию Лагранжа. Из условия стационарности функции Лагранжа по фазовым переменным получаем рекуррентные соотношения для сопряженных переменных:

$$\begin{aligned} p_k^m &= -\lambda_0 \left(M_1 \frac{\partial f_0(t, x^m, u^m, w^m)}{\partial x_k^m} - N \frac{\partial x_1^m}{\partial x_k^m} \right) \Delta t + p_k^{m+1} - (v_k^m)^2 q_k^{m+1} \Delta t + 2 \Delta t q_k^{m+1} \varepsilon \beta_k x_k^m, \\ p_k^q &= -\lambda_0 M_2 \Delta t \frac{\partial \Phi(x^q)}{\partial x_k^q}, \quad q_k^m = p_k^{m+1} \Delta t + q_k^{m+1} + \Delta t \sum_{i=1}^N q_i^{m+\tau_k+1} w_{ik}^m - q_k^{m+1} \Delta t \sum_{i=1}^N w_{kj}^m, \quad m \geq q. \end{aligned}$$

Полученные соотношения используются при построении численного алгоритма решения задачи. Таким образом, согласно предложенному методу решения рассматриваемая задача оптимизации клиентской базы охранной организации может быть формализована с помощью классического управления и введенного нейроуправления, позволяющего идентифицировать значения параметров модели и уточнить модель для оперативного принятия управленческих решений в сфере обеспечения безопасности охраняемых объектов.

Список литературы

1. Лысова Е.А. Определение направлений управления конкурентоспособностью охранного предприятия на основе анализа факторов конкурентоспособности. Известия ТулГУ. Экономические и юридические науки. 2014. №3.
2. Андреева Е.А., Кратович П.В. Оптимизация нейронных сетей. Тверь: Твер. гос. ун-т, 2015. 116 с.
3. Галушкин А.И. Нейронные сети. Основы теории. М.: Горячая линия – Телеком, 2012. 496 с.
4. Андреева Е.А., Колмановский В.Б., Шайхет Л.Е. Управление системами с последействием. М.: Наука, 1992. 336 с.
5. Евтушенко Ю.Г. Методы решения экстремальных задач и их применение в системах оптимизации. – М.: 1982. – 432 с.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И
ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ — 2.3.1.****2.3.1.**

¹А.Ю. Барыкин канд. техн. наук, ¹Р.М. Галиев канд. техн. наук,
¹В.М. Нигметзянова канд. педагог. наук,
¹Д.И. Нуретдинов канд. техн. наук, ¹Р.Х. Тахавиев,
¹Ш.С. Хуснетдинов канд. техн. наук, ²А.М. Фролов канд. техн. наук

Набережночелнинский институт
ФГАОУ ВО «Казанский (Поволжский) федеральный университет»,
автомобильное отделение,
¹кафедра «Эксплуатация автомобильного транспорта»,
²кафедра «Механика и конструирование»,
Набережные Челны, aleks-jb@mail.ru

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ НАГРУЖЕННОСТИ ФЛАНЦЕВОГО
СОЕДИНЕНИЯ КАРДАННОЙ ПЕРЕДАЧИ**

В статье рассмотрены факторы, определяющие нагруженность деталей карданной передачи трансмиссии автомобиля в реальных условиях эксплуатации. Теоретически и экспериментально подтверждена целесообразность оценки динамики прочностных свойств карданной передачи при работе в зимнее время. Изложены основы методики расчёта фланцевого соединения карданной передачи, позволяющей учесть влияние отрицательных температур атмосферного воздуха.

Ключевые слова: *трансмиссия автомобиля, карданный вал, фланцевое соединение, нагрузочный режим, динамический момент, температура воздуха.*

Разработка и совершенствование конструкций современных колёсных машин требует реализации системного подхода к проблеме обеспечения эффективности эксплуатации в заданном диапазоне дорожных и природно-климатических условий. В частности, механизмы и системы трансмиссии современного автомобиля должны обеспечивать надёжность и безотказность работы круглое время года и на дорогах с различными типами покрытий [1, 2].

Системный подход к проблеме обеспечения эффективности работы трансмиссии позволяет выявить факторы, определяющие нагруженность деталей, и уточнить применяемые методики расчёта конструктивных параметров. Исследование условий эксплуатации карданных передач грузовых автомобилей, проведённое авторами статьи, позволило установить существенное влияние состояния опорной поверхности и окружающей среды на долговечность и безотказность.

К весомым связям исследуемой системы «трансмиссия автомобиля – опорная поверхность – окружающая среда», оказывающим влияние на эффективность работы карданной передачи, следует отнести воздействия: динамических нагрузок дороги при движении в зимнее время года; температуры атмосферного воздуха на прочностные свойства материалов деталей, кинематическую вязкость и плотность смазочных материалов.

Повышение динамических нагрузок, вызванных взаимодействием с опорной поверхностью, обусловлено не только спецификой эксплуатационного состояния проезжей части, но и свойствами подвески. Изменение жёсткости упругих элементов при отрицательных температурах воздуха приводит к усилению ударов и вибрации. В наибольшей степени это проявляется при движении по неровным дорогам.

Увеличение кинематической вязкости и плотности смазочных материалов, происходящее при работе узлов в зимнее время, приводит к падению мощности и затруднению смазки. Такие процессы являются причинами как ускоренного износа деталей, так и повышения ударных нагрузок в трансмиссии при движении в сложных дорожных условиях [3, 4].

Эксплуатация подвижного состава в условиях низких температур показывает, что металлические детали трансмиссии, подверженные охлаждению до $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже, могут стать причиной отказа при расчётных динамических нагрузках, вследствие усиления хладноломкости [5]. Поэтому необходимо предусматривать ряд мероприятий, направленных на уменьшение отрицательного влияния внешних факторов [6].

Данные экспериментальных исследований показывают, что карданная передача подвержена воздействию перечисленных выше нагрузочных факторов, зависящих от условий эксплуатации и конструктивных особенностей трансмиссии автомобиля [7, 8].

Одним из ответственных узлов карданной передачи является фланцевое соединение карданного вала с узлами трансмиссии (рис. 1). В ряде конструкций крепление обеспечивается болтами, устанавливаемыми с зазором или без зазора [9]. В первом случае крутящий момент передаётся за счёт трения между фланцами и в болтах возникает напряжение растяжения. Во втором случае болты нагружены напряжениями среза и смятия.

При выборе методики расчёта элементов карданной передачи необходимо принимать во внимание происходящее во время эксплуатации изменение динамических нагрузок, условий трения и свойств смазочного материала, размеров рабочих поверхностей деталей фланцевого соединения. Важно учитывать, что воздействие окружающей среды обусловлено не только температурой, но и подвижностью атмосферного воздуха.



Рис. 1 – Крепление фланца карданного вала автомобиля КАМАЗ

Предлагается определять действующие нагрузки во фланцевом соединении по следующей методике. Напряжение растяжения для случая установки болтов с зазором определяется по формуле:

$$\sigma_p = \frac{4 \cdot M_{e\max} \cdot k_d \cdot (1 + \Delta k_d) \cdot u_{kp1} \cdot \eta_{kp1}}{\gamma \cdot \pi \cdot n_b \cdot R_b \cdot d_{br}^2 \cdot (1 + \alpha_t \cdot T_v)^3 \cdot \mu_{sm}},$$

где $M_{e\max}$ – максимальный крутящий момент двигателя; k_d – коэффициент динамичности в нормальных условиях эксплуатации; Δk_d – поправка, учитывающая увеличение динамических нагрузок в зимних условиях; u_{kp1} – передаточное число коробки передач на низшей передаче; η_{kp1} – КПД коробки передач; γ – коэффициент, учитывающий неравномерность работы болтов; n_b – число болтов; R_b – радиус расположения болтов; d_{br} – диаметр болта в опасном сечении (на разрыв); T_v – температура окружающей среды; μ_{sm} – коэффициент трения во фланцевом соединении при температуре T_v ; α_t – коэффициент, учитывающий влияние температуры окружающей среды на размеры деталей.

Напряжения среза и смятия находятся по зависимостям:

$$\tau_{sr} = \frac{4 \cdot M_{e\max} \cdot k_d \cdot (1 + \Delta k_d) \cdot u_{kp1} \cdot \eta_{kp1}}{\gamma \cdot \pi \cdot n_b \cdot R_b \cdot d_{bsr}^2 \cdot (1 + \alpha_t \cdot T_v)^3}$$

$$\sigma_{sm} = \frac{M_{e\max} \cdot k_d \cdot (1 + \Delta k_d) \cdot u_{kp1} \cdot \eta_{kp1}}{\gamma \cdot n_b \cdot R_b \cdot (l_{b\min} - 2 \cdot \delta_{fl}) \cdot d_{bsm} \cdot (1 + \alpha_t \cdot T_v)^3}$$

где d_{bsr} – диаметр болта в опасном сечении (на срез); d_{bsm} – диаметр болта в опасном сечении (на смятие); $l_{b\min}$ – минимальная толщина фланца; δ_{fl} – размер фаски фланца под болт.

Выполнение условий прочности производится далее по стандартной методике [10]. Применение предлагаемого метода расчёта позволит, по мнению авторов статьи, произвести достоверную оценку влияния внешних эксплуатационных факторов на долговечность и безотказность фланцевых соединений карданных передач.

Список литературы

1. Гусаков Н.В. Конструкция автомобиля. Шасси / Н. В. Гусаков, И. Н. Зверев, А. Л. Карунин [и др.] // Под общ. ред. А. Л. Карунина. – Москва: МАМИ, 2000. – 528 с. – Текст: непосредственный.
2. Driveline systems of ground vehicles: theory and design / Andreev A. F., Kabanau V. I., Vantsevich V. V. // Boca Raton, 2010. Ground vehicle engineering series. - 758 pp.
3. Курдин П.Г. Современные проблемы эксплуатации автомобилей в условиях низких температур независимо от климатической зоны / П. Г. Курдин, Ю. К. Филиппов, В.А. Токарев. – Текст: непосредственный // Итоговая научная конференция: (2018; Набережные Челны) [Текст]: сб-к докладов. - Набережные Челны: ИПЦ Набережночелнинского института К(П)ФУ, 2018. – С. 62-73.
4. Barykin A.Yu. The research of thermal processes of the automobile chassis / Barykin, A.Yu., Takhaviev, R. Kh., Samigullin, A. D. // International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development. – 2018. – Vol. 8, Special Issue 8, Oct 2018, 458-464.
5. Малкин В.С. Техническая эксплуатация автомобилей. Теоретические и практические аспекты / В. С. Малкин. - Москва: Изд. Центр «Академия», 2007. - 288 с.– Текст: непосредственный.
6. Анисимов И.А. Повышение эффективности использования автомобилей в низкотемпературных условиях эксплуатации / И. А. Анисимов, А. Г. Белов // Материалы Всеросс. постоянно действующего семинара «Экологическая безопасность регионов России и риск от техногенных аварий и катастроф». – Пенза: ПДЗ, 2004. – С. 86-88.
7. Барыкин А.Ю. Эксплуатация карданной передачи грузового автомобиля в зимних условиях / А. Ю. Барыкин, М. М. Мухаметдинов, Р. Х. Тахавиев, Ш. С. Хуснетдинов. – Текст: непосредственный // Эффективность технической эксплуатации и автосервиса транспортных и технологических машин: Сборник научных статей по материалам III Международной научной конференции. – Саратов, 14 апреля 2017 г. – Саратов: ГАУ ДПО «СОИРО», 2017. – С. 99-102.
8. Барыкин А.Ю. Выбор конструктивных параметров при моделировании работы карданной передачи / А. Ю. Барыкин, Р. М. Галиев, Р. Ф. Илдарханов, В. М. Нигметзянова, Д. И. Нуретдинов, Р. Х. Тахавиев // Научно-технический вестник Поволжья, 2021. – № 4. – С. 103-106.
9. Гришкевич А.И. Проектирование трансмиссий автомобилей: Справочник / А. И. Гришкевич, Б. У. Бусел, Г.Ф. Бутусов [и др.]. – Москва: Машиностроение, 1984. – 272 с. – Текст: непосредственный.
10. Детали машин и основы конструирования / Под ред. М. Н. Ерохина. – Москва: КолосС, 2005. – 462 с. – Текст: непосредственный.

2.3.1.

Д.С. Горбатенко

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
кафедра «Системный анализ и управление»,
Москва, mai_kaf604@mail.ru

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ
ВБЛИЗИ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ**

В статье рассматривается проблематика дорожно-транспортной аварийности вблизи транспортно-пересадочных комплексов. Проведен анализ основных причин возникновения дорожно-транспортных происшествий вблизи транспортно-пересадочных комплексов. Предложены и теоретически обоснованы мероприятия по профилактике безопасности дорожного движения в таких местах.

Ключевые слова: безопасность дорожного движения, дорожно-транспортное происшествие, улично-дорожная сеть, транспортно-пересадочные комплексы, нарушения правил дорожного движения, профилактика аварийности.

Транспортно-пересадочный комплекс (ТПК) – пассажирский комплекс, выполняющий функции по перераспределению пассажиропотоков с автомобильного транспорта на железнодорожный, водный или авиационный, и наоборот, а также с одного типа автомобильного транспорта на другой.

Рассмотрим структуру дорожно-транспортной аварийности, произошедшей вблизи железнодорожных вокзалов (станций), станций метрополитена, автовокзалов (автостанций), аэропортов, речных пристаней, на территории г. Москва за 2017-21 гг. [1].

Среди дорожно-транспортных происшествий (ДТП), произошедших вблизи таких объектов, в среднем 60 % составляют столкновения, в среднем 35 % составляют наезды на пешеходов. В среднем только в 20 % ДТП фиксировались недостатки транспортно-эксплуатационного состояния дорог, а именно: отсутствие или неправильное применение дорожных знаков (в среднем 60 % ДТП с зафиксированными недостатками), и отсутствие дорожной разметки (в среднем 35 % ДТП).

В среднем 40 % ДТП, произошедших вблизи объектов ТПК, происходили на перекрестках, в среднем 30 % - на пешеходных переходах. В среднем 25 % ДТП происходили при сужении проезжей части припаркованным или неисправным транспортом, а в среднем 20 % происходили при сужении проезжей части вследствие проведения дорожных работ. В среднем половина ДТП происходила при сухом состоянии проезжей части, при преобладании пасмурной погоды. В среднем 70 % ДТП происходило в светлое время суток. В среднем 60 % ДТП происходили в местах, где отсутствовало разделительное барьерное ограждение.

В среднем в половине наездов на пешеходов, произошедших вблизи объектов ТПК, пешеходами были нарушены требования правил дорожного движения (ПДД), а именно переход через проезжую часть вне пешеходного перехода в зоне его видимости либо при наличии в непосредственной близости подземного (надземного) пешеходного перехода (в 60 % случаев), переход проезжей части в запрещённом месте, оборудованном пешеходными ограждениями (в 25 % случаев), переход через проезжую часть в неустановленном месте при наличии в зоне видимости перекрёстка (в 10 % случаев), и неподчинение сигналам регулирования (в среднем в 10 % случаев). Все пешеходы, нарушившие ПДД, за редким исключением, являлись гражданами РФ, в среднем 50 % из них находились в возрастной группе 50-60 лет, в среднем 30 % находились в возрастной группе 30-40 лет. Почти все пешеходы являлись жителями г. Москва.

Из числа водителей, участников ДТП, в среднем 55 % нарушали требования ПДД, приведшие к ДТП. Самым распространенными нарушениями ПДД являлись неправильный выбор дистанции (в среднем в 30 % случаев), несоответствие скорости конкретным условиям движения (в среднем в 25 % случаев), нарушение правил проезда пешеходных переходов (в среднем в 20 % случаев), и несоблюдение очередности проезда (в среднем в 12 % случаев).

Среди водителей, нарушивших ПДД, в среднем 10 % управляли автобусами общественного транспорта, осуществляющего регулярные перевозки. Из них в среднем 45 % находились в возрастной группе 50-59 лет, и в среднем 40 % - в возрастной группе 40-49 лет. В среднем 10 % из них являлись гражданами стран ближнего зарубежья. Из граждан РФ в среднем 15 % не являлись жителями Московской агломерации (г. Москва и Московская область). Водительский стаж в среднем у 70 % водителей составлял от 3 до 10 лет.

В среднем 25 % водителей, нарушивших ПДД, управляли автомобилями легкового такси, из них 40 % в среднем являлись гражданами стран СНГ, среди граждан РФ в среднем половина не являлась жителями Московской агломерации. В среднем 40 % водителей относились к возрастной группе 40-49 лет, в среднем 30 % находились в возрасте 30-39 лет. В среднем у 70 % водителей на момент ДТП водительский стаж составлял свыше 10 лет.

В среднем 50 % нарушивших ПДД водителей управляли личным легковым автотранспортом. Из них в среднем 30 % находились в возрастной группе 20-29 лет, в среднем 20 % в возрастной группе 30-39 лет, и в среднем 15 % в возрасте старше 60 лет. В среднем 40 % из них являлись гражданами стран ближнего зарубежья, а в среднем 50 % из граждан РФ не являлись жителями Московской агломерации. Водительский стаж до 3 лет в среднем фиксировался у 20 % водителей, 3-4 года в среднем у 30 % водителей, и в среднем у 40 % водителей стаж составлял свыше 10 лет.

В среднем 10 % водителей, нарушивших ПДД, управляли грузовым автотранспортом, из них 90 % в среднем являлись гражданами РФ, среди граждан РФ в среднем 45 % являлись жителями Московской агломерации. Самой распространенной (в среднем 45 % водителей) фиксировалась возрастная группа 50-59 лет, в среднем 35 % водителей находились в возрасте 40-49 лет. В среднем у 75 % водителей грузовых автомобилей на момент ДТП водительский стаж составлял свыше 10 лет.

Анализ статистических данных о дорожно-транспортной аварийности вблизи аэропортов, железнодорожных вокзалов (станций), автовокзалов (автостанций), и речных пристаней [1], позволил сформулировать основные факторы, способствующие возникновению ДТП в данных местах:

- пренебрежение необходимостью соблюдения участниками дорожного движения требований ПДД;
- недостатки организации движения и эксплуатационного состояния улично-дорожной сети (УДС) в данных местах.

Анализ статистических данных [1] показал, что нарушения ПДД, допущенные водителями - «профессионалами», т.е. водителями общественного и грузового транспорта и легкового такси, были допущены при зафиксированных недостатках транспортно-эксплуатационного состояния УДС. А вот причиной нарушений ПДД водителями личного легкового транспорта являлась их слабая водительская подготовка, о чем говорит преобладающий их молодой возраст и небольшой водительский стаж.

Поэтому, основными направлениями профилактики безопасности движения в данных местах УДС являются:

- усиление надзора и контроля за движением и состоянием УДС;
- совершенствование методик теоретической и практической подготовки кандидатов в водители, ужесточение требований квалификационных испытаний;
- пропаганда безопасного поведения участников дорожного движения в местах массового скопления людей и автомобильного транспорта.

Надзор и контроль за дорожным движением осуществляется силами Государственной инспекции безопасности дорожного движения (ГИБДД), в том числе дорожно-патрульной службы (ДПС), и средствами автоматической фиксации нарушений ПДД. В настоящее время присутствие инспекторов ДПС на УДС крайне низкое, что явно не может способствовать соблюдению водителями требований ПДД. В отличие от камер автоматической фиксации, инспектор ДПС своим присутствием на УДС предупреждает возможное правонарушение, а камера лишь фиксирует произошедшее нарушение. Очевидно, что надзор и контроль за движением не может осуществляться без весомого размера административной ответственности за нарушения ПДД, и обеспечения неотвратимости наказания. Это также относится к осуществлению контроля за содержанием, реконструкцией и обустройством УДС, в том числе и в исследуемых местах.

Исходя из того, что ТС является источником повышенной опасности, у автошкол приоритетной задачей их деятельности должно быть не обучение вождению с целью подготовки кандидатов на получение водительского удостоверения, а обучение безопасному управлению автотранспортным средством. Следовательно, практические занятия необходимо дополнить т.н. «целевым обучением», т.е. учебным вождением в местах массового скопления людей и автотранспорта, каковыми, без сомнения, являются участки УДС вблизи транспортно-пересадочных комплексов. Обучаемый должен уметь обеспечить наблюдение в процессе управления ТС, чтобы сформировать безопасное пространство вокруг своего ТС в различных условиях [2].

Суть пропаганды безопасности дорожного движения сводится к систематическому разнообразному информационному воздействию на участников движения, с целью сформировать у участников движения стереотипы, как допустимого поведения, так и безоговорочного отказа от возможных недопустимых поступков. Причем формирование таких стереотипов в местах массового скопления людей (особенно детей) и автотранспорта является наиболее важным [3].

При этом необходимо обеспечить отсутствие в таких местах различных отвлекающих объектов (торговых точек и рекламных щитов), наличие которых, отвлекая водителя от безопасного управления ТС, тем самым повышает вероятность возникновения ДТП. Также это относится к действиям других участников движения.

В обеспечение контроля за безопасностью движения должны активно включаться общественные организации, пользователи пересадочного комплекса, а администрации субъектов РФ и муниципальных образований должны нести ответственность за обеспечение безопасности движения на подведомственной территории.

Список литературы

1. Статистические данные о дорожно-транспортной аварийности на территории г. Москва. М. УГИБДД ГУ МВД России по г. Москва, 2017-21;
2. Рыжкина Е.С., Пирожков Р.В. Совершенствование программы подготовки водителей транспортных средств категории «В». Журнал «Инженерный вестник Дона», выпуск № 4-1 (22), 2012, стр. 77-81;
3. Темняков Д.А. Педагогические особенности пропаганды безопасности дорожного движения. Журнал «Вестник Уральского института экономики, управления и права», выпуск № 3, 2020, стр. 14-20.

2.3.1.

**А.В. Запорожцев канд. техн. наук,
В.И. Хазова канд. техн. наук, В.И. Хазова канд. техн. наук**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
кафедра «Теоретическая и прикладная механика»,
wing10@yandex.ru, viverha@gmail.com, diplomla@mail.ru

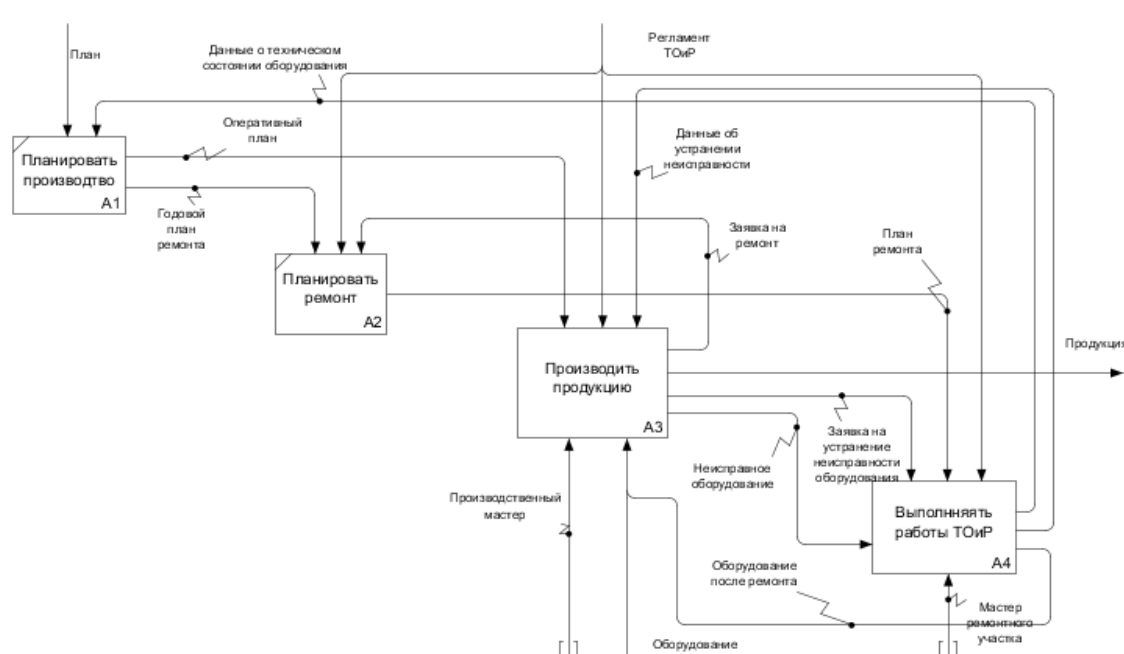
ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ВЫЯВЛЕНИЮ ТРЕБОВАНИЙ В ЗАДАЧЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТОиР

В статье на примере деятельности по ТОиР описывается процесс анализа модели системы с точки зрения выявления функциональной связности между функциями, выполняемыми различными стейкхолдерами. Наличие такой связи позволяет уточнить требования, предъявляемые ими к системе. Это позволит внести необходимые изменения в рассматриваемый процесс и устранить нежелательные явления.

Ключевые слова: *стейкхолдер, требование, формулировка требований, улучшение процесса, модернизация, целевая система.*

Рассмотрим реализацию методики выявления внешних функциональных стейкхолдеров и их требований, описанной в [1], на следующем примере.

Одной из важнейших функций производства является обеспечение работоспособного состояния оборудования, так как отказы в работе оборудования приводят к простоям и, следовательно, к снижению объема выпускаемой продукции [2]. Взаимосвязь функции производства продукции (A3) и обеспечение работоспособного состояния оборудования (A4) отображена на контекстной диаграмме (рис. 1) [3].



**Рис. 1 – Функциональная модель производства
с точки зрения обеспечения работоспособности оборудования**

Декомпозиции этих функций приведены на рисунке рис. 2. Для лучшего понимания контекста, в котором находятся анализируемые функции, необходимо выявить системное окружение этих функций [4]. Поэтому на контекстной диаграмме показаны функции планирования производства продукции (A1) и планирования ремонтов оборудования (A2).

Эти функции определяют и план производства, и план ремонта оборудования. Важное значение в разработке этих планов имеют данные о техническом состоянии оборудования, которые связывают выход функции А4 «Выполнить работы по ТОиР» с управлением функции А1 «Планировать производство».

На диаграмме декомпозиции функции А3 «Производить продукцию» (рис. 2, а) показаны только те функции, которые связаны с возникновением отказов в работе оборудования и оформлением заявки на устранение неисправности.

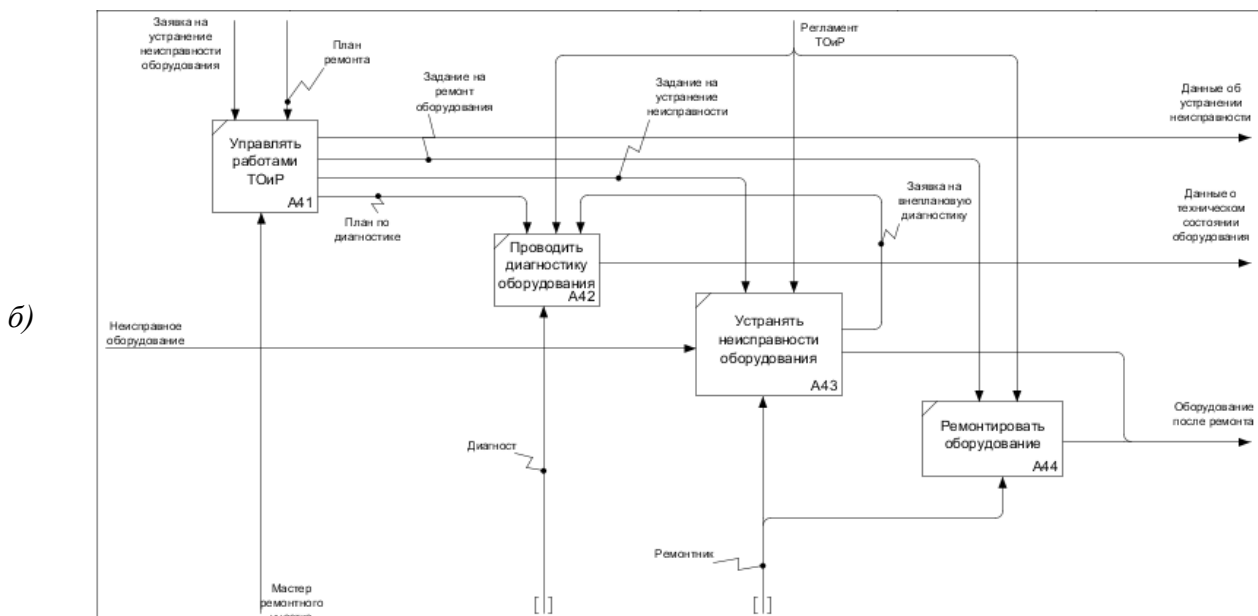
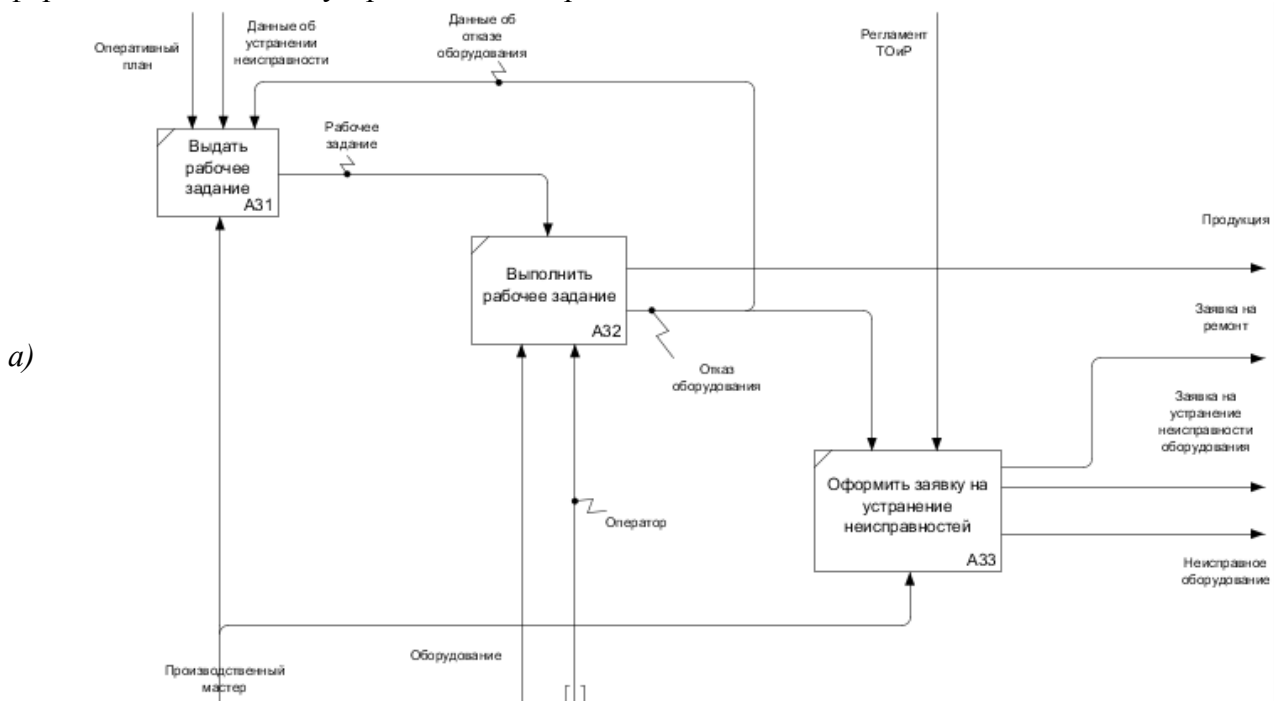


Рис. 2 – Декомпозиция взаимосвязанных функций:

а – декомпозиция функции А3 «Производить продукцию»;

б – декомпозиция функции А4 «Выполнять работы ТОиР»

При выполнении рабочего задания может возникнуть отказ оборудования, и тогда, в соответствии с регламентом ТОиР, должна быть оформлена заявка на устранение возникшей неисправности. Заявка передается в подразделение, которое ответственно за устранение неисправностей оборудования. На контекстной диаграмме (рис. 1) эта заявка показана как связь «выход – управление» между функцией А3 «Производить продукцию» и функцией А4 «Выполнять работы ТОиР».

Данные об отказе оборудования поступают на управление функции А31 «Выдать рабочее задание», что потребует повторно выдать рабочее задание, оказавшееся невыполненным, направив его другому исполнителю. Такое перераспределение рабочих заданий снизит производительность системы.

Пока оборудование будет ремонтироваться (устраняться неисправность), работоспособного оборудования на производственном участке будут меньше требуемой. Это будет оказывать давление на производственного мастера, так как он обязан выполнять план производства. Поэтому требование производственного мастера будет формулироваться следующим образом: «Для выполнения плана производства необходимо, чтобы оборудование находилось в работоспособном состоянии».

Однако такая формулировка требования стейкхолдера обобщенная, так как в нем нет конкретного объекта, к которому требование предъявлено. Для конкретизации требования производственного мастера необходимо лучше понять и наглядно представить организацию всех функций, связанных с устранением неисправности. Это позволит сформулировать более конкретные требования к целевой системе.

Устранение неисправностей производится в блоке А4 «Выполнять работы ТОиР». На диаграмме декомпозиции функции А4 «Выполнять работы ТОиР» (рис. 2, б) показаны три основных производственных функций: А42 «Проводить диагностику оборудования», А43 «Устранять неисправности оборудования» и А44 «Ремонтировать оборудование». Все работы выполняются по соответствующим планам и при соблюдении регламента ТОиР.

Диагностирование оборудования проводится с целью контроля его технического состояния и направлено на предотвращение отказов оборудования. При проведении диагностирования оборудования может проводиться и профилактика – работы по обслуживанию оборудования.

Устранение неисправностей производится при возникновении отказов в оборудовании и направлено на устранении неисправностей в кратчайший срок. Обычно эту работу выполняют ремонтники, которые занимаются ремонтом оборудования.

Ремонт оборудования – это плановая работа, занимающая достаточно длительное время, так как она включает в себя диагностирование оборудования, полную его разборку, выявление деталей, которые должны быть отремонтированы или заменены. Ремонтные работы планируются на год вперед по данным о техническом состоянии оборудования. Основным стейкхолдером в процессе «Выполнять работы ТОиР» является мастер ремонтного участка. Он заинтересован в работоспособном состоянии оборудования, так как тогда реже будут возникать отказы оборудования и ему реже придется отвлекать ремонтников на устранение неисправностей. Таким образом, требование мастера ремонтного участка как стейкхолдера будет сформулировано так: «Малое число отказов оборудования». Важно отметить, что в обобщенной форме требование мастера производственного участка и требование мастера ремонтного участка совпадают, но побудительные причины в каждом случае оказываются разными.

Для того чтобы получить наглядное представление о функциональной связанности деятельности двух стейкхолдеров (мастера производственного участка и мастера ремонтного участка), отобразим функции, которые они выполняют с точки зрения обеспечения работоспособного состояния оборудования (табл. 1).

Здесь функции А11 «Выдать рабочее задание», А12 «Выполнить рабочее задание» и А13 «Оформить заявку на устранение неисправностей» взяты из диаграммы А3 «Производить продукцию», а функции А14 «Управлять работами ТОиР» и А14 «Устранить неисправность оборудования» взяты из диаграммы А4 «Выполнить работы ТОиР». Основанием для размещения этих функций на одной диаграмме является их функциональная связанность.

Необходимо связанные функции этой деятельности отобразить на дополнительной диаграмме (рис. 3).

Таблица 1 – Таблица связей функций с проблемой

№ ФП	ФП	Связь	№ ФСХ	ФСХ	Результат	СХ	НЖЯ
1	2	3	4	5	6	7	8
A 11	Выдать рабочее задание	Рабочее задание – вых-упр	A 12	Выполнить рабочее задание	Продукция Отказ оборудования	МПУ	
A 12	Выполнить рабочее задание	Отказ оборудования – вых упр	A 13	Оформить заявку на устранение неисправностей	Неисправное оборудование Заявка...	МПУ	
A 13	Оформить заявку на устранение неисправностей	Заявка на устранение неисправности оборудования	A 14	Управлять работами ТОиР	Задание... Данные об устранении...	МПУ	
A 13	Оформить заявку на устранение неисправностей	Неисправное оборудование вых-вх	A 15		Оборудование после ремонта	МПУ	
A 14	Управлять работами ТОиР	Задание по устранению неисправностей	A 15			МПУ	

Такая дополнительная диаграмма может быть построена для более наглядного отображения функций, которые в основной модели деятельности располагаются на разных диаграммах. Здесь уместно вспомнить основной тезис разработки моделей деятельности в методологии SADT [3] – модель разрабатывается для лучшего понимания работы системы.

Анализ дополнительной диаграммы позволяет выявить то, что устранение неисправностей производится по стандартной схеме: выдача заявки на устранение неисправности $\Rightarrow$ выдача задания на устранение неисправности $\Rightarrow$ устранение неисправности. Как известно, чем больше промежуточных звеньев в цепочке принятия управленческого решения, тем больше времени потребуется для выполнения этого решения.

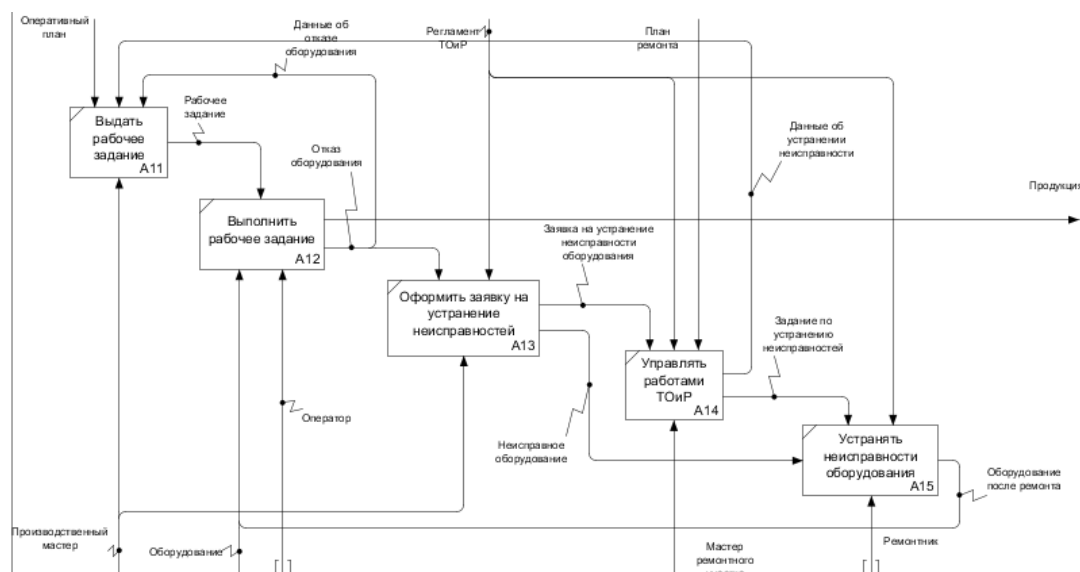


Рис. 3 – Дополнительная диаграмма связи функций разных сфер деятельности

При анализе обобщенных требований производственного мастера и мастера ремонтного участка, инженер по требованиям и системный архитектор построят дополнительную диаграмму, анализ которой позволит уточнить требования производственного мастера (табл. 2).

Список литературы

1. *Запорожцев А.В.* Функциональная связность как средство конкретизации требований стейкхолдеров / Запорожцев А.В., Хазова В.И., Хазова В.И. // Научно-технический вестник Поволжья. – 2022. – №9. – С. 31-34.
2. *Баскакова Н.Т.* Оптимизация затрат на ремонт в условиях теории ограничений с применением технологии RCM / Баскакова Н.Т., Сидорук И.Л. // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2014. – Т. 2. – С. 207–211.
3. *Марка Д.А.* Методология структурного анализа и проектирования: [Пер. с англ.] / Дэвид А. Марка, Клемент Л. МакГоуэн; Предисл. Д. Т. Росса. - М.: Фирма «Мета Технология», 1993. - 240 с.
4. *Запорожцев А.В.* Использование модели систем в работе с требованиями // Научно-технический вестник Поволжья. – 2020. – №3. – С. 36-41

2.3.1.

В.А. Короваев, А.А. Сатаев, В.В. Андреев

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева»,
Образовательно-научный институт ядерной энергетики и технической физики
им. академика Ф.М. Митенкова,
Нижний Новгород, v.a.korovaev@mail.ru

**СИСТЕМНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛООТДАЧИ
ПРИ СВОБОДНОЙ КОНВЕКЦИИ ВОДЯНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ
ВОКРУГ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ЦИЛИНДРА
ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВНЕШНИХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИЛ**

В работе представлены результаты теплофизического эксперимента на исследовательском стенде. Основной целью является системное рассмотрение влияния воздействия внешних динамических сил на теплоотдачу при свободной конвекции водяного теплоносителя. Были получены значения характерных температур в модели, коэффициент теплоотдачи для различных случаев.

Ключевые слова: *свободная конвекция, внешние динамические силы, модельный эксперимент, теплоотдача.*

Введение

К разработке новых проектов и модернизации уже созданных реакторных установок необходимо подходить комплексно, учитывая все возможные связи между элементами различных систем. Свободная конвекция является предметом систематических исследований в области обеспечения безопасности атомной энергетики. Однако, в то время как теплоотдача при свободной конвекции водяного теплоносителя в статических условиях является предметом многочисленных работ (например, в [1]), воздействие внешних динамических сил на эффективность процесса теплоотдачи на данный момент еще мало исследовано.

Естественная циркуляция (ЕЦ) жидкости представляет собой циркуляцию жидкости в трубопроводных системах или открытых бассейнах из-за изменений плотности, вызванных перепадами температур, и является частным случаем свободной конвекции. Аварийное расхолаживание реактора подразумевает использование каналов, в том числе с ЕЦ теплоносителя. Таким образом, изучение воздействия внешних сил на процесс свободной конвекции актуально для ЕЦ [2] и непосредственно связано с безопасностью ядерной энергетической установки в целом.

Для комплексного исследования данных процессов необходимо применение системного подхода с обязательным рассмотрением всех граничных условий и внешних воздействий. В виду невозможности проведения эксперимента с реальными параметрами теплоносителя в объеме, сопоставимом с размером реакторной установки, в нашей работе выбран экспериментальный способ изучения теплоотдачи путём построения модели, с соблюдением общих условий подобию, описанных в [3]. Следует обратить внимание, что в настоящее время известно значительное количество теоретических и эмпирических соотношений для расчета теплоотдачи при свободной конвекции [4], однако экспериментальный метод исследования сопровождается расхождениями в результате, в зависимости от выбранных соотношений для расчёта коэффициентов среднеконвективной теплоотдачи, причины которых описываются в работе [5].

Методика эксперимента

В рамках данной работы был создан стенд, моделирующий процесс конвективной теплоотдачи в условиях внешних динамических воздействий. В качестве экспериментальной модели была изготовлена емкость из органического стекла с установленным внутри нагревателем. Нагреватель имеет возможность изменения своей электрической мощности.

Для получения температурных характеристик водяного теплоносителя использовались термопары типа К (ТХА) в герметичном исполнении. Для осуществления колебаний модели был изготовлен экспериментальный стенд для имитации гармонических колебаний. Он состоит из рамы, подшипниковых опор, кривошипно-шатунного механизма, тяги, электродвигателя (мотор-редуктора) с возможностью частотного регулирования. Общий вид стенда представлен на рис.1.



Рис. 1 – Общий вид стенда

Для оценки степени влияния воздействия внешних динамических сил на теплоотдачу при свободной конвекции теплоносителя вдоль горизонтального цилиндра было проведено три эксперимента с целью сравнения коэффициентов конвективной теплоотдачи α . Параметры экспериментов представлены на таблице 1.

Таблица 1 – Параметры проведенных экспериментов

	Сила тока I , А	Напряжение U , В	Период колебаний, с	Амплитуда колебаний, град.
Статика	$3,2 \pm 0,2$	$86,3 \pm 3$	-	-
Колебания 1			12,17	$22^\circ 30'$
Колебания 2			3,63	

В качестве определяющей температуры жидкости были приняты показания термопары $T_{ж}$ – температуры жидкости, находящейся на наибольшем расстоянии от поверхности нагреваемого элемента. Температурный напор ΔT , необходимый для вычисления α был вычислен как разница температур между поверхностью нагревателя $T_{н}$ и $T_{ж}$. Конвективный поток теплоты Q_k определялся как разница мощности электронагревателя Q_n и мощности лучистого потока теплоты Q_l .

Мощность электронагревателя с переменным током определялась по формуле

$$Q_n = I \cdot U, \text{ Вт.}$$

Лучистый поток теплоты определялся по формуле Стефана-Больцмана

$$Q_l = c_0 \cdot \varepsilon \cdot \left[\left(\frac{T_n}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{ж}}{100} \right)^4 \right] \cdot F, \text{ Вт}$$

где $c_0 = 5,67$ – коэффициент излучения абсолютно черного тела, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^4}$, $\varepsilon = 0,5$ – степень черноты поверхности нагревателя, $F = 0,0211$ – площадь поверхности нагревателя, м^2 .

Коэффициент конвективной теплоотдачи определялся по формуле

$$\alpha = \frac{Q_k}{F \cdot \Delta T} \cdot \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

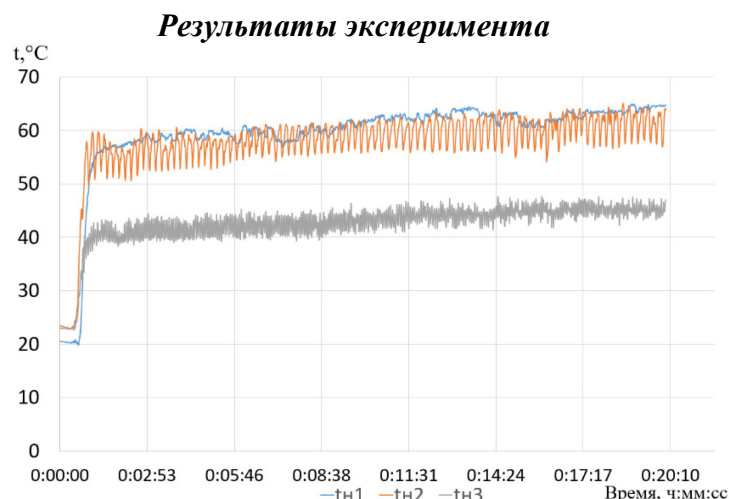


Рис. 2 – Сравнение температур поверхности нагревателя в трёх экспериментах

Особый интерес представляют результаты расчётов. Средний коэффициент конвективной теплоотдачи в установившемся режиме $\bar{\alpha}$ составляет в трех экспериментах соответственно $322,31 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$, $414,52 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ и $692,36 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$. Интенсификация теплообмена связана с переходом конвективной теплоотдачи из свободного режима в смешанный, в связи с воздействием внешних сил.

Кроме того, при воздействии внешних сил замечены синусоидальные флуктуации температуры теплообменной поверхности. Во втором эксперименте амплитудой $6,3 - 6,8 \text{ } ^\circ\text{C}$ и периодом 6 с. В третьем эксперименте амплитудой $2,8 - 3,2 \text{ } ^\circ\text{C}$ и периодом 4 с.

Заключение

Исходя из результатов экспериментов можно сделать вывод, что внешние динамические силы интенсифицируют конвективную теплоотдачу и, следовательно, оказывают положительное влияние на безопасность судовых ЯЭУ. В дальнейшем целесообразно изучить какое влияние окажут внешние динамические силы на теплоотдачу при изменении мощности источника тепла, а также провести исследования с другими видами теплоносителей.

Список литературы

1. *Большов Л.А.* Труды ИБРАЭ РАН / под общ. ред. чл.-кор. РАН Л.А. Большова; Ин-т проблем безопасного развития атомной энергетики РАН. — М.: Наука, 2007—. Вып. 8 : Свободная конвекция и теплоотдача жидкости с внутренними источниками тепла / науч. ред. Л.А. Большов. — 2008.
2. *Сатаев А.А., Самойлов А.М., Андреев В.В., Блохин А.А.* Патент на полезную модель № 206341 U1 Российская Федерация, МПК G01N 25/58. Стенд для испытаний на качку и статический крен гидравлических контуров с естественной циркуляцией: № 2021111425 : заявл. 22.04.2021; опубл. 06.09.2021; заявитель ФГБОУ ВО НГТУ им. Р.Е. Алексеева"
3. *Коротких А.Г., Шаманин И.В.* Основы гидродинамики и теплообмена в ядерных реакторах: Учебное пособие. — Томск: Томский государственный университет, 2007. — 117 с.
4. *Присняков В., Бондаренко С., Луценко В.* Тепломассообмен и вибрация. Под общ. ред. В.Ф. Приснякова. — Одесса: Нептун-Технология: 2001. — 208 с.
5. *Клаузинг, Кемпка.* Влияние изменения свойств на свободную конвекцию у вертикальных поверхностей. — Теплопередача, 1981, т. 103, № 4.

2.3.1.

А.Ю. Унгер

МИРЭА – Российский технологический университет,
институт информационных технологий,
кафедра вычислительной техники,
Москва, unger@mirea.ru

ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ФОРМАЛЬНОЙ ГРАММАТИКИ

В работе предложен метод оценки потенциальной уязвимости информационной системы на базе анализа расхождений деревьев разбора, полученных для одного сообщения на передающей и принимающей стороне. Показано, что многие существующие протоколы обмена допускают неоднозначное толкование одного и того же сообщения, что создает прецедент для атак на систему, используя эту неоднозначность. Показано, что традиционные методы защиты, которые основываются на анализе вводимых данных с помощью конечных автоматов, не всегда являются эффективными. Предложены основные направления развития практических методов дифференциального анализа деревьев разбора.

Ключевые слова: *формальная грамматика, дерево разбора, дифференциальный анализ.*

Введение. Основой построения сложных информационных систем является композиция [1]. Она предполагает, построение сложной системы из более простых компонентов. Модульная архитектура позволяет в значительной степени сократить расходы на разработку системы за счет использования уже готовых компонентов.

Для того, чтобы система, как целое, функционировала, необходимо, чтобы модули, ее составляющие, обменивались информацией. Таким образом, каждый модуль рассматривается как черный ящик, имеющий заданный *интерфейс*. Интерфейс является границей, через которую модуль получает данные. Именно на границе модуль верифицирует данные и, либо принимает их в обработку, либо, если данные не удовлетворяют формату передачи, отвергает их. Границы модулей, таким образом, являются основной целью атак безопасности.

Модули общаются друг с другом посредством сообщений. В работе предлагается рассматривать сообщение, как записанное на некотором формальном языке. Формализация сообщений таким образом позволит проектировать интерфейсы компонентов на базе хорошо разработанной теории формальных грамматик и улучшить безопасность информационной системы в целом.

Основные положения. Многие системы, построенные по модульному принципу, разрабатывались, совершенно не заботясь о безопасности. Можно сказать, что это связано с тем, что разработчики использовали готовые модули, полагаясь на их встроенную безопасность. Готовый модуль может быть безопасен, но при условии тщательного соблюдения протокола передачи данных.

Сформулируем фундаментальное требование к протоколу получения компонентом данных: *получаемое сообщение должно интерпретироваться однозначно*. Данное требование подразумевает, что два одинаковых сообщения должны приводить к одинаковой реакции компонента. Последнее требование может показаться тривиальным, однако, два разных компонента, реализующие один и тот же протокол, могут реагировать на одно и то же сообщение по-разному. Протоколы в Интернете могут быть простыми или сложными, но сложность в данном случае имеет строгое определение в теории формальных языков [2]. Согласно классификации Хомского [3], все языки подразделяются на 4 типа (рисунок 1).

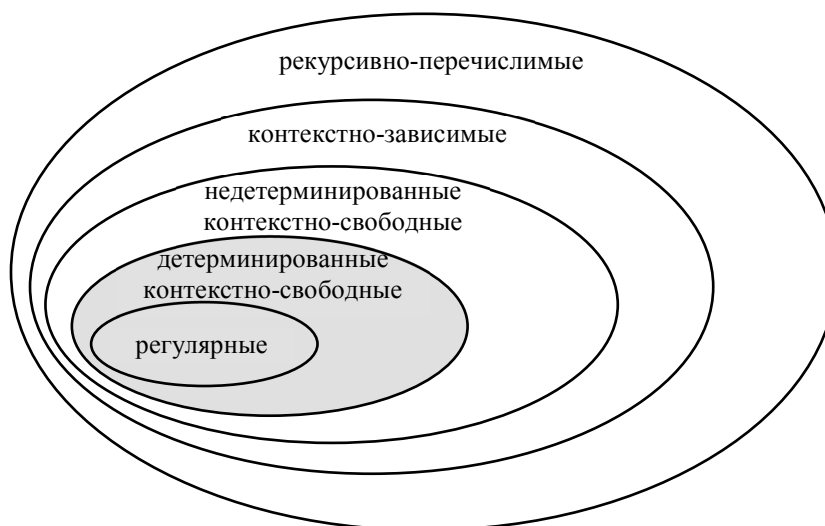


Рис. 1 – Иерархия формальных языков и грамматик

Таким образом, протоколу взаимодействия между компонентами информационной системы соответствует определенный тип языка. Известно [4], что один и тот же язык может быть описан множеством эквивалентных грамматик. Известно также [5], что задача нахождения эквивалентной грамматики для заданного языка является алгоритмически неразрешимой, если грамматика языка более общая чем детерминированная контекстно-свободная.

Рекурсивно-перечислимые языки по определению неразрешимы, что означает, что распознаватель может никогда не остановиться (зациклиться) в случае некорректного ввода. По этой причине использование рекурсивно-перечислимых языков допускает атаки типа отказ в обслуживании (DoS) и является небезопасным.

Менее сложные языки разрешимы всегда, т.е. для них можно построить корректный распознаватель, которые разрешит допустимый ввод и отклонит недопустимый, и при этом не заикнется. Сказанное позволяет сформулировать еще одно положение: *сложность парсера для вводимых в компонент данных, должна соответствовать сложности языка, понимаемого компонентом.*

Любая грамматика, в которой значение любого токена во входной строке может повлиять на структуру другой части строки, является по меньшей мере контекстно-свободной [6]. Из этого, в частности, следует, что что большинство протоколов Интернета необходимо анализировать с помощью КС-парсеров таких, как анализатор *рекурсивного спуска*.

Чем более сложным является анализатор, тем неопределеннее является результат сообщения. В самом деле, теория формальных языков базируется на том, что одному языку L может соответствовать множество эквивалентных грамматик. Семантика любого сообщения M определяется исключительно языком L , однако интерпретация этого сообщения зависит от реализации протокола. Эту ситуацию можно описать на примере двух комплементарных функций: $E(M)$ – кодирования сообщения на стороне отправителя и $D(M)$ – декодирования на стороне получателя. Как уже было сказано, для языков более сложных, чем детерминированные контекстно-свободные, эквивалентность двух грамматик E и D неразрешима. По причине неэквивалентности кодера и декодера $D(E(M)) \neq M$. Это значит, что смысл отправленного сообщения может отличаться от смысла полученного сообщения. Данное обстоятельство создает плацдарм для атак на систему.

Стандартные методы борьбы с атаками заключаются в *экранировании* – превращении входных данных в строковый литерал. Эти методы объединяет то, что они могут усложнить атаку за счет усложнения процедуры *валидации* вводимых данных, однако они не могут устранить принципиальную возможность такой атаки. Рассмотрим другой, более универсальный способ борьбы с подобными атаками.

Верификация дерева разбора. Метод, основанный на верификации дерева разбора, подразумевает дублирование распознавателя на стороне отправителя и получателя. Можно

скачать, что ключом к оценке уязвимости системы, использующей метод верификации дерева разбора, является степень различия в реализации распознавателя одного и того же протокола на стороне отправителя и стороне получателя. Несмотря на то, что в обычных условиях эти различия несущественны, и стороны могут понимать два диалекта одного протокольного языка, с точки зрения информационной безопасности это дает злоумышленнику потенциальные возможности для взлома системы. Ниже предлагается подход к оценке уязвимости информационного обмена двумя компонентами системы A и B .

Пусть на стороне A применяется некоторая грамматика E , которая кодирует сообщение M . На приемной стороне B это сообщение распознается грамматикой D , таким образом, что сообщение, получаемое стороной B , имеет вид $D(E(M))$. В случае, если грамматики E и D полностью эквивалентны, то

$$M = D(E(M)). \quad (1)$$

Однако, если имеет место случай

$$M \neq D(E(M)), \quad (2)$$

компонент B вынужден проделать ряд вычислений, которых в случае (1) не было бы. Таким образом, по расхождению (2) можно оценить нижнюю границу множества потенциальных уязвимостей в процессе коммуникации компонентов A и B .

$$\delta_A \cup \delta_B, \delta_A = |M_A - D_B(E_A(M_A))|, \delta_B = |M_B - D_A(E_B(M_B))|. \quad (3)$$

Здесь δ_A и δ_B – объемы дополнительных вычислений, которые должны выполнить стороны A и B в ответ на сообщения M_A и M_B , соответственно.

Согласно (3), безопасность канала передачи данных между компонентами находятся в прямой пропорциональности от расхождения функций кодирования E и декодирования D . Анализ расхождений удобно проводить с помощью сравнения деревьев разбора на стороне передачи и стороне приема. Для одного протокола согласно (3) существует два направления атаки – функция кодирования E и функция декодирования D .

Заключение. Основной результат, полученный в данной статье, состоит в оценке уязвимости системы, использующей различные реализации протокола обмена данными.

Список литературы

1. Geer D. Vulnerable compliance login // The USENIX Mag. 2010. V.356, no.6. pp.26-30.
2. Томашевская В.С., Яковлев Д.А. Способы обработки неструктурированных данных // Russian Technological Journal. 2021. Т.9, №1. с.7-17.
3. Chomsky N. On certain formal properties of grammars // Information and Control. 1959. Vol.2, no.2. pp.137-67.
4. Cook M. Universality in elementary cellular automata // Complex Systems. 2004. Vol.15. pp.1-40.
5. Korovina K.S., Rudova I.S. The execution complexity of logical formulas with restricted quantifiers based on CF-grammars // Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol.2131. pp.022131.
6. Unger A.Y. A formal pattern of information system design // Journal of Physics: Conference Series. 2021. V.2094. pp.032045.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ — 2.3.3.**

2.3.3.

Н.Н. Алаева, Р.Н. Зарипова

Альметьевский государственный нефтяной институт,
энергомеханический факультет,
кафедра автоматизации и информационных технологий,
Альметьевск, nalaeva@yandex.ru

**ОЦЕНКА РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ
(ПО ПЛОТНОСТИ)**

В работе приведена оценка разрешающей способности датчиков давления при определении плотности жидкости по давлениям, измеренным в двух точках. Оценка проводится для выбора аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Рассмотрены примеры определения плотности смеси по двум манометрам, которые показывают, что измеряя давление можно определять динамические уровни и плотности смеси общие и отдельно по компонентам, включая попутный газ.

Ключевые слова: датчики давления, разрешающая способность, определение плотности жидкости.

Одной из актуальных проблем нефтяной отрасли России является непрерывный контроль технологических параметров для выбора оптимального режима работы скважины. Более точное решение этой задачи приводит к повышению эффективности разработки нефтяных месторождений, а значит к увеличению их нефтедобычи и, следовательно, к повышению рентабельности эксплуатации нефтяных скважин.

На сегодняшний день существует множество методов и технологий исследования скважин, позволяющих определить состав протекающего флюида. Поставлены и решены задачи разработки информационной структуры информационно-измерительной системы и алгоритмов управления процессом добычи нефти [1,2].

Основными техническими характеристиками, определяющими качество скважинных приборов, и, в частности, глубинных манометров являются точность и разрешающая способность. В связи с этим оценим разрешающую способность датчиков давления (по плотности) для выбора аналого-цифрового преобразователя (АЦП) [3].

Исходные данные для расчета:

- диапазон измерения давления датчика – 100 атм.
- расстояние между датчиками – 10 м.
- плотность воды – 1000 кг/м^3 .
- плотность газированной (пластовой) нефти – 600 кг/м^3 .

Рассмотрим два варианта АЦП:

1. 12-ти разрядный, 4096 бит, диапазон в 16-ти разрядном исчислении 000H – FFFH;
2. 16-ти разрядный, 65536 бит, диапазон 0000H – FFFFH.

При использовании АЦП с верхним пределом измерения $100 \text{ атм.} = 100 \cdot 10^5 \text{ Па}$ цена одного бита цифрового эквивалента измеренного давления для 12-ти разрядного АЦП будет

$$C_{12} = \frac{100 \cdot 10^5}{4096} = 2441,4 \text{ Па / бит (или } C_{12} \approx 24,4 \text{ м.в.ст. / бит),} \quad (1)$$

для 16-ти разрядного АЦП –

$$Ц_{16} = \frac{100 \cdot 10^5}{6553} = 152,59 \text{ Па / бит} \text{ (или } Ц_{16} \sim 1,5 \text{ м.в.ст. / бит)}. \quad (2)$$

При плотности воды $\rho_e = 1000 \text{ ед.пл. (кг / м}^3\text{)}$, динамическом уровне $H_{дин} = 1000 \text{ м}$ и ускорении свободного падения $g = 10 \text{ м/с}^2$ давление на приёме насоса равно

$$P_1 = g \cdot H_{дин} \cdot \rho_e = 10 \cdot 1000 \cdot 1000 = 100 \cdot 10^5 \text{ кг/м} \cdot \text{с}^2 \text{ (Па)}. \quad (3)$$

Формула для определения плотности с помощью двух манометров P_1 и P_2 , расположенных на расстоянии $L = 10 \text{ м}$ имеет вид:

$$\rho = \frac{P_1 - P_2}{g \cdot L} \cdot Ц, \quad (4)$$

Где $Ц$ – цена одного бита цифрового эквивалента измеренного давления для определенного АЦП.

Определим разрешающую способность манометра по плотности на примерах:

1. Для воды при динамическом уровне $H_{дин} = 1000 \text{ м}$

– для 12-ти разрядного АЦП

$$P_1 = \frac{10 \cdot 1000 \cdot 1000}{Ц_{12}} = 4096 \text{ бит},$$

$$P_2 = \frac{10 \cdot 1000 \cdot 990}{Ц_{12}} = 4055,05 \text{ бит}.$$

Разность в битах $\Delta_{e1} = 4096 - 4055,05 = 40,95$ соответствует плотности воды на выходе данного АЦП.

– для 16-ти разрядного АЦП

$$P_1 = \frac{10 \cdot 1000 \cdot 1000}{Ц_{16}} = 65535,1 \text{ бит},$$

$$P_2 = \frac{10 \cdot 1000 \cdot 990}{Ц_{16}} = 64879,743 \text{ бит}.$$

Разность в битах $\Delta_{e2} = 65535,1 - 64879,743 = 655,357$ соответствует плотности воды на выходе данного АЦП.

2. Для пластовой нефти при $H_{дин} = 1000 \text{ м}$.

– для 12-ти разрядного АЦП

$$P_1 = \frac{10 \cdot 600 \cdot 1000}{Ц_{12}} = 2457,6 \text{ бит},$$

$$P_2 = \frac{10 \cdot 600 \cdot 990}{Ц_{12}} = 2433,03 \text{ бит}.$$

Разность в битах $\Delta_{n1} = 2457,6 - 2433,03 = 24,57$ соответствует плотности нефти на выходе данного АЦП.

– для 16-ти разрядного АЦП

$$P_1 = \frac{10 \cdot 600 \cdot 1000}{Ц_{16}} = 39321,056 \text{ бит},$$

$$P_2 = \frac{10 \cdot 600 \cdot 990}{Ц_{16}} = 38927,846 \text{ бит}.$$

Разность в битах $\Delta_{n2} = 39321,056 - 38927,846 = 393,21$ соответствует плотности нефти на выходе данного АЦП.

Таким образом, для 12-ти разрядного АЦП диапазону изменения плотности на 400 ед.пл. соответствует разность в битах $\Delta_{\text{ен1}} = 40,95 - 24,57 = 16,38$, т.е. 1-му биту соответствует 24,42 ед.пл. Разрешающая способность равна

$$\varepsilon = \frac{\rho_{\text{бит}} \cdot 100\%}{\rho_{\text{е}}} = \frac{24,42 \cdot 100\%}{1000} = 2,442\%.$$

Для 16-ти разрядного АЦП диапазону изменения плотности на 400 ед.пл. соответствует разность в битах $\Delta_{\text{ен2}} = 655,357 - 393,21 = 262,47$, т.е. 1-му биту соответствует 1,526 ед.пл. Разрешающая способность равна

$$\varepsilon = \frac{\rho_{\text{бит}} \cdot 100\%}{\rho_{\text{е}}} = \frac{1,526 \cdot 100\%}{1000} \approx 0,15\%.$$

Рассмотрим примеры определения плотности смеси по двум манометрам:

1. Пусть в межтрубном пространстве 10 метров воды и выше ещё 500 метров пластовой нефти. Тогда столб нефти создаёт давление

$$P_2 = P_n = g \cdot \rho_n \cdot 500 = 30 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$

Столб воды создает давление

$$P_{\text{е}} = g \cdot \rho_{\text{е}} \cdot 10 = 10^5 \text{ Па}.$$

Давление на приеме насоса

$$P_1 = P_B + P_2 = g \cdot \rho_{\text{см}} \cdot 510 = 10^5 + 30 \cdot 10^5 = 31 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$

Отсюда получаем плотность смеси

$$\rho_{\text{см}} = \frac{31 \cdot 10^5}{10 \cdot 510} = 607,843 \text{ кг/м}^3.$$

Кроме того, плотность смеси на 10-ти метровом участке

$$\rho_{10} = \frac{P_1 - P_2}{g \cdot 10} = \frac{10^5}{10 \cdot 10} = 1000 \text{ ед.пл.}$$

2. Пусть в межтрубном пространстве 210 метров воды и выше ещё 300 метров пластовой нефти. Тогда столб нефти создаёт давление

$$P_n = g \cdot \rho_n \cdot 300 = 18 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$

Столб воды создает давление

$$P_{\text{е1}} = g \cdot \rho_{\text{е}} \cdot 210 = 21 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$

Давление на приеме насоса

$$P_1 = P_{\text{е1}} + P_n = g \cdot \rho_{\text{см}} \cdot 510 = (21 + 18) \cdot 10^5 = 39 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$

Отсюда получаем плотность смеси

$$\rho_{\text{см}} = \frac{P_1}{g \cdot 510} = \frac{39 \cdot 10^5}{10 \cdot 510} = 764,7 \text{ кг/м}^3.$$

Кроме того, измеряя давление в межтрубном пространстве верхним датчиком

$$P_2 = P_{\text{е1}} + P_n = 38 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$

получаем плотность смеси на 10 метровом участке

$$\rho_{10} = \frac{P_1 - P_2}{g \cdot 10} = \frac{10^5}{10 \cdot 10} = 1000 \text{ ед.пл.}$$

Примеры показывают, что измеряя давления датчиками P_1 и P_2 , можно определять динамические уровни и плотности смеси общие и отдельно по компонентам, включая попутный газ.

При недостаточной разрешающей способности можно применить структурные методы ее повышения. Например, разрешающую способность по плотности можно значительно улучшить при использовании «грубого» АЦП (8, 10 или 12 разрядов), если схмотехнически

осуществить усиление разности напряжений в 10 раз с выходов мостовых схем датчиков давления с помощью высокоточного дифференциального операционного усилителя и усиленный сигнал с выхода операционного усилителя «подать» на вход АЦП.

Список литературы

1. *Нестеренко М.Г.* Разработка методики определения состава жидкости в скважине на основе термогидродинамических исследований: дис. ... канд. техн. наук / БашГУ – Уфа, 2007. – 20с.
2. *Южанин В.В.* Исследование и разработка метода измерения и информационно-измерительной системы расхода многофазных потоков нефтегазовых скважин: дис. ... канд. техн. наук / РГУНиГ им. И.М. Губкина – Москва, 2010. – 24с.
3. *Алаева Н.Н.* Разработка системы управления процессом добычи нефти за счет измерения давления в контрольных точках скважины: дис. ... канд. техн. наук / ИжГТУ им. М.Т. Калашникова – Ижевск, 2020. – 21с.

2.3.3.

В.В. Дорошенко, А.В. Просвилов, С.В. Литвинов

МИРЭА - Российский технологический университет,
Институт радиоэлектроники и информатики
кафедра Радиоэлектронных систем и комплексов,
doroshenko_v@mirea.ru, prokofiev-a@mail.ru, Litvinov_S@mirea.ru

**ОРГАНИЗАЦИЯ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ
НА БАЗЕ БПЛА ПОСРЕДСТВОМ УПРАВЛЕНИЯ С БАЗОВОЙ СТАНЦИИ**

В настоящее время в системах БПЛА применяются различные типы связи приема и передачи данных. В данной работе рассматривается модель поведения комплекса АФАР-БПЛА. Производится определение необходимых параметров для навигации и обнаружения наземных, воздушных и морских объектов.

Ключевые слова: АФАР, БПЛА, антенна, дрон, радиолокация, навигация.

Введение. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) практически бесперебойно работают в условиях высоких перегрузок, и там, где человеческий организм попросту не в состоянии выдержать перегрузки в 9G, дрон должен продолжать работу. В данной статье предложена теоретическая разработка системы фазированной антенной решетки (ФАР) на основе приемо-передающих дронов БПЛА. Актуальность исследования заключается в разработке мобильной и надежной системы, включающей комплекс АФАР-БПЛА (целевые БПЛА).

Для управления комплексом используется наземная станция радиотелеметрии и управления, которая осуществляет непрерывную радиосвязь с активной фазированной антенной решеткой на базе беспилотных летательных аппаратов (сокр. АФАР-БПЛА) посредством БПЛА коптерного типа с дуплексным устройством связи. Схема работы системы, включающей комплекс АФАР-БПЛА приведена на рисунке 1.

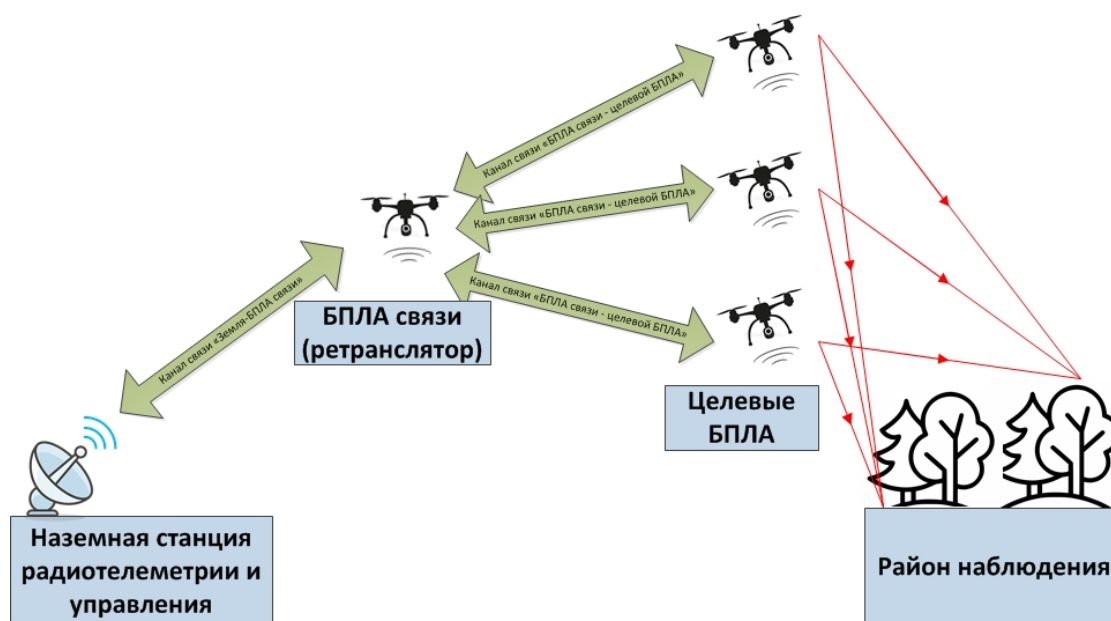


Рис.1 – Организация управления предлагаемой системы

Назначение. В общем виде АФАР - БПЛА обеспечивает:

1. Прием сигналов команд управления АФАР - БПЛА от наземного пункта управления;
2. Обработку, разделение и передачу полученных команд управления на каждый отдельный БПЛА (целевой БПЛА) в составе АФАР, а также на резервные БПЛА. К командам управления относятся: команды пространственной коррекции главного лепестка диаграммы направленности антенны; команды управления главным лепестком диаграммы направленности антенны по азимуту и углу места; команды управления сдвига фаз; команды на взлет и замену резервными БПЛА основных, вышедших из строя вследствие ограничения времени работы.
3. Прием от каждого отдельного БПЛА из состава АФАР необработанной информации (модулированных особым образом сигналов) с приемных каналов (телеметрическую информацию) и передачу ее на пункт управления;
4. Прием от каждого отдельного БПЛА из состава АФАР служебной информации (кинематические параметры, остаток заряда, результаты внутреннего функционального контроля (ФК) и др.) и передачу ее на пункт управления.

Управление и передачу телеметрической информации АФАР-БПЛА осуществляется с помощью дуплексной радиосвязи на частотах 915-928 МГц по CAN-протоколу. Такая частотная полоса обеспечивает скорость обмена информацией между наземной станцией и БПЛА связи, которая в свою очередь обеспечивает связь с АФАР-БПЛА.

Поскольку высота антенн наземной станции не превышает 6 метров, то по мере приближения целевых БПЛА к району наблюдения, расстояние прямой видимости будет уменьшаться, которая, в свою очередь, влияет на точность т.е. при высоте полета менее 50 м, связь будет поддерживаться менее чем на 40 км, в то время как БПЛА связи при высоте полета 100 метров способны обеспечить управление целевыми БПЛА на дальности до 60 км прямой видимости при оптимальных параметрах приемо-передающих устройств.

Определение параметров. Параметрами, необходимыми для устойчивой радиосвязи между элементами комплекса являются: мощность передатчиков и чувствительность приемников (динамический диапазон) [2].

Динамический диапазон к входному сигналу приемников относительно уровня собственных шумов в полосе 50 кГц составляет не менее 80 дБ, что достаточно для устойчивого приема сигнала и обнаружения его на фоне помех и собственных шумов.

Ослабление сигнала в атмосфере вычисляется по формуле:

$$L = 20 \cdot \lg(4 \cdot \pi \cdot R \cdot f) \quad (1)$$

где: R - расстояние между передатчиком и приемником;
 f - рабочая частота.

Таким образом при радиосвязи «наземный пункт - БПЛА связи» на частоте 915 МГц ослабление сигнала составит 71.63 дБ, а при радиосвязи «БПЛА связи - АФАР-БПЛА» на дальности 40 км ослабление сигнала - 124 дБ.

Из вышеизложенного можно сделать вывод что на частотах 915-928 МГц и дальности до 40 км возможно организовать устойчивую радиосвязь.

Организация управления. Радиосвязь между по каналам «наземная станция - БПЛА связи», «БПЛА связи - АФАР-БПЛА» целесообразно организовать по CAN-протоколу.

Рисунок 1 – Организация управления комплексом АФАР-БПЛА. Сравнивая CAN-протокол с RS-485 можно сделать вывод, что в системах «точка-точка» в выигрыше оказывается последний за счет высокой скорости и простого кадра, однако в мультиузловых системах с возможными коллизиями связи явное преимущество остается за CAN-протоколом. Связь по CAN-протоколу организована по принципу, приведенному на рисунке 2.

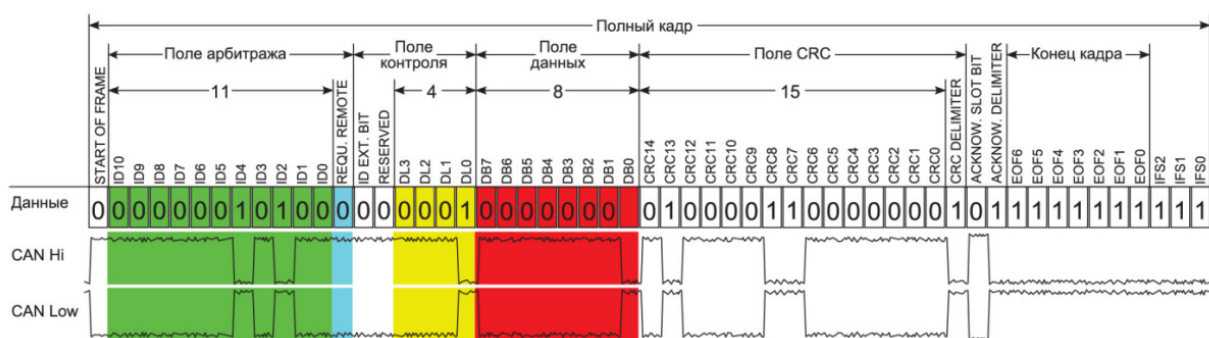


Рис. 2 – Формат кадра передачи данных CAN-протокола

С наземной станции на БПЛА связи передаются пакеты данных в формате CAN FD (расширенный объем данных - 64 байта), а на АФАР-БПЛА с БПЛА связи передается стандартный CAN (объем данных - 8 байт) т.е. в каждом пакете с наземной станции посылается информация для 8 БПЛА из состава АФАР. При этом БПЛА связи не тратит информационные и временные ресурсы на анализ и обработку сигналов, а лишь осуществляет перекомпоновку пакетов и передачу их потребителям. Тогда, при составе АФАР от 10 до 30 единиц БПЛА, понадобится от 2 до 4 пакетов от наземной станции для однократной передачи команд.

Основной отличительной особенностью CAN-протокола является заложенная возможность идентификации пакета. Т.е. переданный в эфир пакет будет принят всеми БПЛА - АФАР, однако лишь один из них, с нужным идентификатором его обработает. В обратную сторону БПЛА связи будет принимать от АФАР - БПЛА пакеты с телеметрической информацией поочередно, затем компоновать в один пакет и передавать на наземную станцию.

Пакеты с запросом служебной информации (состояние БПЛА) передаются по отдельной команде с наземного пункта, в промежутки времени между измерениями, с требуемой частотой.

Для обеспечения надежного приёма-передачи информации необходимо рассчитать минимальную высоту подъёма БПЛА связи.

Заданный диапазон длин волн позволяет пренебречь явлением рефракции, т.к. длина волны мала по сравнению с геометрической кривизны Земной поверхности. Рассчитаем геометрическую дальность прямой видимости цели:

$$R_{ПВ}[\text{км}] = 3,57 \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \quad (2)$$

где: $h_1 = 100$ м - высота полета АФАР - БПЛА;

$R_{ПВ} = 40$ км – заданная дальность обнаружения.

Тогда необходимая высота полёта БПЛА связи $h_2 = 100$ м.

В формуле используется коэффициент 3,57 (в ряде литературы [7] можно встретить формулу с коэффициентом 4,12. Коэффициент 4,12 рассчитан для метровых волн с учетом рефракции). Радиоволны диапазона L (0,39–1,55 ГГц) и S (1,93–2,70 ГГц) практически не способны проникать за видимый горизонт и коэффициент для них, конечно, меньше. В общем случае расчет ведется при условии, что на всей длине трассы нет никаких препятствий, что, конечно, не так. При наличии препятствий для радиоволны, расстояние значительно сокращается (около 300-500 м). [1, 3, 4]

В системе осуществляется радиорелейная связь прямой видимости (рисунок 3). Комплекс управляется БПЛА, который находится на заданном расстоянии 40 км от АФАР – БПЛА и на высоте 100 м от станции управления [6].

Прямая видимость - необходимое, но недостаточное условие для устойчивой радиосвязи на высоких частотах. Необходимо учитывать наличие посторонних экранирующих помех по трассе, именно поэтому расчетная дальность прямой видимости берется с запасом, более 40 км. Также на устойчивость радиосвязи влияют параметры приема-передающих устройств.

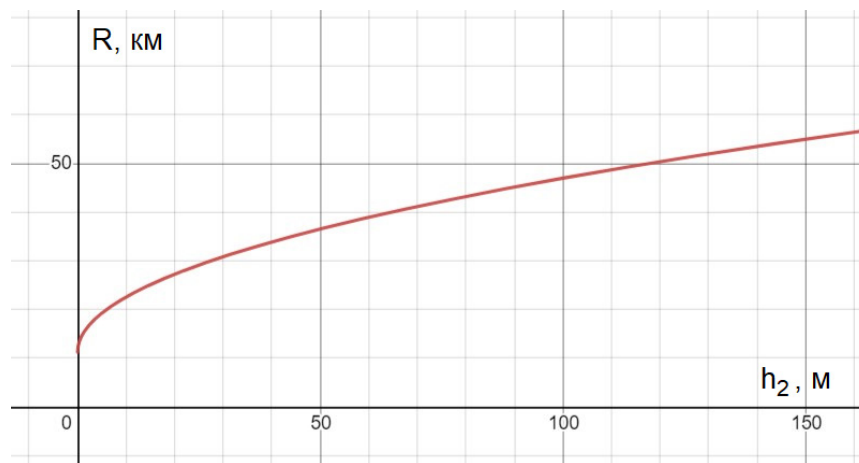


Рис. 3 – Расчет дальности радиопередачи АФАР – БПЛА в зависимости от высоты нахождения БПЛА связи на дальности до 40 км

При подъёме БПЛА связи на высоту 100 м данная система управления удовлетворяет заданному расстоянию и может использоваться не только в качестве обнаружения и навигации.

Параметры радио-передатчиков. Для организации устойчивой радиосвязи необходимо рассчитать характеристики радиопередатчиков и радиоприемников, используемых в организации комплекса АФАР – БПЛА.

При организации устойчивой радиосвязи для управления отдельного БПЛА необходимо на каждый БПЛА установить передатчик и приемник с определенными характеристиками. Для уменьшения себестоимости разработки и производства целесообразно устанавливать на все БПЛА однотипные приемники и передатчики, а значит их параметры должны быть рассчитаны с запасом для ситуаций наихудшего характера.

В радиосвязи управления АФАР – БПЛА используется частотная модуляция (ЧМ), которая, в отличие от амплитудной модуляции (АМ), более защищена от импульсных помех.

В данном случае целесообразно применять широкополосную частотную модуляцию с девиацией 50 кГц, поскольку необходимо передавать большой массив управляющей информации и принимать большие данные телеметрической информации, на расстояние до 40 км.

Мощность выходного сигнала передатчика должна коррелироваться с чувствительностью приемника и, с учетом ослабления сигнала на расстоянии прямой видимости, обеспечивать устойчивую связь.

При мощности передатчика 50 Вт (47.0 дБм) и ослаблении сигнала 124 дБ, на приемник поступит напряжением 31.59 мкВ (-77 дБм). При этом чувствительность приемника составляет 3 мкВ, т.е. пришедший сигнал будет выше чувствительности приемника на 29.1 дБм. Принятый сигнал будет гарантированно определен над уровнем шумов и обработан программно. В таком случае обеспечивается устойчивый прием команд АФАР – БПЛА и пакетов телеметрической информации БПЛА связи.

Выходное сопротивление передатчика выбирается с учетом мощности, которую допустимо подать на антенну.

Например, для того чтобы излучить мощность $P = 50$ Вт на антенне с сопротивлением $R = 100$ Ом, необходимо приложить напряжение:

$$U = \sqrt{P \cdot R} = \sqrt{50 \text{ Вт} \cdot 100 \text{ Ом}} = 70,71 \text{ В} \quad (3)$$

При этом через него будет протекать ток величиной:

$$I = P / U = 50 \text{ Вт} / 70,71 \text{ В} = 0,71 \text{ А} \quad (4)$$

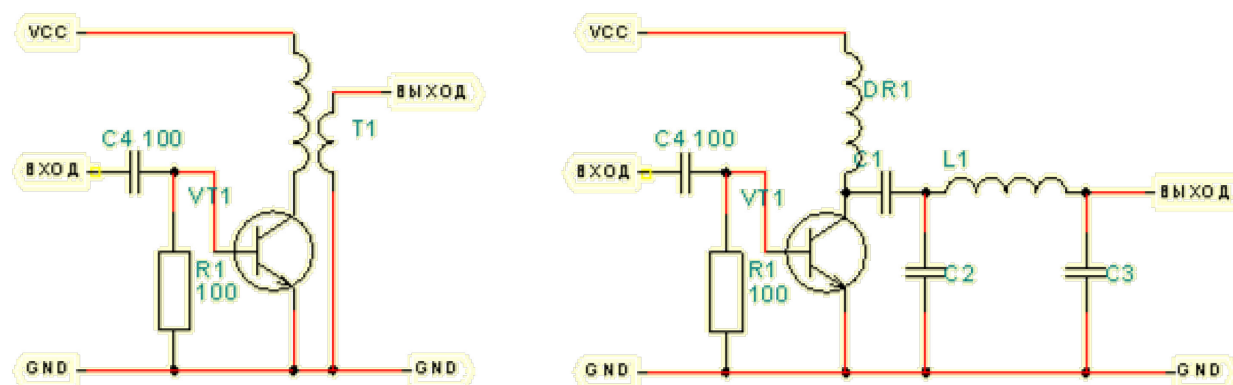
Выходное сопротивление передатчика должно согласовываться с сопротивлением антенны.

Поскольку на практике измерить сопротивление антенны крайне сложно, а расчет не даст фиксированного значения, применим схему согласования.

Наиболее распространены две схемы согласования: на основе трансформатора и на основе П-фильтра. Схемы согласования ставятся на выходной каскад усилителя и выглядят так, как показано на рисунке 4 [5].

Настройка выходного сопротивления трансформаторной схемы осуществляется изменением количества витков обмотки, поэтому применим схему согласования П-фильтром, в которой регулируется индуктивность $L1$ и емкость $C3$.

Также необходимо согласование приемной антенны с входным сопротивлением приемника, которое производится при помощи входного колебательного контура. Антенна подключается либо к части витков контура, либо через индуктивность связи, либо через конденсатор, в зависимости от схемы включения.



(слева – трансформаторная, справа – на основе П-фильтра)

Рис. 4 – Схемы согласования нагрузки

Для анализа появления гармоник (длительно существующие в энергосистеме волны, которые суммируются с основной частотой, искажая исходную форму сигнала всплесками, провалами и постоянным присутствием шумов) изменяющих исходную форму сигнала необходимо рассчитать коэффициент нелинейных искажений.

Коэффициент нелинейных искажений (КНИ) показывает изменения сигнала излучаемого передатчиком.

В случае передатчика, искажения, как правило, возникают если усилительный транзистор работает на нелинейном участке передаточной характеристики, т.е. при равных изменениях тока базы, изменение тока коллектора не равны. Это может быть в двух случаях:

1. На транзистор подан недостаточный ток смещения. То есть, при отсутствии сигнала он полностью закрыт, а открываться начинает лишь с возрастанием уровня сигнала. При этом, у выходной синусоиды получаются «спиленными» низы.

2. Амплитуда входного сигнала слишком велика и необходимый коллекторный ток не может быть обеспечен. При увеличении тока базы, коллекторный ток будет возрастать до определённого предела, а дальше он не увеличится, сколько бы мы не увеличивали ток базы.

Кроме таких характерных искажений, возникают и другие всевозможные нелинейные искажения сигнала. Для борьбы с искажениями применяют фильтры нижних частот (ФНЧ), поскольку частоты гармоник выше частоты полезного сигнала. ФНЧ пропускает основную частоту и «вырезает» все частоты, которые выше основной. Как правило ФНЧ выбирают активным так как для линейности фазо-частотной характеристики в полосе пропускания фильтра пассивные ФНЧ не способны обеспечить корректную обработку сигнала.

Заключение. В статье рассмотрены необходимые параметры для организации системы, включающей комплекс АФАР-БПЛА. Проведены расчеты, необходимые для надежной передачи и приема информации. Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям (ФСИ) в рамках Договора 94С2/МОЛ/73887 от 25.03.2022г.

Список литературы

1. Канатников А.Н., Шмагина Е.А. Задача терминального управления движением летательного аппарата // Нелинейная динамика и управление, 2010. Вып.7 С. 79-94;
2. Канатников А.Н., Крищенко А.П., Ткачев С.Б. Допустимые пространственные траектории беспилотного летательного аппарата в вертикальной плоскости // Наука и образование, 2012;
3. Красовский Н.Н. Теория управления движением. Линейные системы. М.: Наука, 1968;
4. Крутько П.Д. Обратные задачи динамики управляемых систем. Нелинейные модели. М.: Наука, 1988. С. 9-18;
5. Крутько П.Д. Обратные задачи динамики в теории автоматического управления. М.: Машиностроение, 2004. С. 406;
6. Моисеев В.С. Прикладная теория управления беспилотными летательными аппаратами: монография. Казань: ГБУ Серия «Современная прикладная математика и информатика», 2013. С. 253 – 308;
7. Хакимов А.Ф. Разработка системы управления удержанием БПЛА на расчетной траектории // СПбГУ, 2016.
8. Дорошенко В.В., Просвилов А.В., Ярлыков А.Д. Осуществление радиоприема и передачи информации между наземной станцией посредством управления и ФБПЛА-антенной // Сборник научных статей по материалам VI Международной научно-практической конференции «Радиоинфоком-2022, г. Москва, РТУ МИРЭА: сборник научных статей. – М.: МИРЭА – Российский технологический университет, 2022. - С 152-158.

2.3.3.

¹Л.Д. Ибрагимов, ²И.И. Нуреев,
^{2,3}Рин.Ш. Мисбахов, ²В.В. Садчиков, ²Л.М. Сарварова

¹ООО «НПК «Сенсорика»,
Сколково,

²Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ,
кафедра радиопотоники и микроволновых технологий,
Казань, OGMorozov@kai.ru,

³Университет Иннополис,
Иннополис

МАКЕТИРОВАНИЕ БРЭГГОВСКОГО ОПТИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ТРАНСФОРМАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ

Высоковольтные оптические трансформаторы напряжения (ОТН) и тока (ОТТ) появились на рынке несколько лет назад, открыв новую эру учета электроэнергии в энергетике и промышленности, как постоянного, так и переменного тока. Принципы работы одного типа ОТТ/ОТН основаны на явлении вращения плоскости поляризации света в продольном магнитном поле, открытом Фарадеем (1831 г.). В данной работе впервые проанализированы ОТТ/ОТН функциональная схема и волоконно-оптическая конструкция которых основана на законе Ампера (1820 г.), свободного от недостатков известных устройств, использующих закон Фарадея. Однако определены недостатки схемы Ампера, которые пока не позволяют им заменить схемы Фарадея в ОТТ/ОТН. В результате использована схема на эффекте электрострикции.

Ключевые слова: *оптический измерительный трансформатор напряжения/тока; закон Фарадея; закон Ампера, электрострикция в оптических волокнах; трехкомпонентная адресная волоконная брэгговская структура; макет.*

Введение. Рассмотрим основные эффекты, на которых могут быть построены ОТТ/ОТН.

Эффект Фарадея. Если ток $i=0$, то интенсивность наблюдаемого света, прошедшего через ячейку Фарадея, равна нулю, а если $i \neq 0$, то вместо гашения света наблюдается свет $I = (I_0/2) \cdot \sin^2(H \cdot K)$, где $K = V \cdot L \cdot \cos \beta$ – постоянная величина. Величину напряженности магнитного поля и, следовательно, величину тока i в катушке можно найти, если измерить угол поворота плоскости поляризации α . Для этого поворачивают поляризатор и находят такой угол поворота θ , при котором снова будет наблюдаться гашение света.

Тогда уравнение для наблюдаемого света будет выглядеть следующим образом

$$I = (I_0/4) [1 - \cos 2(\alpha - \theta)] = (I_0/2) \sin^2(\alpha - \theta), \quad (1)$$

В моменты $\alpha = \theta$ можно определить угол поворота плоскости поляризации α ячейкой Фарадея и таким образом найти величину тока $i = \alpha / \omega \cdot K$, где: ω – количество витков катушки.

Такой метод измерения тока (используется часто) имеет существенные недостатки:

- низкая точность измерения угла α потому, что компенсация угла α поворотом поляризатора всегда происходит в нижнем экстремуме функции $\sin^2(\alpha - \theta)$, где наименьшая ее крутизна;

- требуется угломерное устройство, а перемещать поляризатор, т.е. как-то изменять θ , неприемлемо в условиях высоковольтных ЛЭП.

Эффект Ампера. Закон Ампера – закон взаимодействия электрических токов. Впервые был установлен Андре Мари Ампером в 1820 году для постоянного тока. Из закона Ампера следует, что параллельные проводники с электрическими токами, текущими в одном

направлении, притягиваются, а в противоположных – отталкиваются. Наиболее известным примером, иллюстрирующим силу Ампера, является следующая задача. В вакууме на расстоянии r друг от друга расположены два бесконечных параллельных проводника, в которых в одном направлении текут токи I_1 и I_2 . Требуется найти силу, действующую на единицу длины проводника.

Интегрируя токи по участку проводника длины L (пределы интегрирования по l от 0 до L) получим силу:

$$F_{12} = -F_{21} = (\mu_0/4\pi)(2I_1I_2/r)L, \quad (2)$$

Если L – единичная длина, то это выражение задаёт искомую силу взаимодействия. Ампер, являющийся одной из основных единиц СИ, определяется в ней как «сила неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового поперечного сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 метр один от другого, вызвал бы на каждом участке проводника длиной 1 метр силу взаимодействия, равную $2 \cdot 10^{-7}$ ньютона. Тогда задача измерения тока на эффекте Ампера (практически не используется) будет сведена к измерению линейного перемещения двух проводников навстречу друг с другом (или наоборот) с помощью оптических методов. Однако, трудность будет вызвана невозможностью подбора преднатяжения волоконной брэгговской решетки и ее провисания при изменении силы тока. Это не позволяет пока заменить схему Фарадея в ОТТ/ОТН.

Эффект электрострикции. На основе анализа различных эффектов и с учетом работ [1-3] предложена функциональная схема и конструкция ОТТ/ОТН на базе эффекта электрострикции (применяется не часто), свободные от недостатков известных устройств на эффектах Фарадея и Ампера.

Описание макета. Для апробации предложенного ОТТ/ОТН был изготовлен лабораторный стенд (рис. 1). Он состоит из повышающего однофазного трансформатора 1 с коэффициентом 1:5, киловольтметра спектрального цифрового КВЦ-120, в состав которого входят делитель 2 и устройство индикации (на рисунке не показано), высоковольтной камеры 3 с размещенным ОТН/ОТТ 4 на основе трехкомпонентной адресной волоконной брэгговской структуры [4-6], автотрансформатора 5 для регулирования напряжения, оптоэлектронного преобразователя 6 от ОТН/ОТТ к ПК.

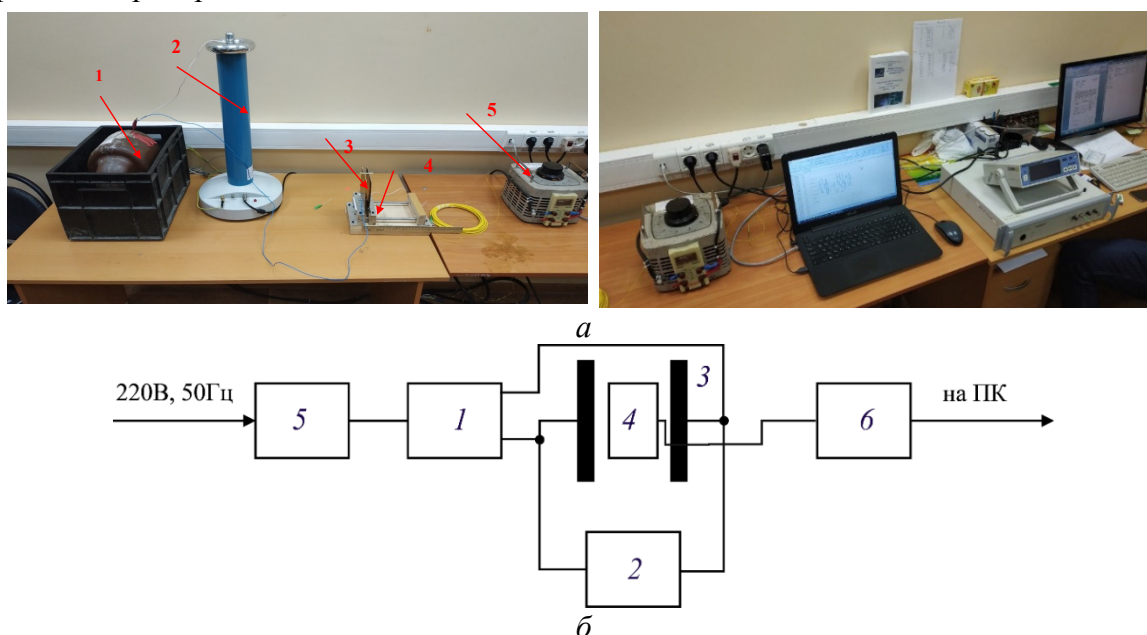


Рис. 1 – Измерительная установка: а – внешний вид; б – структурная схема

Обработка результатов измерений. Отклик датчика (рис. 2), оцифрованный и переданный на ПК, является набором точек сигнала полигармонического характера, имеющего в своем составе: полезный сигнал на частоте 100 Гц (удвоенная частота сети, что

связано с принципом работы электрострикции) и шумовые составляющие на произвольных частотах (вибрационные и температурные шумы).

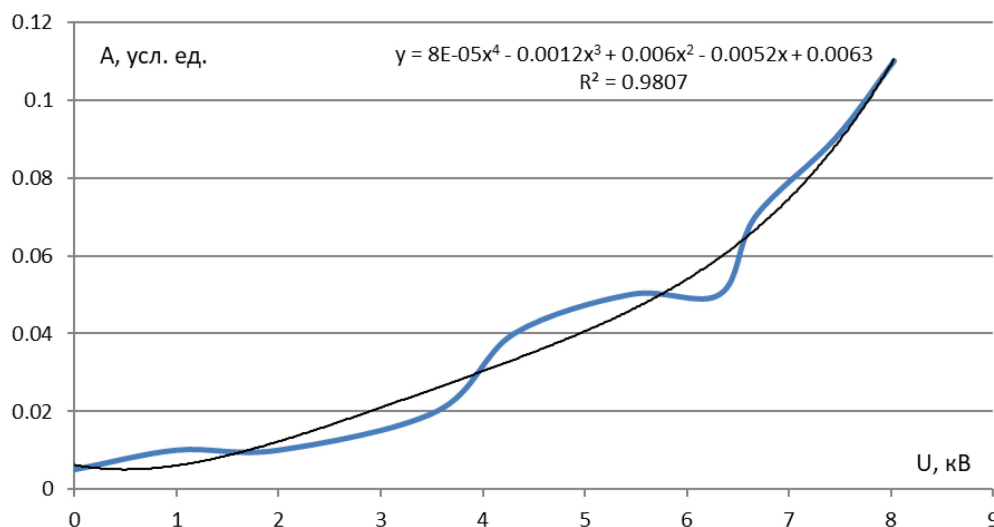


Рис. 2 — Измеренная характеристика (толстая линия) и аппроксимирующая кривая (тонкая линия) сдвига длины волны ТАВБС (A), погруженной в переменное электрическое поле (U)

Задача анализа сигнала заключается в выделении полезной составляющей — нахождении максимумов гармоник на 100 герцах.

Были сняты 22386 точек с АЦП с частотой следования 0,014 секунд. Для выделения полезного сигнала необходимо вычесть постоянный уровень (заданное смещение) — 2,5 В и выполнить быстрое Фурье-преобразование (БПФ). Осуществляется выборка $2^6 = 64$ чисел из полученного массива данных, за каждую следующую итерацию диапазон смещается на один элемент.

Заключение. Проведенные испытания показали, что наблюдаемый в ходе приложенного напряжения сдвиг длины волны происходит на удвоенной частоте (вследствие квадратичности эффекта), а амплитуда смещения меняется в диапазоне 0,01 ... 0,11 усл. ед. при изменении прикладываемого напряжения от 0 до 8 кВ. Для проведения дальнейших исследований требуется более подробное исследование схем ОТН/ОТТ на эффекте Ампера, построенных на волоконно-оптических технологиях.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования в рамках исполнения обязательств по Соглашению №075-03-2020-051 (fzsu-2020-0020) и программы Приоритет-2030.

Список литературы

1. *Ибрагимов Л.Д. и др.* Анализ применения оптических измерительных трансформаторов напряжения. Научно-технический вестник Поволжья. 2022. № 8. С. 73-75.
2. *Ибрагимов Л.Д. и др.* Математическая модель и анализ структуры брэгговского оптического измерительного трансформатора напряжения. Научно-технический вестник Поволжья. 2022. № 8. С. 76-79.
3. *Ибрагимов Л.Д. и др.* Имитационное моделирование и макетирование высоковольтной камеры брэгговского оптического измерительного трансформатора напряжения. Научно-технический вестник Поволжья. 2022. № 9. С. 76-79.
4. *Мисбахов Рус.Ш. и др.* Волоконные брэгговские решетки с двумя фазовыми сдвигами как чувствительный элемент и инструмент мультиплексирования сенсорных сетей // Инженерный вестник Дона. 2017. Т. 46. № 3 (46). С. 24.
5. *Морозов О.Г., Сахабутдинов А.Ж.* Адресные волоконные брэгговские структуры в квазираспределенных радиофотонных сенсорных системах // Компьютерная оптика. 2019. № 4. С. 535-543.
6. *Аглиуллин Т.А. и др.* Многоадресные волоконные брэгговские структуры в радиофотонных сенсорных системах // Труды учебных заведений связи. 2020. Т. 6. № 1. С. 6-13.

2.3.3.

В.И. Курир канд. техн. наук

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева – КАИ,
институт автоматики и электронного приборостроения,
кафедра электрооборудования,
Казань, kurir_valerian@mail.ru

ГИДРОГЕНЕРАТОР ДЛЯ КАМСКОЙ ГЭС

В работе приведен расчет гидрогенератора мощностью $S_H = 34,45$ МВА ($P_H = 29,92$ МВт), предназначенного для действующих на Камской ГЭС 23 поворотно-лопастных гидротурбин ПЛ20–В–500, максимальная мощность которых достигает $28 \div 29$ МВт, взамен действующего гидрогенератора ВГС–700/100–48 $S_H = 30$ МВА ($P_H = 24$ МВт). Последний проектировался, в первую очередь, для работы с поворотно-лопастными гидротурбинами мощностью 24 МВт, функционирующих ранее на Камской ГЭС.

Ключевые слова: гидрогенератор, поворотно–лопастная турбина.

Камская ГЭС в сентябре 2019 г. отметила 65–летие ввода в эксплуатацию первых гидроагрегатов. Это первая отечественная ГЭС, где завершается программа комплексной модернизации, реализующаяся ПАО «РусГидро». В результате замены и реконструкции оборудования произошел прирост установленной мощности станции на 69 МВт до 552 МВт; КПД турбин увеличился на 2,8–3,2%; дополнительная выработка электроэнергии в межень составляет $\Delta E = 50,7$ млн кВт*ч в год; пропускаемый расход через новую гидротурбину на 20 м³/с больше, чем у старых турбин [1].

Камская ГЭС является первой ступенью Камского каскада, который включает в себя три крупные электростанции: Камскую, Воткинскую и Нижнекамскую ГЭС.

На ГЭС установлены 23 гидроагрегата мощностью 24 МВт. На агрегатах применяются поворотно–лопастные гидротурбины ПЛ–20–ВБ–500, синхронные гидрогенераторы типа ВГС–700/100–48 номинальной мощностью 24 МВт – с тиристорной системой возбуждения. Данные гидрогенераторы изготовлены на заводе «Уралэлектроаппарат». Скорость вращения – 125 об/мин.

На ГЭС эксплуатируется два типа гидротурбин:

а) типа ПЛ20–В–500 (18 гидротурбин ст. №№ 1–8, 11–16, 18–21) максимальной мощностью 28 МВт, изготовленные на ОАО «Турбоатом», введены в эксплуатацию в 1997–2015 гг.;

б) типа ПЛ20–В–500 (5 гидротурбин ст. №№ 9, 10, 17, 22, 23) максимальной мощностью 29 МВт, изготовленные на АО «ТЯЖМАШ», введены в эксплуатацию в 2009–2013 гг.

Ввиду превышения максимальной активной мощности гидротурбин над активной мощностью гидрогенератора, мощность гидротурбин приходится уменьшать и подстраивать их под мощность гидрогенератора ВГС –700/ 100 –48. Для этого используются 2 стандартных приема – изменение угла установки лопастей рабочего колеса, а также, изменение степени открытия турбины [2].

На ГЭС установлены две трансформаторные группы 1Т, 2Т напряжением 110 кВ, состоящие из трех однофазных трансформаторов типа ОДГ-63333/110/10, и две трансформаторные группы 3Т, 4Т напряжением 220 кВ, состоящих из трех однофазных трансформаторов типа ОРДЦ 63300/220/10. На ОРУ установлен автотрансформатор связи напряжением 220/110/10,5 кВ типа АДЦТН–200000/220/110/10,5.

Распределение мощности осуществляется через ОРУ–220 кВ с четырьмя отходящими линиями, ОРУ–110 кВ с восемью отходящими линиями, ОРУ 110 кВ правого берега с двумя отходящими линиями.

Чтобы поднять мощность гидроагрегата необходимо спроектировать новый гидрогенератор, обслуживающий гидротурбины с максимальной мощностью 29 (28 МВт). Несмотря на тщательный поиск, автор не нашел в справочной технической литературе, в пресс-релизах специализированных предприятий гидрогенератор, удовлетворяющий сразу трем критериям: номинальной мощности, количеству пар полюсов, скорости вращения гидрогенератора (турбины).

Установка проектируемого в работе гидрогенератора позволит увеличить суммарную активную мощность гидрогенератора на $4 \div 5$ МВт, а годовую выработку электроэнергии гидрогенератора – до $43,2 \cdot 10^6$ кВт · ч.

В работе автором приведены результаты инженерного поверочного расчета гидрогенератора, вырабатывающего активную электрическую мощность 29.96 МВт. Общие потери активной мощности в гидрогенераторе достигают $0,716 \div 0,75$ МВт. При цене продажи электроэнергии управляющим компаниям 2 рубля за кВт · ч ГЭС сможет получить до 86,4 миллиона рублей дополнительной прибыли в год с одного генератора.

Стоимость установленного в 2015 году гидрогенератора Нижегородской ГЭС (единичная мощность агрегата 72,50 МВт) с учетом корректирующего коэффициента составила 551.785 миллионов рублей без НДС (в ценах первого квартала 2015 года) [3]. Соответственно, по истечении $7 \div 8$ лет затраты на изготовление и покупку новых модернизированных гидрогенераторов для Камской ГЭС окупятся полностью.

Приводим основные данные гидрогенератора:

Полная мощность гидрогенератора $S_{\text{ном}} = 34,45$ МВА.

Активная мощность гидрогенератора $P_{\text{н}} = S_{\text{н}} \cos \varphi_{\text{н}} = 37,45 \text{ МВА} \cdot 0,8 = 29,96$ МВт.

Номинальное линейное и фазное напряжение $U_{\text{нл}} = 10500$ В, $U_{\text{фн}} = 6062,178$ В.

Номинальный фазный ток $I_{\text{н}} = 2059,216$ А.

Номинальный коэффициент мощности $\cos \varphi_{\text{н}} = 0,8$.

Номинальная частота вращения поворотно-лопастной турбины $n_{\text{вр}} = 125$ об/мин.

Число пар полюсов гидрогенератора $2p = 48$.

Внутренний диаметр сердечника статора $D = 7,8$ м.

Наружный диаметр статора $D_a = 8,3131$ м.

Длина магнитопровода статора $l_1 = 0,9977$ м.

Для магнитопровода статора выбрана двухслойная стержневая волновая обмотка статора с двумя эффективными проводниками в пазу с дробным числом пазов на полюс и фазу.

Число параллельных ветвей $a_1 = 1$.

Число пазов на полюс и фазу $q_1 = 2\frac{1}{3}$.

Число пазов статора $Z_1 = 336$.

Ширина паза статора $b_{\text{п}} = 0,03116$ м.

Высота паза статора $h_{\text{п}} = 0,11344$ м.

Число элементарных проводников в стержне $c_3 = 26$.

Минимальный зазор между статором и ротором генератора $\delta = 0,0236$ м.

Максимальный зазор между статором и ротором генератора $\delta = 0,0354$ м.

Высота полюсного наконечника $h_p = 0,0483$ м.

Ширина полюсного наконечника $b_p = 0,3676$ м.

Радиус дуги полюсного наконечника $R_p = 1,0469$ м.

Ширина сердечника полюса $b_m = 0,2671$ м.

Высота сердечника полюса $h_m = 0,2567$ м.

Длина сердечника полюса $l_m = 1,0181$ м.

Внешний диаметр обода ротора $D_{a2} = 7,1428$ м.

Внутренний диаметр обода ротора $D'_{a2} = 6,1218$ м.

Высота обода ротора $h_{a2} = 0,5105$ м.

Длина обода ротора $l_{a2} = 1,2272$ м.

Индукция в воздушном зазоре $B_{\delta H} = 0,856$ Тл.

Индукция в зубцах статора $B_{z1H} = 1,904$ Тл.

Индукция в ярме статора $B_{a1H} = 1,380$ Тл.

Индукция в полюсных наконечниках $B_{z2H} = 1,173$ Тл.

Индукция в полюсах ротора $B_{mH} = 1,711$ Тл.

Количество витков обмотки возбуждения (катушки возбуждения) $w_f = 34$.

МДС возбуждения при номинальной нагрузке $F_{fH} = 28487$ А.

Активное сопротивление фазы обмотки статора $r_{a75} = 0,01513$ Ом.

Активное сопротивление обмотки возбуждения ротора $r_{75} = 0,2026$ Ом; $r_{f130} = 0,247$ Ом.

Активное сопротивление демпферной обмотки ротора по продольной оси в относительных единицах $r_{dd}^* = 0,01594$.

Активное сопротивление демпферной обмотки ротора по поперечной оси в относительных единицах $r_{dq}^* = 0,01369$.

Демпферная обмотка содержит 6 стержней.

Индуктивное сопротивление взаимной индукции обмотки статора по продольной оси $x_{ad} = 1,9234$ Ом.

Индуктивное сопротивление взаимной индукции обмотки статора по поперечной оси $x_{aq} = 1,2473$ Ом.

Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора $x_{\sigma} = 0,1957$ Ом.

Индуктивное сопротивление обмотки статора по продольной оси в относительных единицах $x_d^* = (x_{\sigma} + x_{ad}) \frac{I_H}{U_H} = x_{\sigma}^* + x_{ad}^* = 0,7198$.

Индуктивное сопротивление обмотки статора по поперечной оси в относительных единицах $x_q^* = (x_{\sigma} + x_{aq}) \frac{I_H}{U_H} = x_{\sigma}^* + x_{aq}^* = 0,49017$.

Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки возбуждения ротора в относительных единицах $x_{f\sigma}^* = 0,2679$.

Индуктивное сопротивление обмотки возбуждения $x_f^* = x_{f\sigma}^* + x_{ad}^* = 0,9212$.

Индуктивное сопротивление рассеяния демпферной обмотки ротора по продольной оси в относительных единицах $x_{psd}^* = 0,19167$.

Индуктивное сопротивление рассеяния демпферной обмотки ротора по поперечной оси в относительных единицах $x_{psq}^* = 0,148$.

Индуктивное сопротивление демпферной обмотки по продольной оси в относительных единицах $x_{dd}^* = 0,845$.

Индуктивное сопротивление демпферной обмотки по поперечной оси в относительных единицах $x_{dq}^* = 0,5717$.

Индуктивное сопротивление для токов нулевой последовательности в обмотке статора в относительных единицах $x_0^* = 0,07686$.

Сверхпереходное индуктивное сопротивление обмотки статора по продольной оси в относительных единицах $x_d''^* = 0,1619$.

Сверхпереходное индуктивное сопротивление обмотки статора по поперечной оси в относительных единицах $x_q''^* = 0,1762$.

Индуктивное сопротивление для токов обратной последовательности в относительных единицах $x_2^* = \frac{x_d''^* + x_q''^*}{2} = 0,169$.

Напряжение на кольцах обмотки возбуждения при номинальной нагрузке и $t = 130^\circ \text{C}$ $U_{fn} = 207 \text{ В}$.

Номинальное напряжение возбудителя $U_{fn} = 238 \text{ В}$.

Предельное напряжение возбудителя $U_{f\max} = 476 \text{ В}$.

Суммарные потери активной мощности гидрогенератора $\Delta P = 0,7161 \text{ МВт}$.

КПД гидрогенератора $\eta = 0,9767$.

Среднее превышение температуры воздуха в вентиляционном канале статора $\theta_{r1} = 18,17^\circ \text{C}$.

Превышение температуры обмотки статора над температурой охлаждающего воздуха $\theta_{Cu} = 64,09^\circ \text{C}$.

Превышение температуры сердечника статора над температурой охлаждающего воздуха $\theta_{Fe} = 32,75^\circ \text{C}$.

Превышение температуры обмотки возбуждения над температурой входящего воздуха $\theta_f = 59,76^\circ \text{C}$.

Список литературы

1. *Пермяков О.А.* Камская ГЭС. 65 лет на службе Уралу и России // Гидро-Техника. 2019. № 4 (57). С. 81.
2. *Кривченко Г.И.* Гидравлические машины: Турбины и насосы. Учебник для вузов. – М.: Энергия, 1978. – 320 с.
3. Техническое перевооружение с заменой гидроагрегатов Нижегородской ГЭС. Замена гидротурбинного и гидрогенераторного оборудования –[Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://www.rushydro.ru/upload/iblock/f0e/Proekt-zameni-gidroagregatov-Nizhegorodskoj-GES-1.pdf>.
4. *Абрамов А.И., Иванов–Смоленский А.В.* Проектирование гидрогенераторов и синхронных компенсаторов. Учебное пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 2001. – 389 с.

2.3.3.

И.А. Ломухин

ФГБОУ ВО Оренбургский государственный университет,
Оренбург, liga512b@mail.ru

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСОМ ГЕОЛОГО-ТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ

В работе представлено решение задачи по оптимизации количества ресурсов, затрачиваемых на определение состава комплекса геолого-технических мероприятий, направленных на повышение эффективности эксплуатации добывающего фонда скважин, посредством создания прикладного инструмента. Основные задачи для разработанного программного модуля «Подбор комплекса геолого-технических мероприятий»: поиск оптимального соотношения методов воздействия на скважины к времени простоя скважин, расчёт минимального эффективного объема мероприятий по каждой скважине индивидуально, повышение уровня экономической устойчивости всей добывающей системы в целом.

Ключевые слова: *Геолого-технические мероприятия, добывающая скважина, система автоматизированного управления.*

Процесс разработки нефтегазоконденсатных месторождений является сложным, трудоемким и требующим применения большого количества разноплановых мероприятий. Основные воздействия на пласт, применяемые для поддержания требуемого уровня добычи углеводородов, можно логически разделить на масштабные и локальные [1]. К первой группе относятся различные виды заводнений (барьерное, законтурное, нестационарное и т.п.), внутрипластовое горение и другие мероприятия, способные существенным образом изменить параметры разрабатываемого пласта на значительной области. Воздействия, которые применяют точечно для индивидуально подобранных скважин, называют локальными геолого-техническими мероприятиями [1-2].

Выбор эффективного геолого-технического мероприятия для добывающей скважины должен учитывать множество переменных: начальные и текущие пластовые параметры в непосредственной близости от забоя скважины, историю способов эксплуатации, накопленные отборы, параметры конструкции скважины и т.д. [3]. Но если эксплуатация добывающего фонда осложняется, к примеру, наличием пульсирующего режима работы скважин, гидратообразованием или отложением парафинов в системе сбора, то выбор локальных геолого-технических мероприятий становится задачей крайне сложной - в таком случае необходим целый комплекс геолого-технических мероприятий, способный помочь в удержании объемов добычи углеводородов на фиксированной величине, а также максимизации рентабельности добывающего предприятия в целом. Схема комплекса геолого-технических мероприятий представлена на рисунке 1.

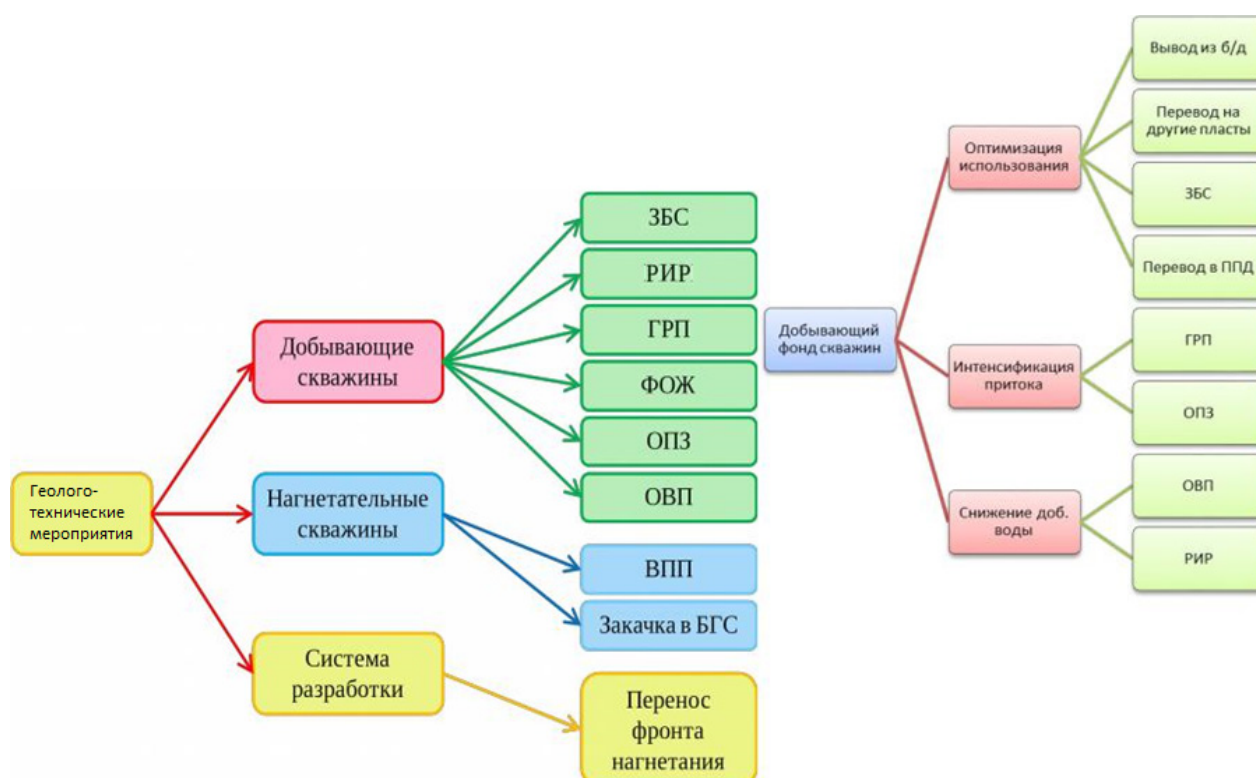


Рис. 1 – Схема комплекса геолого-технических мероприятий

Учитывая системный подход к цифровой трансформации единой системы управления разработкой и добычей предприятий нефтегазового комплекса, для решения представленной выше задачи предлагается использовать систему автоматизированного управления комплексом геолого-технических мероприятий [4]. Основной функционал разработанной системы позволяет рассчитать оптимальное количество ресурсов, необходимых для повышения добычных характеристик скважины, осуществить подбор состава комплекса геолого-технических мероприятий, направленного на повышение эффективности эксплуатации добывающего фонда скважин, определить уровень экономической устойчивости всей добывающей системы в целом [5].

Систему автоматизированного управления комплексом геолого-технических мероприятий можно использоваться для выбора воздействий, которые необходимо провести на эксплуатационной скважине. При выборе используется комплексный критерий, отражающий свойства пласта, стоимостные и технические характеристики геолого-технического мероприятия и изменение дебита, на основе которого в многомерном пространстве параметров скважин и большого статистического материала проведен выбор геолого-технических мероприятий с гарантированно максимальной эффективностью [6]. Схематично используемый критерий приведен на рисунке 2.

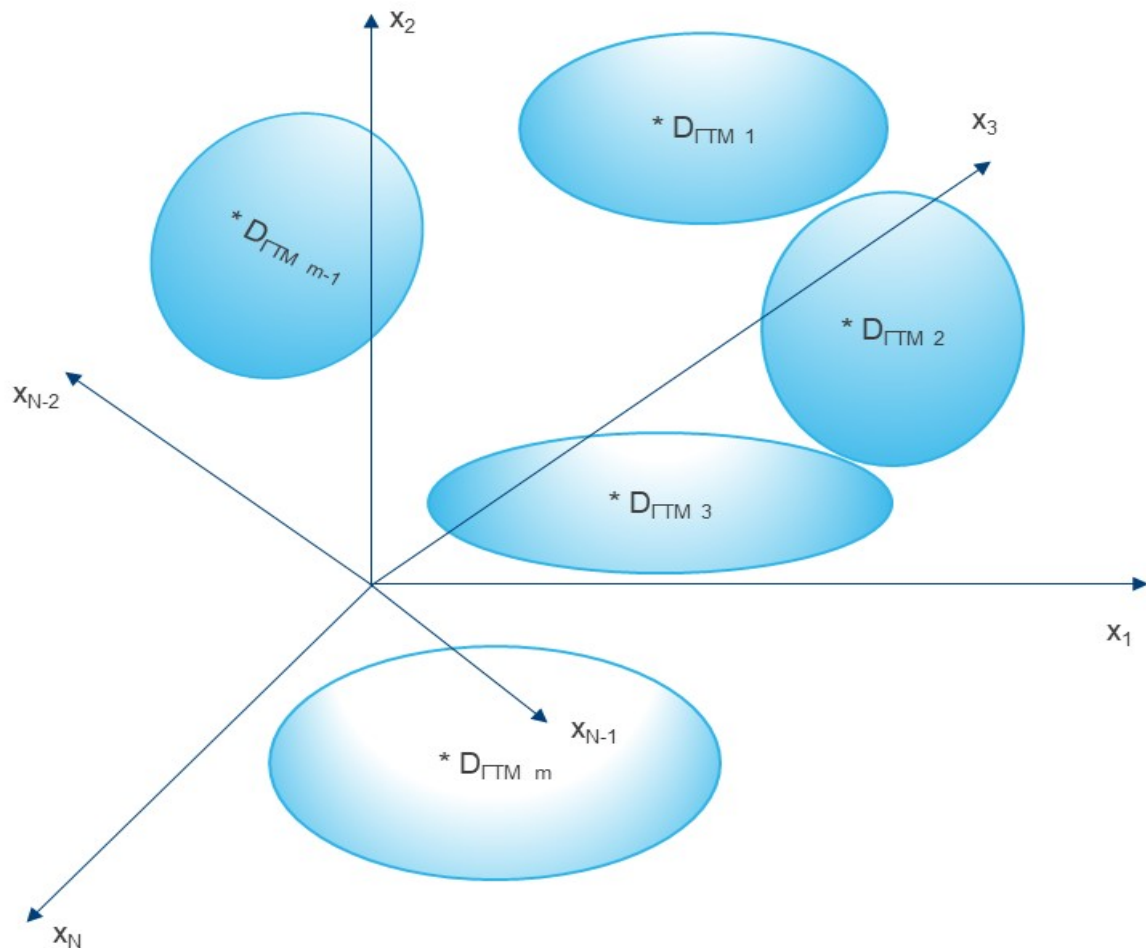


Рис.2 – Критерий комплексного учета параметров

Весь процесс работы в системе является автоматизированным, за исключением шагов выбора области поиска скважин-кандидатов под геолого-технические мероприятия и финального утверждения сформированного плана реализации подобранного комплекса [7]. Для повышения точности определения эффективных воздействий дополнительно применяются алгоритмы верификации промысловых данных на основе математического метода базовых кривых. В случае выявления неэффективности рассматриваемых мероприятий, система имеет возможность расширять область поиска скважин-кандидатов автоматически. Укрупненный алгоритм системы автоматизированного управления комплексом геолого-технических мероприятий представлен на рисунке 3.

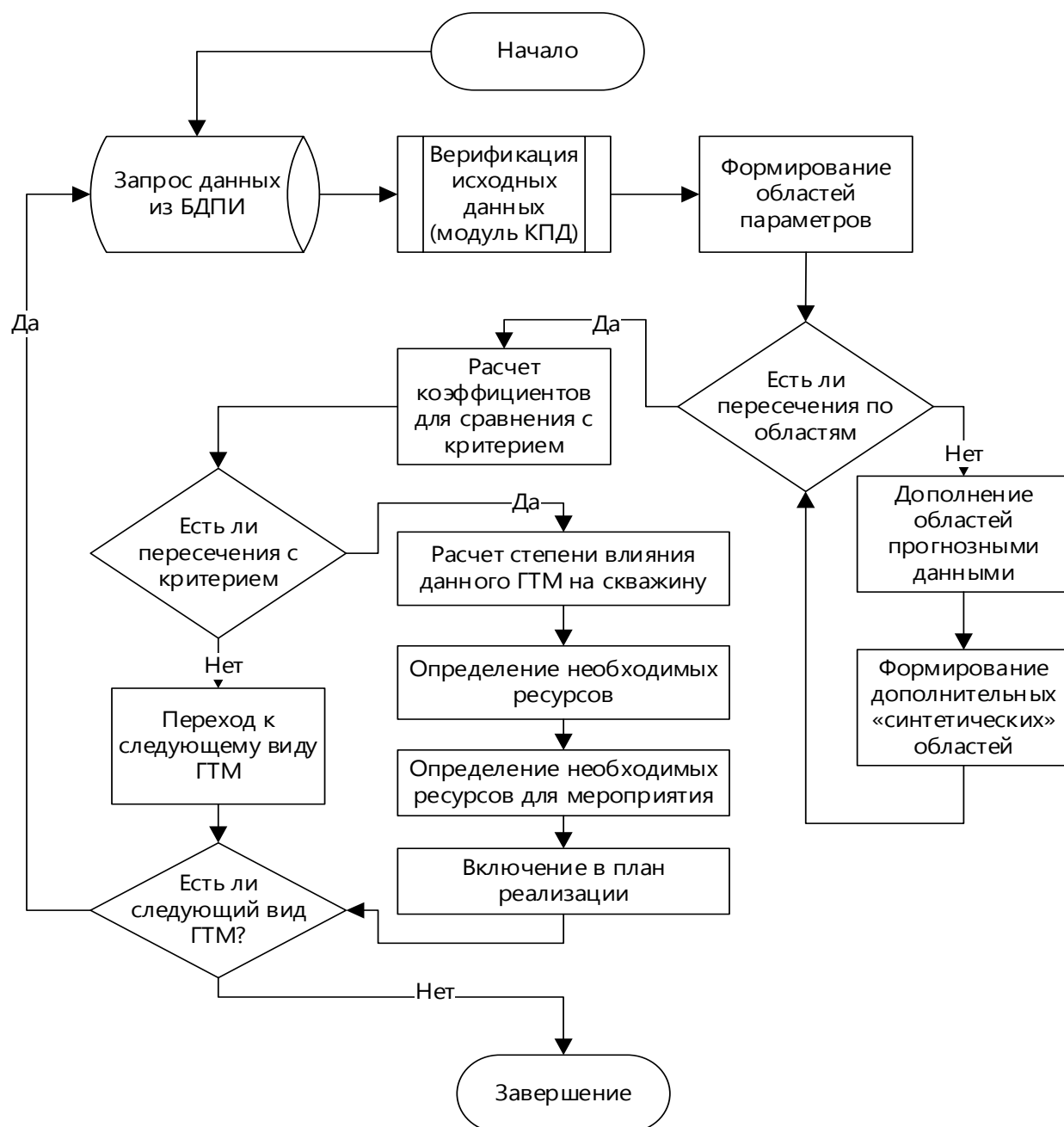


Рис. 3 – Укрупненный алгоритм системы автоматизированного управления комплексом геолого-технических мероприятий

В результате применения разработанной системы автоматизированного управления комплексом геолого-технических мероприятий удалось добиться существенного повышения добычных характеристик скважин. Гистограмма с результатами тестового применения системы представлена на рисунке 4.

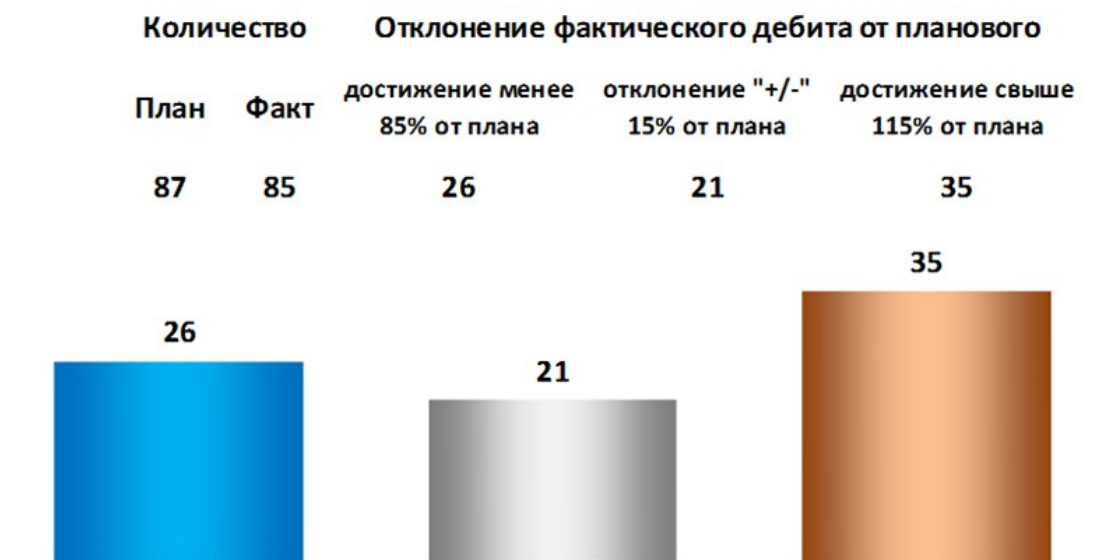


Рис.4 – Гистограмма с результатами тестового применения системы

Проведенный анализ полученных данных по задаче оптимизации количества ресурсов, затрачиваемых на реализацию подобранных геолого-технических мероприятий, показал существенную экономию. Следовательно, использование разработанной автоматизированной системы позволяет наиболее эффективно использовать выделенные ресурсы при подборе мероприятий на фонде добывающих скважин и поиске скрытых добычных резервов углеводородного месторождения.

Список литературы

1. *Pishchukhin A.M., Akhmedyanova G.F.* The Formation Abstract Representations in the Product Quality Management / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020. Vol. 459, Iss. Pp. 6, doi: 10.1088/1755-1315/459/6/062032
2. *Пищухин А.М.* Многоуровневое управление конкуренто-способностью предприятия / А.М. Пищухин // Современные наукоемкие технологии, 2020. – № 10. – С. 252-257.
3. *Ахмедьянова Г.Ф.* Основы многоуровневого управления в организационно-технических системах: монография / Г.Ф. Ахмедьянова, А.М. Пищухин; – Оренбург: ОГУ. – 2020. – 162 с. – ISBN 978-5-7410-2488-1.
4. *Ломухин И.А., Пищухин А.М.* Применение математического метода базовых кривых при обработке и анализе промысловой информации // Вестник Оренбургского государственного университета, 2011. – № 16. – С. 79-81.
5. *Ломухин И.А., Крохалев А.С.* Опыт применения технологии интегрированного моделирования на месторождении с газлифтным фондом скважин. «Нефть. Газ. Новации.» №12, 2019.
6. *Юдин Е.В., Галяутдинов И.М.* Подходы к определению оптимальных параметров эксплуатации скважин в условиях трещиноватых коллекторов с газовой шапкой на примере Оренбургского НГКМ. SPE-196852-RU, 2019.
7. *Юдин Е.В., Хабибуллин Р.А.* Моделирование работы газлифтной скважины с автоматизированной системой управления подачи газлифтного газа. SPE-196816-RU, 2019.

2.3.3.

В.В. Морозов, И.В. Беляев, Н.С. Довбыш, А.С. Разносчиков, А.В. Жданов

Владимирский Государственный Университет,
Институт Машиностроения и Автомобильного Транспорта,
кафедра Технологии Машиностроения,
Владимир, Nickita863@gmail.com

УВЕЛИЧЕНИЕ ТВЕРДОСТИ И ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ АРМАТУРЫ НА АВТОМАТИЗИРОВАННОМ КОМПЛЕКСЕ ЛАЗЕРНОЙ МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ

В работе было исследовано влияние лазерной модификации поверхности на физико-механические и трибологические характеристики деталей арматуры из легированной стали 100CrMn6. Для проведения модификации использовался автоматизированный лазерный комплекс российского производства. Модификация проводилась на различных режимах лазерной обработки по разработанным программам и траекториям. Варьировались мощность лазерного излучения, скорость перемещения лазерного луча относительно обрабатываемой поверхности и фокусное расстояние. Было установлено, что показатели твёрдости и износостойкости поверхностных слоёв деталей сильно зависят от режимов лазерной обработки. Зависимости эти носят экстремальный характер, имеют максимумы и минимумы.

Ключевые слова: *автоматизированный лазерный комплекс, лазерная модификация, детали арматуры, твердость, износостойкость.*

Введение

Жесткие условия работы деталей арматуры предъявляют высокие требования к твёрдости и износостойкости контактирующих поверхностей, поэтому их изготовление из стали 100CrMn6 необходимо и оправдано. Использование дополнительной лазерной термообработки (модификации) (ЛМ) позволяет значительно улучшить данные характеристики [1], что является актуальным для этих изделий

В настоящее время отсутствуют достоверные сведения о режимах ЛМ поверхности изделий из стали 100CrMn6, позволяющих регулировать показатели твёрдости и износостойкости с целью получения их оптимальных соотношений при помощи отечественного лазерного комплекса СВАРОГ-1-5ДР (рис. 1) на основе волоконного диодного лазера 5 кВт с длиной волны излучения 780...830 нм. Отсутствуют также сведения об изменениях в микроструктуре поверхностных слоёв деталей арматуры (рис.2), соответствующих максимальным значениям показателей твёрдости и износостойкости после ЛМ [2-5].



Рис. 1 – Общий вид лазерного комплекса СВАРОГ-1-5ДР:
робота (а), поворотного стола (б) и вспомогательных шлангов (в)



Рис.2 – Фотографии обработанных седла и шара после ЛМ, шлифования и полировки

Цель настоящей работы - выявление режимов ЛМ поверхности деталей арматуры из стали 100CrMn6, обеспечивающих максимальные значения твёрдости и износостойкости.

Материалы и методы

Поверхности деталей (рис. 2) подвергали ЛМ на воздухе при различных значениях мощности лазерного излучения (W), скорости перемещения лазерного луча (V) и фокусного расстояния F . Различали режимы ЛМ без оплавления поверхности (без ОП) и с оплавлением поверхности (с ОП). Измерения микротвёрдости проводили при помощи установки Micro Combi Tester (CSM Instruments SA, Швейцария) с использованием алмазного индентора в форме четырёхгранной пирамиды с углом 136° и радиусом при вершине 0,1 мм. Нагрузка при измерениях составляла 10 Н, время выдержки под нагрузкой 10 с. Измерения износостойкости проводили при помощи установки Tribometer TRB (CSM Instruments SA) в соответствии с ГОСТ 27640-88 и 11629-75. В качестве контртела использовали шарики диаметром 6 мм из стали ШХ15. Фазовый состав поверхностных слоёв материала до и после ЛМ определяли при помощи рентгеновского дифрактометра D8 Advance фирмы (Bruker AXS, Германия). Металлографические исследования проводили при помощи оптического микроскопа Raztec MRX9-D (Россия).

Результаты и обсуждения

Результаты измерения показателей твёрдости и износостойкости исследуемых образцов до и после ЛМ приведены в таблице 1. Из таблицы видно, что используемые режимы ЛМ в одних случаях не сопровождалось оплавлением обрабатываемой поверхности (образцы 3.2, 3.4, 3.5), а в других случаях вызвали оплавление обрабатываемой поверхности (образцы 3.1, 3.3, 3.6, 3.7, 3.8.). При ЛМ без оплавления поверхности максимальное значение твёрдости ($HV_{10}=607 \text{ Н/мм}^2$ и 55,9 HRC) было получено на образце 3.5 после обработки по режиму 5 ($W=5 \text{ кВт}$, $V=25 \text{ мм/с}$, $F=60 \text{ мм}$), минимальное ($HV_{10}=281 \text{ Н/мм}^2$ и 38,5 HRC) — на образце 3.2, обработанном по режиму 2 ($W=2 \text{ кВт}$, $V=10 \text{ мм/с}$, $F=60 \text{ мм}$). Максимальное значение коэффициента трения (0,83) и износа (82 мкм) получено на образце 3.2, т.е. там, где твёрдость по HV_{10} была минимальной. Наименьшие значения коэффициента трения (0,64) и износа (50 мкм) было получено на образце 3.4, обработанному по режиму 4 ($W=2 \text{ кВт}$, $V=25 \text{ мм/с}$, $F=60 \text{ мм}$). Значения модуля упругости всех измеренных образцов коррелируют со значениями твёрдости по Виккерсу.

После ЛМ с оплавлением поверхности максимальное значение твёрдости по Виккерсу ($HV_{10}=777 \text{ Н/мм}^2$) имел образец 3.8, обработанный по режиму 8 ($W=5 \text{ кВт}$, $V=25 \text{ мм/с}$, $F=85 \text{ мм}$), а минимальное ($HV_{10}=441 \text{ Н/мм}^2$) — образец 3.6, обработанный по режиму 6 ($W=5 \text{ кВт}$, $V=10 \text{ мм/с}$, $F=60 \text{ мм}$). Наименьшее значение коэффициента трения (0,14) и наименьший износ (10 мкм) имел образец 3.1., имеющий максимальную твёрдость по Роквеллу.

Таблица 2 - Результаты измерения твёрдости и износостойкости поверхностных слоёв деталей до и после ЛМ

Обозначение образца	Режимы ЛМ № ($W-V-F$)	Твёрдость по Виккерсу, HV10, Н/мм ²	Твёрдость по Роквеллу, HRC	Модуль упругости, Еср	Коэффициент трения, μ	Износ, мкм
3.1 -ОП	1 (2-10-85)	636	56,1	179	0,14	10
3.2 -БО	2 (2-10-60)	281	38,5	171	0,83	82
3.3 -ОП	3 (2-25-85)	718	31,2	182	0,7	56
3.4 -БО	4 (2-25-60)	324	33,1	182	0,64	50
3.5 -БО	5 (5-25-60)	607	55,9	184	0,7	67
3.6 -ОП	6 (5-10-60)	441	46,2	190	0,52	35
3.7 -ОП	7 (5-10-85)	478	46,1	200	0,8	60
3.8-ОП	8 (5-25-85)	777	-	212	0,7	35
Контрольный	Без ЛМ	260	33,5	200	0,6	55

Для получения максимального значения твёрдости по Виккерсу при лазерной обработке без оплавления поверхности стали 100CrMn6 мощность лазерного излучения (W) должна находиться в районе 5 кВт. При этом скорость перемещения лазерного луча относительно обрабатываемой поверхности (V) должна равняться 25 мм/с, а фокусное расстояние (F) должно составлять 60 мм. В случае ЛМ с оплавлением поверхности более высокие значения твёрдости по Виккерсу получаются при $W=5$ кВт, $V=25$ мм/с, $F=85$ мм. При уменьшении F до 60 мм ЛМ не вызывает оплавления поверхности деталей. Микроструктура образца 3.1 (режим 1), обладающего наименьшими значениями коэффициента трения (0,14) и износа (10 мкм), а также весьма высокой твёрдостью как по Виккерсу (636 Н/мм²), так и по Роквеллу (56,1 HRC), представляет собой смесь мартенсита и троостита с небольшим количеством остаточного аустенита (2,85% мас.), а также столбчатые (пластинчатые) образования карбидов железа и хрома. В микроструктуре также присутствует значительное количество оксидов железа, марганца, кремния и хрома. Столь малые значения коэффициента трения и износа объясняются хорошей шлифуемостью структурных составляющих поверхностного слоя стали 100CrMn6 после данного вида лазерной обработки. Толщина поверхностного слоя с изменённой микроструктурой у данного образца составляет 1,5...1,8 мм. Микроструктура приведена на рисунке 3.

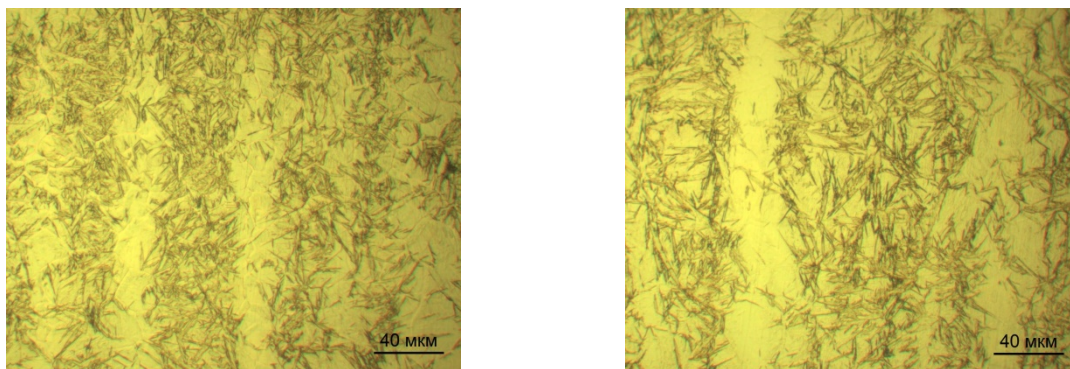


Рис. 3 – Микроструктура приповерхностного слоя детали после ЛМ по режиму 1

Заключение

ЛМ с оплавлением поверхности изделий из стали 100CrMn6 позволяет достигать больших значений твёрдости и меньших значений коэффициента трения, чем ЛМ без оплавления поверхности. Это обуславливает большую износостойкость при работе в условиях трущихся сопряжённых поверхностей. Наивысшую твёрдость поверхностного слоя при ЛМ без оплавления поверхности обеспечивает режим 5 (образец 3.5), наименьшую — режим 2 (образец 3.2). Наиболее благоприятные значения износа обеспечивает режим 4 (образец 3.4), наименее благоприятные — режим 2 (образец 3.2). Наивысшую твёрдость поверхностного слоя при ЛМ с оплавлением поверхности обеспечивает режим 8 (образец 3.8), наименьшую — режим 6 (образец 3.6). Наиболее благоприятное сочетание коэффициента трения, износа и твёрдости обеспечивает режим 1 (образец 3.1). Главной причиной изменения твёрдости, коэффициента трения и износа после ЛМ является изменение фазового состава поверхностных слоёв этой стали в процессе лазерной обработки. Чем выше скорость перемещения лазерного луча относительно обрабатываемой поверхности, тем меньше толщина поверхностного слоя с изменённой микроструктурой. Одновременное увеличение W , V и F будет приводить к особенно сильному кратковременному высокоградиентному температурному воздействию на обрабатываемую поверхность и к труднопредсказуемому изменению микроструктуры поверхностного слоя обрабатываемого сплава, а также к сильному уменьшению толщины этого поверхностного слоя с изменённой микроструктурой.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение №075-03-2020-046/1 от 17.03.2020 г., госзадание ВлГУ ГБ-1187/20) с использованием оборудования ЦКП ВлГУ

Список литературы

1. Dovbysh N.S., Zhdanov A.V. Mechanical and tribological characteristics of laser-deposited nickel-containing powders on chromium steels / Journal of Physics: Conference Series, 2131(5), 052085
2. Бернштейн М.Е. Металловедение и термическая обработка стали. - М.: Металлургия, 1991. - 472с.
3. Смирнова Н.А., Мисюров А.И. Особенности образования структуры при лазерной обработке / Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана, серия «Машиностроение», 2012, с.115-129.
4. Войтович О.Н., Соколов И.О. Исследование влияния параметров лазерной термообработки на свойства упрочнённых поверхностных слоёв / Вестник Белорусско-Российского университета, 2013, №2(39), с.6-14.
5. Адашкин А.М. и др. Материаловедение в машиностроении. - М.: Юрайт, 2017, 258с.

2.3.3.

**Н.Г. Семенова д-р педагог. наук, канд. техн. наук,
Л.А. Влацкая канд. техн. наук, А.М. Семенов канд. техн. наук**

Оренбургский государственный университет,
кафедра автоматизированного электропривода, электромеханики и электротехники,
Оренбург, ng_sem@mail.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПО РАЗВИТИЮ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КОММУНАЛЬНО-СЕТЕВЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Статья посвящена разработке прикладной программы принятия решения по развитию систем электроснабжения коммунально-сетевых предприятий. В программе предложено выделить 2 программно связанных модуля. Первый модуль осуществляет кластеризацию систем электроснабжения на основе алгоритма k -means (k -средних), второй – выбор наилучшей альтернативы развития для систем электроснабжения исследуемых коммунально-сетевых предприятий посредством метода ранжирования.

Ключевые слова: система электроснабжения, альтернатива развития, принятие решения.

Анализ научно-технической литературы в области способов принятия решения по развитию систем электроснабжения (СЭС) [1, 2] позволил заключить, что наиболее целесообразно использовать методы экспертного оценивания, позволяющие повысить достоверность и объективность принятия решения в условиях неопределенности и неструктурированных данных. Учитывая, что объем исходных данных бывает значительный, нами предложено в программе принятия решения по развитию СЭС выделить два модуля. Первый модуль – модуль кластеризации СЭС, а второй – модуль выбора наилучшей альтернативы развития СЭС. Рассмотрим реализацию каждого модуля.

Модуль кластеризации. Основное назначение кластерного анализа заключается в разбиении множества объектов на однородные группы. В нашем случае под множеством объектов понимаем СЭС предприятий, а под однородными группами (кластерами) – СЭС предприятий, имеющих приблизительно одинаковые значения коэффициентов роста нагрузки. Под *коэффициентом роста нагрузки* K_{pn} понимаем отношение потребления электроэнергии предприятием в расчетном году P_p к потреблению электроэнергии в предыдущем P_n [2]:

$$K_{pnij} = \frac{P_p}{P_n}. \quad (1)$$

Как нами было отмечено в работе [2], функционирующие СЭС можно условно классифицировать по K_{pn} на три группы: *строящиеся* СЭС ($K_{pn} > 1$); *стабильно функционирующие* СЭС ($K_{pn} = 1$); *угасающие* СЭС ($K_{pn} < 1$). Для кластеризации предложено использовать алгоритм k -means (k -средних) [3], сущность которого заключается в итерационном перерасчете центров кластеров z_j , $j = \overline{1...3}$ и последующим перераспределением СЭС между кластерами. В качестве метрики (меры близости СЭС к центру кластера) используется евклидово расстояние:

$$de_{ij} = \sqrt{(K_{pn_i} - Z_j)^2},$$

где K_{pn_i} – коэффициент роста нагрузки i -ой СЭС ($i = \overline{1...n}$);

Z_j – центр j -го кластера ($j = \overline{1...3}$).

Итерационный процесс завершается, когда состав кластеров и координаты их центра перестанут изменяться.

По разработанному алгоритму *k-means* (*k*-средних), рисунок 1, посредством программы Excel и макросов VBA (Visual Basic for Applications) осуществлена кластеризация СЭС. В качестве примера были рассмотрены 5 объектов коммунально-сетевого предприятия ООО «Оренбург водоканал» – *повышающие насосные станции* (ПНС), расположенные в жилых районах г. Оренбурга. Скриншот окна подпрограммы представлен на рисунке 2.

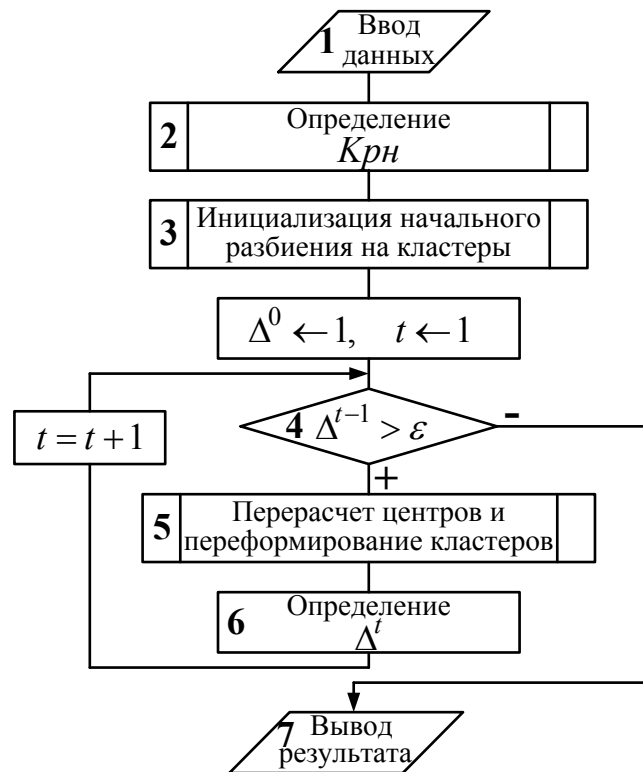


Рис. 1 – Блок-схема алгоритма *k-means* для кластеризации СЭС

						Центры кластеров					
Обновить		Кластеризировать				1,07	1	0,93			
Объект	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019г.	2020 г.	Коэффициент роста нагрузки Kкр=Pr/Рп	Центры кластеров			Минимальное расстояние до ближайшего центра кластера	Отношение объекта к кластеру
							Строящаяся СЭС	Стабильная СЭС	Угасающая СЭС		
							1,07000	1,00000	0,93000		
							Расстояние от точки до каждого кластера $dE=\sqrt{((x-y)^{^2})}$				
ПНС "18 мкр." ул. Сальмышская	118,451	109,871	108,77	94,374	285,587	1,45283	0,38283	0,45283	0,52283	0,38283	Строящаяся СЭС
ПНС ул. Волгоградская	62,769	80,02	102,382	209,149	283,784	1,48849	0,41849	0,48849	0,55849	0,41849	Строящаяся СЭС
ПНС ул. Чкалова, 23мк	82,956	83,223	72,37	68,094	59,256	0,92098	0,14902	0,07902	0,00902	0,00902	Угасающая СЭС
ПНС ул. Розы Люксембург	125,494	148,312	140,62	168,271	184,876	1,10632	0,03632	0,10632	0,17632	0,03632	Строящаяся СЭС
ПНС ул. Заречная	15,152	14,023	16,436	15,523	15,634	1,01229	0,05771	0,01229	0,08229	0,01229	Стабильная СЭС

Модуль выбора наилучшей альтернативы развития СЭС. С помощью метода экспертного оценивания определим, какой вариант развития для каждой СЭС является наилучшим. Для этого нами предложены гипотетические альтернативы развития для каждого типа СЭС, таблица 1.

Таблица 1 – Альтернативы развития СЭС предприятия

Типы СЭС	Альтернативы развития СЭС ПНС
Строящиеся	1. Модернизация объекта. 2. Ввод новых повысительных насосных станций. 3. Текущее обслуживание оборудования.
Стабильно-функционирующие	1. Техническое перевооружение. 2. Капитальный ремонт. 3. Текущее обслуживание оборудования.
Угасающие	1. Применение технологий по повышению энергоэффективности СЭС. 2. Ремонт вышедшего из строя оборудования. 3. Текущее обслуживание оборудования.

В качестве метода экспертного оценивания предложен метод ранжирования, сущность которого заключается в том, что упорядочивание альтернатив по степени их влияния на результат осуществляется экспертом на основе его знаний и опыте. В результате альтернативы располагаются в ранжированном порядке на основе одного или нескольких критериев оценивания [4]. Для выбора наилучшей альтернативы развития было привлечено пять экспертов ($m = 5$): директор по производству; начальник цеха; главный энергетик; главный механик; начальник участка.

Представим кратко алгоритм метода ранжирования, используемый в данной работе:

1. Эксперты дали оценку трём альтернативам развития для каждой СЭС ($n = 3$) по степени их важности выполнения с выставлением рангов R_j каждой альтернативе: 1; 0,5; 0.

2. Выполнен переход от матрицы ранжирования к матрице парных сравнений альтернатив развития СЭС:

$$R_j = \|r_{ik}^j\| = \begin{cases} 1, & r_{ij} < r_{kj} \\ 0,5 & r_{ij} \approx r_{kj} \\ 0 & r_{ij} > r_{kj} \end{cases} \quad (2)$$

В полученной системе (2) численные значения рангов означают следующее: 1 – альтернатива x_i более предпочтительна чем x_j ; 0,5 – альтернативы x_i и x_j равнозначны; 0 – альтернатива x_i менее предпочтительна, чем x_j .

3. Формирование матрицы математических ожиданий оценок каждой пары альтернатив. Каждый элемент матрицы вычисляется по формуле:

$$x_{ij} = \frac{1}{2} + \frac{m_i - m_j}{2m} \quad (3)$$

где m_i – количество экспертов, которые предпочли альтернативу x_i ; m_j – количество экспертов, которые предпочли альтернативу x_j ; m – общее количество экспертов.

4. На основании полученной матрицы определяется вектор коэффициентов относительной важности альтернатив K :

$$K = [K_1, K_2, \dots, K_n]^T \quad (4)$$

где n – число альтернатив развития СЭС.

Нахождение значений вектора K производится итерационным способом. На начальном шаге $t = 0$ задаются равными для всех значениями коэффициентов относительной важности:

$$K^0 = [1, 1, 1, \dots, 1]^T \quad (5)$$

На последующих шагах коэффициенты K^t определяются по выражению:

$$K^t = \frac{1}{\lambda^t} \cdot X \cdot K^{t-1}, \quad (6)$$

где X – матрица математических ожиданий;

λ^t – нормировочный коэффициент, определяемый по выражению (7):

$$\lambda^t = [1, 1, 1, \dots, 1] \cdot X \cdot K^{t-1}, \quad t = \overline{1, n}. \quad (7)$$

5. Итерационный процесс заканчивается, когда выполняется условие (8):

$$\|K^t - K^{t-1}\| < \varepsilon, \quad (8)$$

где ε – задаваемая точность вычисления.

Представленный алгоритм был программно реализован с помощью макросов VBA (Visual Basic for Applications) в Excel. Скриншот окна подпрограммы «Ранжирование альтернатив» представлен на рисунке 3.

		Метод ранжирования					
		Очистить	Обновить	Объект	Объект №2	Объект №3	Объект №5
		Строящаяся СЭС		Стабильная СЭС		Угасающая СЭС	
		Модернизация объекта		Техническое перевооружение		Применение технологий по повышению энергоэффективности СЭС	
Объект	Отношение объекта к кластеру	Ввод новых повысительных насосных станций		Капитальный ремонт		Ремонт вышедшего из строя оборудования	
		Текущее обслуживание оборудования		Текущее обслуживание оборудования		Текущее обслуживание оборудования	
		Директор по производству		Начальник цеха		Главный энергетик	
ПНС "18 мкр." ул. Салмышская	Строящаяся СЭС	Модернизация объекта	1	2	1	2	1
		Ввод новых повысительных насосных станций	2	1	3	3	2
		Текущее обслуживание оборудования	3	3	2	1	3
ПНС ул. Волгоградская	Строящаяся СЭС	Модернизация объекта	3	1	3	3	3
		Ввод новых повысительных насосных станций	2	3	2	2	2
		Текущее обслуживание оборудования	1	2	1	1	1
ПНС ул. Чкалова, 23мк		Применение технологий по повышению энергоэффективности СЭС	2	1	3	2	2
		Ремонт вышедшего из строя оборудования	1	3	1	1	3
	Угасающая СЭС	Текущее обслуживание оборудования	3	2	2	3	1
ПНС ул. Розы Люксембург	Строящаяся СЭС	Модернизация объекта	1	2	3	3	2
		Ввод новых повысительных насосных станций	2	1	1	2	1
		Текущее обслуживание оборудования	3	3	2	1	3
ПНС ул. Заречная		Техническое перевооружение	3	1	3	3	3
	Стабильная СЭС	Капитальный ремонт	2	3	2	2	2
		Текущее обслуживание оборудования	1	2	1	1	1

Рис. 3 – Скриншот подпрограммы «Ранжирование альтернатив»

Зеленым цветом на рисунке 3 выделены наилучшие альтернативы развития для каждой СЭС, получены следующие результаты: «Модернизация объекта» для СЭС, расположенных на улицах Салмышская и Волгоградская; «Ремонт вышедшего из строя оборудования» для СЭС, расположенной на улице Чкалова; «Ввод новых ПНС» для СЭС на улице Розы Люксембург; «Текущее обслуживание объекта» для СЭС, расположенной на улице Заречная. Полученные результаты совпадают с предложениями, отражёнными в схемах и программах перспективного развития электроэнергетики Оренбургской области на 2021-2025 годы.

Подпрограммы «Кластеризация» и «Ранжирование альтернатив» автоматически связаны между собой: результат (выходные данные) подпрограммы «Кластеризация» являются исходом (входными данными) подпрограммы «Ранжирование альтернатив». Для обновления и удаления исходных данных созданы управляющие кнопки: «Обновить»; «Очистить», рисунки 2, 3. Программа зарегистрирована в УФЭР Оренбургского государственного университета [5].

Выводы:

1. Предложено в процессе принятия решения по развитию СЭС коммунально-сетевых предприятий выделить два программно связанных модуля: кластеризация и выбор наилучшей альтернативы.
2. Оба модуля программно реализованы с помощью макросов VBA (Visual Basic for Applications) в Excel, на основе алгоритма *k-means* и метода ранжирования, соответственно.
3. Полученные результаты совпадают с предложениями, отражёнными в схемах и программах перспективного развития электроэнергетики Оренбургской области на 2021-2025 годы.

Список литературы

1. Воронай Н.И. Иерархическое моделирование при обосновании развития электроэнергетических систем // Exponenta Pro. Математика в приложениях. – 2003. – №4 (4) – С. 24-27.
2. Семенова Л.А. «Разработка методики принятия решения по развитию системы электроснабжения с применением технoценoлoгическoгo пoдхoдa и тeopии нечетких множеств» - дис. кандидата тех. наук – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2010.
3. Семенова Н.Г. Кластерный анализ для идентификации систем электроснабжения по критерию годового электропотребления / Н.Г. Семенова, Л.А. Влацкая, А.М. Семенов // Энергетика: состояние, проблемы, перспективы : материалы XII Всерос. науч.-техн. конф.– Оренбург : ОГУ, 2021. – С.240-244.
4. Орлов А.И. Экспертные оценки / А.И. Орлов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2011 – 486 с.
5. Св-во о регистрации прикладной программы «Выбор наилучшей альтернативы развития системы электроснабжения» / Семенова Н.Г., Игнатьев Н.А.; УФЭР. – № 3034; опубл. 13.01.22.

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И
ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ
И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ — 2.3.5.**

2.3.5.

¹С.С. Емельянова, ¹Н.Н. Иващенко, ²Е.А. Киселева

¹Саровский физико-технический институт

Национального исследовательского ядерного университета МИФИ,

²Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

**ИССЛЕДОВАНИЕ НОВЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ В НОВЫХ ВЕРСИЯХ
ФАЙЛОВОЙ СИСТЕМЫ LUSTRE**

В данной работе освещаются такие темы как администрирование кластерных файловых систем. На частном примере показаны возможности и сложности внедрения/обновления файловой системы Lustre. Сделаны выводы по результатам тестирования.

Ключевые слова: *администрирование, отказоустойчивость, Lustre, файловые системы, Lustre.*

Как можно заметить, технологический прогресс не стоит на месте. Развивается также и всем известные файловые системы. Кластерная ФС Lustre за последние годы приобрела такие возможности как полное обеспечение отказоустойчивости и высокой производительности за счет новых добавленных функций в новых версиях ФС.

Одним из популярных дистрибутивов ОС для кластерных систем является дистрибутив ОС RocksClusters. Так как для корректного развертывания ФС Lustre необходима переустановка ядра ОС, базовую ОС нужно выбирать под определённую версию файловой системы, или наоборот. Таким образом, встает вопрос об обновлении версии файловой системы при модификации ОС. В данной работе рассматривается вопрос обновления ОС RocksClusters 6 до версии ОС RocksClusters 7. Обе версии ОС имеют свои уникальные особенности. Рассматриваемые версии файловых систем и их особенности представлены ниже.

Версия Lustre 2.8.0 вышла в марте 2016 года и из нововведений имела возможность асинхронного обновления между серверами метаданных.

Версия Lustre 2.9.0 вышла в декабре 2016 года и позволяла группировать клиентские узлы для упрощения администрирования ФС в целом.

Версия Lustre 2.10.0 вышла в июле 2017 года. В отличие от всех предыдущих версий она включала в себя следующие нововведения:

- представлена раскладка PFL (Progressive File Layouts), автоматически корректирующая метод размещения файла при увеличении его размера. PFL позволяет обойтись применением одной раскладки, выбранной при создании файла и адаптирующейся к изменяющимся характеристикам файла;
- добавлена функция Multi-Rail LNet, позволяющая параллельно задействовать на узле несколько сетевых интерфейсов для агрегирования их производительности;
- для системы квот реализовано расширение, позволяющее задавать ограничение в привязке к дереву директорий (project quota), а не пользователю или группе;
- добавлен упрощённый механизм работы со снапшотами в пространстве пользователя, позволяющий использовать средства OpenZFS для координации снапшотов Lustre;
- добавлена функциональность NRS Delay Policy для симулирования высокой нагрузки на сервер для проверки устойчивости работы Lustre в условиях пиковых нагрузок.

Версии Lustre 2.10.1 – 2.10.6 отличаются от версии 2.10.0 такими небольшими нововведениями, как поддержание определённых версий системного ПО, или переход на новую версию zfs.

Версия Lustre 2.11.0 вышла в апреле 2018 года и включала в себя следующие новые функции:

- Data-on-MDT – возможность хранения мелких файлов в объектном хранилище метаданных (MDT, Metadata Targets), что позволяет заметно поднять производительность при работе с файлами за счёт исключения обращения к хранилищу данных (по аналогии с тем, как мелкие файлы в некоторых ФС могут храниться в составе inode). При этом производительность ввода-вывода возрастает не только для мелких файлов, но и для больших за счёт уменьшения нагрузки, вызванной случайным доступом к блокам и, как следствие, снижения числа операций перепозиционирования магнитных головок на жестких дисках;

- Delayed Resync – новый механизм обеспечения отказоустойчивости на уровне отдельных файлов, при котором файлы могут быть реплицированы на несколько серверов хранения (OST) в едином пространстве имён. Кроме повышения надёжности, данный механизм также положительно влияет на производительность за счёт возможности распараллеливания операций чтения. Из оптимизаций также представлена поддержка упреждающих блокировок (Lock Ahead), которые позволяют активировать блокировки экстендов в LDLM (Lustre Distributed Lock Manager) из пространства пользователя в асинхронном режиме.

Версия Lustre 2.12.0 вышла в октябре 2018 года и включала в себя следующие новые функции:

- добавлена функция разнесения (restriping) крупных существующих каталогов распределённого пространства имён (DNE, Distributed Namespace) с одного объектного хранилища метаданных (MDT, Metadata Targets) на несколько (разнесение разных сегментов DNE по разным MDT). Новая возможность упрощает введение в строй новых MDT для существующих ФС и проведение ручной балансировки нагрузки на MDT;

- для хранилищ метаданных (MDT) реализован режим "Lazy Size", позволяющий очень быстро возвращать приблизительный, а не точный размер файлов при прямом сканировании MDT чрез движок управления политиками (policy engine) в ситуациях, когда скорость важнее точности;

- для конфигураций с несколькими сетевыми интерфейсами LNet добавлена возможность "LNet Network Health", реализующая опцию для повторного обращения к RPC через другой сетевой интерфейс в случае сбоя при первой отправке запроса;

- добавлена поддержка сервера для ядер RHEL 7.6 (3.10.0-957.el7) и SLES12 SP3 (4.4.162-94.69). Добавлена поддержка клиента для не патченных ядер RHEL 7.6 (3.10.0-957.el7), SLES12 SP3 (4.4.162-94.69) и Ubuntu 18.04 (4.15.0-32).

Все версии файловой системы Lustre основываются на определённой версии ядра Linux в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1 – Соотношение версий ядер Linux с версиями ФС Lustre

№	Версия ФС Lustre		Версия ядра Linux
1.	Lustre 2.8.0	–	3.10.0-327.3.1.el7
2.	Lustre 2.9.0	–	3.10.0-514.el7
3.	Lustre 2.10.0	–	3.10.0-514.21.1.el7
4.	Lustre 2.10.1	–	3.10.0-693.2.2.el7
5.	Lustre 2.10.2	–	3.10.0-693.5.2.el7
6.	Lustre 2.10.3	–	3.10.0-693.11.6.el7
7.	Lustre 2.10.4	–	3.10.0-862.2.3.el7
8.	Lustre 2.10.5	–	3.10.0-862.9.1.el7
9.	Lustre 2.10.6	–	3.10.0-957.el7
10.	Lustre 2.11.0	–	3.10.0-693.21.1.el7
11.	Lustre 2.12.0	–	3.10.0-957.el7

На тестовом полигоне установлена версия ядра Linux 3.10.0-693.5.2.el7 (так как установлена ОС Rocs 7.0).

Исходя из всего вышеизложенного, можно сделать вывод, что, для беспрепятственного внедрения ФС Lustre на тестовый полигон, в наибольшей степени подходит версия ФС Lustre 2.10.2, т.к. версия ядра Linux, на которой основана данная версия ФС Lustre, совпадает полностью с версией ядра установленной ОС на полигоне. Однако одной из задач работы по созданию тестового полигона была проверка работоспособности и актуальности функций, появившихся в новых версиях ФС Lustre. Исходя из этого, было решено внедрять и тестировать на тестовом полигоне версию ФС Lustre 2.12.0.

Тестовый полигон состоял из виртуальных машин. Для тестирования новых функций принято решения под полигон выделить 5 виртуальных машин. Один управляющий узел и четыре вычислительных узла. Компоненты ФС Lustre располагались на узлах в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2 – Расположение компонент ФС Lustre на тестовом полигоне

№	Узел	Компоненты ФС Lustre
1	УУ	MGS_0 (MGT_0 10 GB); MDS_0 (MDT_0 50 GB).
2	ВУ_1 (compute-0-0)	OSS_0 (OST_0 50 GB)
3	ВУ_2 (compute-0-1)	OSS_1 (OST_1 200 GB)
4	ВУ_3 (compute-0-2)	Lustre client
5	ВУ_4 (compute-0-3)	Lustre client

Структурная схема тестового полигона с расположением компонент ФС Lustre показана на рисунке 1.

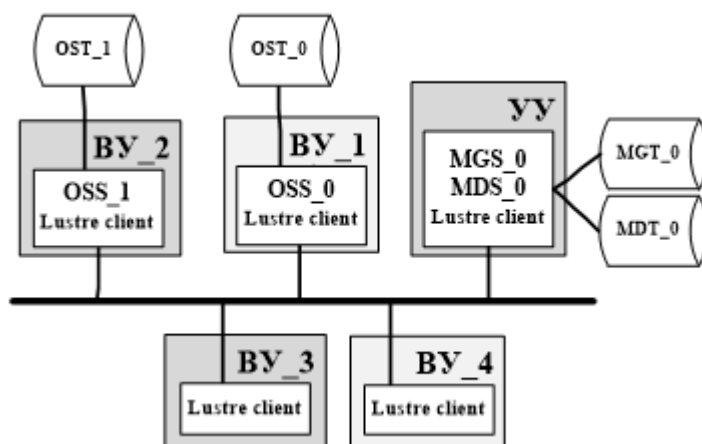


Рис. 1 – Структурная схема тестового полигона

Таким образом, ФС Lustre на тестовом полигоне содержит следующие составляющие:

- Сервер управления с хранилищем ёмкостью 20 ГБ.
- Сервер метаданных с хранилищем метаданных ёмкостью 50 ГБ.
- 2 сервера хранения данных, каждый с хранилищем данных в 200 ГБ. Общая ёмкость хранилища данных 400 ГБ.

В результате выполненной работы по исследованию возможности внедрения современных версий Lustre при использовании в качестве базового дистрибутива PK Rocks 7.0 сделано:

1. Отработан механизм настройки ФС Lustre на Rocks 7.0;
2. Сделан вывод о целесообразности применения новых функций на новых версиях ФС Lustre, таких как Delayed Resync (для повышения отказоустойчивости на уровне отдельных файлов) и Data-on-MDT (как вариант повышения производительности ФС Lustre) при переходе на новый базовый дистрибутив ОС RocksClusters.

Список литературы

1. Lustre Software Release 2.x Operations Manual 2017г.;
2. Christopher J. Morrone “Scalable High Availability for Lustre with Pacemaker”, LUG17, 2017г.;
3. Pacemaker 2.0 User manual 2018г.;

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ
ИНФОРМАЦИИ, ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ — 2.3.6.**

2.3.6.

В.В. Семенов

Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук,
лаборатория интеллектуальных систем,
Санкт-Петербург, v.semenov@spcras.ru

**МЕТОДИКА ИДЕНТИФИКАЦИИ СОСТОЯНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Предложена методика идентификации состояния информационной безопасности киберфизических систем, позволяющая достичь необходимой точности, сократив при этом временные затраты на обработку многомерных данных, поступающих от систем мониторинга. Методика отличается от существующих увеличением скорости идентификации состояния информационной безопасности элементов киберфизических систем за счёт уменьшения размерности обрабатываемых данных и идентификации состояния на основе решающего правила, учитывающего значения временных рядов, полученные за предшествующие моменты времени. Результаты, представленные в статье, дают инструмент для автоматизированной оценки состояния киберфизических систем с более высокой полнотой и точностью.

Ключевые слова: *информационная безопасность, функциональная безопасность, киберфизические системы.*

Введение

Эффективное функционирование современных киберфизических систем (КФС) невозможно без применения методов искусственного интеллекта в процессах автоматического сбора, анализа и хранения данных [1]. Использование различных технологий в рамках концепции «Индустрии 4.0» помогает решить большое число задач с минимальным участием человека, что с одной стороны приносит неоспоримые преимущества, а с другой - определяет необходимость решения ряда проблемных вопросов [2]. В первую очередь это относится к анализу состояния и выявлению аномалий информационной безопасности (ИБ), связанных со сбоями, отказами, вмешательством злоумышленников и некорректным выполнением процессов.

Таким образом, интеграция КФС в технологические процессы привела к необходимости создания новой методики идентификации состояния ИБ таких систем в условиях воздействия угроз нарушения их информационной безопасности.

Постановка задачи

Исходное признаковое пространство $H = (f_1, f_2, \dots, f_n)$ состоит из n источников данных о процессах хранения, обработки и передачи информации КФС. Имеется конечное множество состояний ИБ $\{C_0, C_1\} = C$, C_0 – множество меток классов безопасных состояний ИБ КФС, C_1 – множество меток классов аномальных (опасных) состояний ИБ, $\{c_1, c_2, \dots, c_k\} = C_0$, $\{c_{k+1}, c_{k+2}, \dots, c_l\} = C_1$, l – число идентифицируемых состояний ИБ КФС.

Требуется разработать методику идентификации нарушений информационной безопасности КФС. В разработанной методике предлагается идентифицировать состояния ИБ элементов КФС на основе анализа временных рядов и выявлений отклонения текущего состояния системы от разрешенных.

Предлагаемый подход

Методика включает в себя три стадии: 1. этап формирования архива идентификаторов источников (АИИ); 2. подготовительный этап; 3. этап идентификации состояния ИБ.

При планировании системы выявления нарушений ИБ происходит выбор анализируемых элементов КФС. Непосредственно разработанная методика основывается на нижеследующей последовательности действий.

На первом этапе происходит моделирование различных состояний ИБ КФС при помощи запуска соответствующих программ или передачи управляющих команд. Целью является получение зависимостей количественных показателей информационных процессов КФС для различных состояний ИБ. Для корректного формирования АИИ требуются значения параметров функционирования КФС за продолжительное время, указанные параметры регистрируются при помощи датчиков или внутренних программно-аппаратных модулей.

Результатом этапа формирования обучающей базы является временный ряд $X = \{\{x_1(t_1), x_2(t_1), \dots, x_n(t_1)\}, \{x_1(t_2), x_2(t_2), \dots, x_n(t_2)\}, \dots, \{x_1(t_m), x_2(t_m), \dots, x_n(t_m)\}\}$, после чего данные преобразуются (центрируются и нормируются) и подаются на вход формирователя информативных признаков.

Формирование уникального для конкретной КФС признакового описания состояний ИБ происходит по алгоритму, описанному в [3], в результате чего на выходе формируется отобранные идентификаторы источников (признаков) $H^* = (f_1, f_2, \dots, f_s)$, которые заносятся в АИИ и подлежат замене только в случае изменения (дополнения, нового формирования) обучающей выборки.

Вторая стадия начинается с получения идентификаторов информативных признаков из АИИ, затем из исходных временных рядов исключаются все значения признаков, отсутствующих в АИИ и формируется кортеж данных $\hat{X} = \{\{x_1(t_1), x_2(t_1), \dots, x_s(t_1)\}, \{x_1(t_2), x_2(t_2), \dots, x_s(t_2)\}, \dots, \{x_1(t_m), x_2(t_m), \dots, x_s(t_m)\}\}$, при этом информативности $I_{f_1} > I_{f_2} > \dots > I_{f_s}$. Каждому моменту времени t поставлена в соответствие метка класса c , отражающая состояние ИБ.

Обучающая и тестовая выборки формируются из кортежа $\hat{X}$, причем 75 % полученных значений используются в качестве обучающего, 25 % в качестве тестового набора. Классифицирующие алгоритмы a_1 - a_n обучаются параллельно и независимо друг от друга на подвыборках.

Завершающим этапом второй стадии является выбор временного отрезка идентификации состояния ИБ Δ . Решающим фактором для выбора Δ является максимизация F-меры результатов классификации для контролируемой КФС.

На заключительной стадии реализации методики, анализируемые данные, представляющие собой кортеж $X^* = \{\{x_1(t_{m-\Delta}), x_2(t_{m-\Delta}), \dots, x_s(t_{m-\Delta})\}, \dots, \{x_1(t_{m-1}), x_2(t_{m-1}), \dots, x_s(t_{m-1})\}, \{x_1(t_m), x_2(t_m), \dots, x_s(t_m)\}\}$ подаются на вход алгоритма, реализующего метод оценивания состояния ИБ элементов КФС, основанный на комбинированном подходе. Полученные результаты ансамбля классификаторов для каждого момента времени по классификаторам a_1 - a_n постобрабатываются при помощи весовых коэффициентов Фишберна, придающих больший вес более поздним результатам идентификации. Заключительным этапом методики является формирование на основе решающего правила итогового результата идентификации состояния ИБ элементов КФС.

Схема предлагаемой методики приведена на рисунке 1.

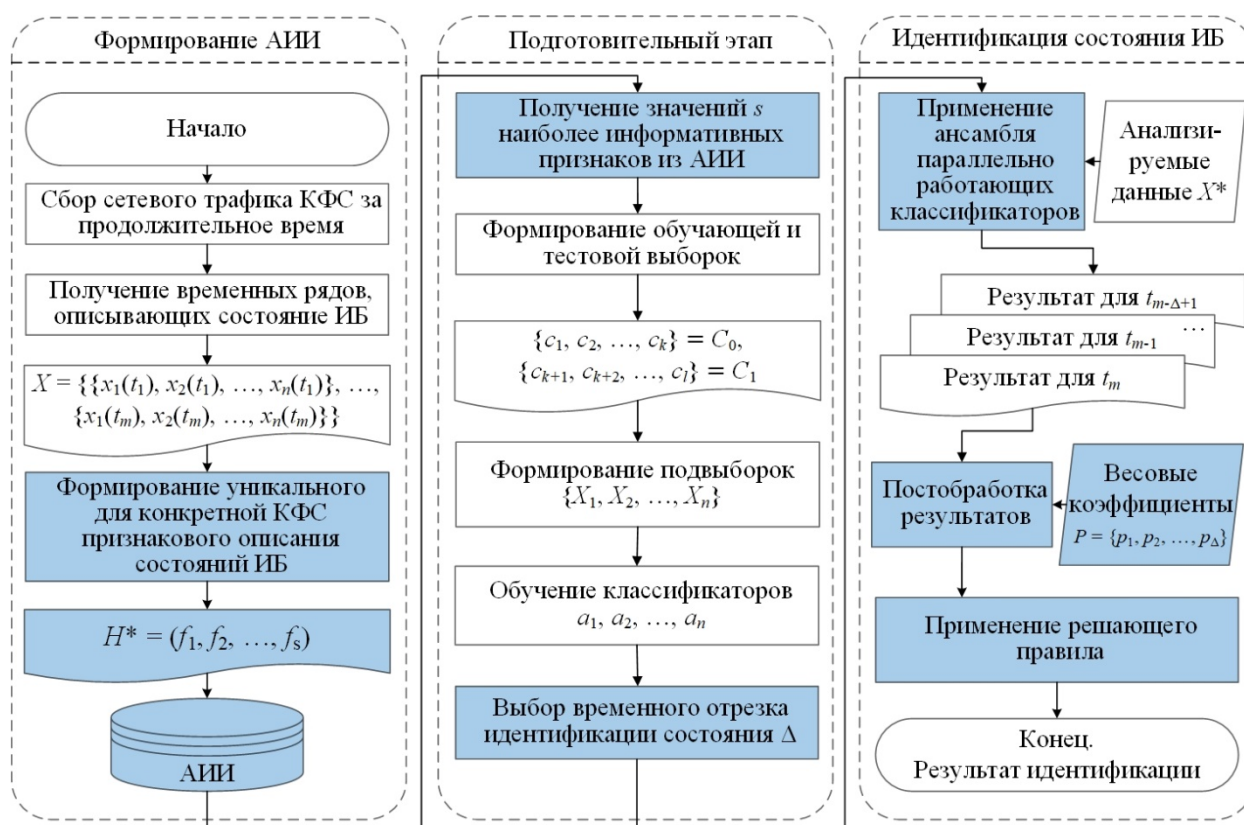


Рис. 1 – Блок-схема методики идентификации состояния ИБ элементов КФС

Таким образом, на основе реализации алгоритма методики производится формирование решения о текущем состоянии ИБ системы и (при необходимости) восстановлении безопасного функционирования КФС и её информационных процессов.

Заключение

Оперативное выявление нарушений ИБ КФС позволяет контролирующей системе или лицу, принимающему решение, принять меры реагирования на возможный инцидент ИБ с целью поддержания безопасного функционирования КФС, что особенно важно для систем критической инфраструктуры и непрерывных производств, в которых простой технологического оборудования может принести серьёзный вред и финансовые потери организации.

Разработанная методика характеризуется большей полнотой идентификации и меньшим временем принятия решения за счёт лишь однократной предобработки исходных данных обучающей и тестовой выборок на этапе формирования информативных признаков и дальнейшего применения классификаторов, работающих параллельно.

Список литературы

1. Сухопаров М.Е., Семенов В.В., Салахутдинова К.И., Лебедев И.С. Выявление аномального функционирования устройств Индустрии 4.0 на основе поведенческих паттернов // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы - 2020. - № 1. - С. 96-102.
2. Сухопаров М.Е., Семенов В.В., Лебедев И.С. Мониторинг информационной безопасности элементов киберфизических систем с использованием искусственных нейронных сетей // Методы и технические средства обеспечения безопасности информации - 2018. - № 27. - С. 59-60.
3. Семенов В.В. Подход к формированию информативных признаков в задачах мониторинга информационной безопасности киберфизических систем // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. - 2021. - Т. 21. - № 6. - С. 887–894.

АННОТАЦИИ
ABSTRACTS

М.Г. Кузнецов, В.С. Минкин, Р.Х. Шагимуллин, В.В. Харьков
ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ
АКУСТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Ключевые слова: Генератор акустической энергии,
акустический нагнетатель, газовая струя.

В работе рассмотрены возможности применения генераторов акустической энергии для средств передвижения в водной среде. Представлена принципиальная схема конструкции и приведены преимущества парогазодинамического реактивного двигателя

А.И. Гималетдинов, А.С. Титовцев
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО
ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ РАСТЕНИЙ НА
ПРИМЕРЕ ЦВЕТКА ИРИСА

Ключевые слова: нейронная сеть,
искусственный интеллект, машинное обучение.

В работе описан процесс создания нейронной сети архитектуры «многослойный перцептрон», обученной и протестированной на наборе данных о цветках ирис. Данная нейронная сеть предназначена для классификации цветка по четырем его входным признакам – длина лепестка, ширина лепестка, длина чашелистика, ширина чашелистика – на три класса – Ирис Щетинистый (Iris Setosa), Ирис Разноцветный (Iris Versicolor), Ирис Виргинский (Iris Virginica).

Д.С. Лобарёв, Д.В. Толбухин
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧИ
ТРЕХ ТЕЛ СРЕДСТВАМИ PYTHON

Ключевые слова: задача трёх тел,
уравнения Ньютона, численные методы, Python, PyQt5,
QtDesigner, Scipy, Matplotlib.

В работе представлены результаты математического моделирования системы трёх обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка для материальных точек – уравнений Ньютона. Для моделирования используется модифицированный численный метод Рунге-Кутты 8-го порядка точности. При разработке приложения использовались интегрированная среда разработки для языка программирования Python – PyCharm, кроссплатформенная свободная среда для разработки графических интерфейсов – QtDesigner, и библиотеки Python SciPy, Matplotlib и PyQt5.

М.М. Ляшева, С.А. Ляшева, М.П. Шлеймович
ФИЛЬТРАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
Пороговой обработки весовых моделей

Ключевые слова: фильтрация изображений, пороговая
обработка, вейвлет-преобразование, весовая модель.

В статье описан подход к фильтрации изображений с использованием пороговой обработки весовых моделей. Рассмотрены вопросы построения весовых моделей на основе дискретных ортогональных вейвлет-преобразований Добеши. Предложена процедура сглаживания изображений на основе описанного подхода.

А.И. Хайбуллина, А.Р. Хайруллин
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В ПУЧКЕ ТРУБ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ LES МЕТОДА

Ключевые слова: пучок труб,
LES, теплообмен, численное моделирование.

В данной работе методом LES исследуются теплообмен при поперечном обтекании коридорного десяти рядного пучка труб. При моделировании использовались LES Smagorinsky, LES WALE и LES WM методы. Число Рейнольдса Re было 2400. Локальные характеристики теплообмена восьмого ряда сравнены с экспериментальными данными. Лучшее совпадение с данными эксперимента получено при использовании LES WALE и LES WM методов.

M.G. Kuznetsov, V.S. Minkin, R.Kh. Shagimullin, V.V. Kharkov
POSSIBILITIES OF USING ACOUSTIC ENERGY
GENERATORS

Keywords: Acoustic energy generator,
acoustic supercharger, gas jet.

The paper considers the possibilities of using acoustic energy generators for vehicles in an aquatic environment. A diagram of the design and the advantages of a steam-gas dynamic jet propulsion are presented.

A.I. Gimaletdinov, A.S. Titovtsev
APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE
METHODS FOR PLANT CLASSIFICATION
ON THE EXAMPLE OF AN IRIS FLOWER

Keywords: neural network,
artificial intelligence, machine learning.

The article presents the process of multilayer perceptron neural network creation which learned and tested on dataset about iris flowers. This neural network destined to classify iris flowers to three classes (Iris Setosa, Iris Versicolor, Iris Virginica) basing on his four parameters (sepals height, sepals width, petal height, petal width).

D.S. Lobaryov, D.V. Tolbukhin
THE MATHEMATICAL MODELING OF THE PROBLEM
OF THREE BODIES BY MEANS OF PYTHON

Keywords: three-body problem, Newton's equations, numerical
methods, Python, PyQt5, QtDesigner, Scipy, Matplotlib.

The paper presents the results of mathematical modeling of the development of a system of three ordinary differential equations of the second order for material points – Newton's equations. The modified Runge-Kutta numerical method of the 8th order of accuracy is used for modeling. The application was developed using an integrated development environment for the Python programming language - PyCharm, a free cross-platform environment for developing graphical interfaces – QtDesigner, and Python libraries such as SciPy, Matplotlib and PyQt5.

M.M. Lyasheva, S.A. Lyasheva, M.P. Shleymovich
IMAGE FILTERING USING THRESHOLD
PROCESSING OF WEIGHT MODELS

Keywords: image filtering,
threshold processing, wavelet transform, weight model.

The article describes an approach to image filtering using threshold processing of weight models. The issues of constructing weight models based on discrete orthogonal wavelet transformations of the Daubechies are considered. A procedure for smoothing images based on the described approach is proposed.

A.I. Khaibullina, A.R. Khairullin
SIMULATION OF HEAT TRANSFER
IN A TUBE BUNDLE USING LES METHOD

Keywords: tube bundle, LES, heat transfer, numerical simulation.
In this work, the LES method is used to study heat transfer in the case of a transverse flow around a ten-row in-line tube bundle. LES Smagorinsky, LES WALE and LES WM methods were used in modeling. The Reynolds number Re was 2400. The local heat transfer characteristics of the eighth row were compared with experimental data. The best agreement with the experimental data was obtained using the LES WALE and LES WM methods.

Е.Г. Царькова

НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОГО
УПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ОХРАННОГО
ПРЕДПРИЯТИЯ

Ключевые слова: охранная деятельность, оптимальное управление, необходимые условия оптимальности,

искусственная нейронная сеть, метод градиентного спуска. Целью исследования является решение актуальной задачи построения оптимальной стратегии управления деятельностью охранного предприятия в условиях конкуренции с другими поставщиками охранных услуг. Отдельное внимание уделено вводу управления процессом с помощью искусственной нейронной сети, используемой для идентификации параметров задачи. Получены соотношения для реализации вычислительного алгоритма построения приближенного оптимального решения.

А.Ю. Барыкин, Р.М. Галиев,

В.М. Нигметзянова, Д.И. Нуретдинов, Р.Х. Тахавиев,
Ш.С. Хуснетдинов, А.М. ФроловСИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ НАГРУЖЕННОСТИ
ФЛАНЦЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ КАРДАННОЙ ПЕРЕДАЧИ

Ключевые слова: трансмиссия автомобиля, карданный вал, фланцевое соединение, нагрузочный режим, динамический момент, температура воздуха.

В статье рассмотрены факторы, определяющие нагруженность деталей карданной передачи трансмиссии автомобиля в реальных условиях эксплуатации. Теоретически и экспериментально подтверждена целесообразность оценки динамики прочностных свойств карданной передачи при работе в зимнее время. Изложены основы методики расчёта фланцевого соединения карданной передачи, позволяющей учесть влияние отрицательных температур атмосферного воздуха.

Д.С. Горбатенко

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО
ДВИЖЕНИЯ ВБЛИЗИ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫХ
КОМПЛЕКСОВ

Ключевые слова: безопасность дорожного движения, дорожно-транспортное происшествие, улично-дорожная сеть, транспортно-пересадочные комплексы, нарушения правил дорожного движения, профилактика аварийности.

В статье рассматривается проблематика дорожно-транспортной аварийности вблизи транспортно-пересадочных комплексов. Проведен анализ основных причин возникновения дорожно-транспортных происшествий вблизи транспортно-пересадочных комплексов. Предложены и теоретически обоснованы мероприятия по профилактике безопасности дорожного движения в таких местах.

А.В. Запорожцев, В.И. Хазова, В.И. Хазова

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ВЫЯВЛЕНИЮ
ТРЕБОВАНИЙ В ЗАДАЧЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТОИР

Ключевые слова: стейкхолдер, требование, формулировка требований, улучшение процесса, модернизация, целевая система.

В статье на примере деятельности по ТОиР описывается процесс анализа модели системы с точки зрения выявления функциональной связности между функциями, выполняемыми различными стейкхолдерами. Наличие такой связи позволяет уточнить требования, предъявляемые ими к системе. Это позволит внести необходимые изменения в рассматриваемый процесс и устранить нежелательные явления.

В.А. Короваев, А.А. Сатаев, В.В. Андреев

СИСТЕМНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА
ТЕПЛООТДАЧИ ПРИ СВОБОДНОЙ КОНВЕКЦИИ
ВОДЯНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ВОКРУГ
ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ЦИЛИНДРА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ
ВНЕШНИХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИЛ

Ключевые слова: свободная конвекция, внешние динамические

E.G. Tsarkova

NEURAL NETWORK MODEL OF OPTIMAL
MANAGEMENT OF THE SECURITY COMPANY

Keywords: security activity, optimal management, necessary optimality conditions, artificial neural network, gradient descent method.

The purpose of the study is to solve the urgent problem of building an optimal strategy for managing the activities of a security company in competition with other security service providers. Special attention is paid to the input of process control using an artificial neural network used to identify the parameters of the task. The relations are obtained in order to implement a computational algorithm for constructing an approximate optimal solution.

A.Yu. Barykin, R.M. Galiev,

V.M. Nigmatzyanova, D.I. Nuretdinov, R.Kh. Takhaviev,
Sh.S. Husnetdinov, A.M. FrolovSYSTEM ANALYSIS OF THE LOAD OF THE FLANGE
CONNECTION OF THE CARDAN TRANSMISSION

Keywords: vehicle transmission, driveshaft, flange connection, load mode, dynamic torque, air temperature. The article considers the factors determining the loading of the details of the driveline transmission of the car in real operating conditions. Theoretically and experimentally, the expediency of assessing the dynamics of the strength properties of the cardan transmission during operation in winter has been confirmed. The basics of the methodology for calculating the flange connection of the cardan transmission, which allows taking into account the influence of negative atmospheric temperatures, are described.

D.S. Gorbatenko

ENSURING TRAFFIC SAFETY NEAR TRANSPORTATION
COMPLEXES

Keywords: traffic safety, traffic accident, road network, transport interchange complexes, violations of traffic rules, accident prevention.

The article deals with the problems of road traffic accidents near transport interchange complexes. The analysis of the main causes of traffic accidents near transport interchange complexes was carried out. Proposed and theoretically substantiated measures for the prevention of road safety in such places.

A.V. Zaporozhtsev, V.I. Khazova, V.I. Khazova

A FUNCTIONAL APPROACH
TO IDENTIFYING REQUIREMENTS IN IMPROVING
MAINTENANCE AND REPAIR

Keywords: stakeholder, requirement, requirement formulation, process improvement, modernization, target system

The article describes the process of system model analysis in terms of identifying the functional relationship between the functions performed by different stakeholders on the example of maintenance and repair activities. The presence of such a link allows us to clarify the requirements they impose on the system. This will allow us to make the necessary changes in the process, and to eliminate the undesirable phenomena.

V.A. Korovaev, A.A. Sataev, V.V. Andreev

SYSTEMATIC STUDY OF THE HEAT TRANSFER
PROCESS WITH FREE CONVECTION OF A WATER
COOLANT AROUND A HORIZONTAL CYLINDER UNDER
THE INFLUENCE OF EXTERNAL DYNAMIC FORCES

Keywords: free convection, external dynamic forces, model experiment.

силы, модельный эксперимент, теплоотдача.

В работе представлены результаты теплофизического эксперимента на исследовательском стенде. Основной целью является системное рассмотрение влияния воздействия внешних динамических сил на теплоотдачу при свободной конвекции водяного теплоносителя. Были получены значения характерных температур в модели, коэффициент теплоотдачи для различных случаев.

А.Ю. Унгер

ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ФОРМАЛЬНОЙ ГРАММАТИКИ

Ключевые слова: формальная грамматика, дерево разбора, дифференциальный анализ.

В работе предложен метод оценки потенциальной уязвимости информационной системы на базе анализа расхождений деревьев разбора, полученных для одного сообщения на передающей и принимающей стороне. Показано, что многие существующие протоколы обмена допускают неоднозначное толкование одного и того же сообщения, что создает прецедент для атак на систему, используя эту неоднозначность. Показано, что традиционные методы защиты, которые основываются на анализе вводимых данных с помощью конечных автоматов, не всегда являются эффективными. Предложены основные направления развития практических методов дифференциального анализа деревьев разбора.

Н.Н. Алаева, Р.Н. Зарипова

ОЦЕНКА РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ (ПО ПЛОТНОСТИ)

Ключевые слова: датчики давления, разрешающая способность, определение плотности жидкости.

В работе приведена оценка разрешающей способности датчиков давления при определении плотности жидкости по давлениям, измеренным в двух точках. Оценка проводится для выбора аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Рассмотрены примеры определения плотности смеси по двум манометрам, которые показывают, что измеряя давление можно определять динамические уровни и плотности смеси общие и отдельно по компонентам, включая попутный газ.

В.В. Дорошенко, А.В. Просвилов, С.В. Литвинов ОРГАНИЗАЦИЯ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ НА БАЗЕ БПЛА ПОСРЕДСТВОМ УПРАВЛЕНИЯ С БАЗОВОЙ СТАНЦИИ

Ключевые слова: АФАР, БПЛА, антенна, дрон, радиолокация, навигация.

В настоящее время в системах БПЛА применяются различные типы связи приема и передачи данных. В данной работе рассматривается модель поведения комплекса АФАР-БПЛА. Производится определение необходимых параметров для навигации и обнаружения наземных, воздушных и морских объектов.

Л.Д. Ибрагимов, И.И. Нуреев,

Рин.Ш. Мисбахов, В.В. Садчиков, Л.М. Сарварова

МАКЕТИРОВАНИЕ БРЭГГОВСКОГО ОПТИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ТРАНСФОРМАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ

Ключевые слова: оптический измерительный трансформатор напряжения/тока; закон Фарадея; закон Ампера, электроотрицательность в оптических волокнах; трехкомпонентная адресная волоконная брэгговская структура; макет.

Высоковольтные оптические трансформаторы напряжения (ОТН) и тока (ОТТ) появились на рынке несколько лет назад, открыв новую эру учета электроэнергии в энергетике и промышленности, как постоянного, так и переменного тока. Принципы работы одного типа ОТТ/ОТН основаны на явлении вращения плоскости поляризации света в продольном магнитном поле, открытом Фарадеем (1831 г.). В данной

The paper presents the results of a thermophysical experiment at a research stand. The main goal is to systematically consider the effect of external dynamic forces on heat transfer during free convection of a water coolant. The values of characteristic temperatures in the model and the heat transfer coefficient for various cases were obtained.

A.Y. Unger

AN ESTIMATE OF INFORMATION SYSTEM SECURITY BASED ON FORMAL GRAMMAR

Keywords: formal grammar, parse tree, differential analysis.

The paper proposes a method for assessing the potential vulnerability of an information system based on the analysis of the divergences of parse trees obtained for one message on the transmitting and receiving sides. It is shown that many existing data exchange protocols allow ambiguous interpretation of the same message, which creates a precedent for attacks on the system using this ambiguity. It is shown that traditional protection methods, which are based on the analysis of input data using finite state machines, are not always effective. The main directions of development of practical methods for differential analysis of parse trees are proposed.

N.N. Alaeva, R.N. Zaripova

EVALUATION OF THE RESOLUTION OF PRESSURE SENSORS (BY DENSITY)

Keywords: pressure sensors, resolution, determination of liquid density.

The paper presents an assessment of the resolution of pressure sensors when determining the density of a liquid from pressures measured at two points. The evaluation is carried out to select an analog-to-digital converter (ADC). Examples of determining the density of a mixture using two pressure gauges are considered, which show that by measuring the pressure, it is possible to determine the dynamic levels and densities of the mixture in general and separately by components, including associated gas.

V.V. Doroshenko, A.V. Prosvirov, S.V. Litvinov ORGANIZATION OF A PHASED ARRAY ANTENNA BASED ON A UAV BY MEANS OF CONTROL FROM A BASE STATION

Keywords: active phased array antenna, unmanned aerial vehicle, antenna, drone, radar, navigation. Currently, various types of data reception and transmission communication are used in UAV systems. In this paper, the behavior model of the AFAR-UAV complex is considered. The necessary parameters for navigation and detection of land, air and sea objects are determined.

L.D. Ibragimov, I.I. Nureev,

Rin.Sh. Misbakhov, V.V. Sadchikov, L.M. Sarvarova BUILD-UP OF BRAGG OPTICAL VOLTAGE/CURRENT MEASURING TRANSFORMER

Keywords: optical measuring voltage/current transformer; Faraday's law; Ampère's law, electrostriction in optical fibers; three-component addressable fiber Bragg structure; set-up. As a stage of preliminary testing of the measurement method proposed by us, based on voltage conversion with the transfer of the obtained electrostrictive strains on a three-component addressable fiber Bragg structure and further conversion of the change in the wave shift of the grating, a complete prototyping of an optical voltage measuring transformer was carried out for experimental confirmation the existence of the described effect and the evaluation of the parameters of the developed layout. The

работе впервые проанализированы ОТТ/ОТН функциональная схема и волоконно-оптическая конструкция которых основана на законе Ампера (1820 г.), свободного от недостатков известных устройств, использующих закон Фарадея. Однако определены недостатки схемы Ампера, которые пока не позволяют им заменить схемы Фарадея в ОТТ/ОТН. В результате использована схема на эффекте электрострикции.

В.И. Курир
ГИДРОГЕНЕРАТОР ДЛЯ КАМСКОЙ ГЭС

Ключевые слова: гидрогенератор,
поворотно-лопастная турбина.

В работе приведен расчет гидрогенератора мощностью $S_H = 34,45$ МВА ($P_H = 29,92$ МВт), предназначенного для действующих на Камской ГЭС 23 поворотно-лопастных гидротурбин ПВЛ20-В-500, максимальная мощность которых достигает $28 \div 29$ МВт, взамен действующего гидрогенератора ВГС-700/100-48 $S_H = 30$ МВА ($P_H = 24$ МВт). Последний проектировался, в первую очередь, для работы с поворотно-лопастными гидротурбинами мощностью 24 МВт, функционирующих ранее на Камской ГЭС.

И.А. Ломухин
СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ
КОМПЛЕКСОМ ГЕОЛОГО-ТЕХНИЧЕСКИХ
МЕРОПРИЯТИЙ

Ключевые слова: Геолого-технические мероприятия,
добывающая скважина, система автоматизированного
управления.

В работе представлено решение задачи по оптимизации количества ресурсов, затрачиваемых на определение состава комплекса геолого-технических мероприятий, направленных на повышение эффективности эксплуатации добывающего фонда скважин, посредством создания прикладного инструмента. Основные задачи для разработанного программного модуля «Подбор комплекса геолого-технических мероприятий»: поиск оптимального соотношения методов воздействия на скважины к времени простоя скважин, расчёт минимального эффективного объема мероприятий по каждой скважине индивидуально, повышение уровня экономической устойчивости всей добывающей системы в целом.

В.В. Морозов, И.В. Беляев,
Н.С. Довбыш, А.С. Разносчиков, А.В. Жданов
УВЕЛИЧЕНИЕ ТВЕРДОСТИ И ИЗНОСОСТОЙКОСТИ
ДЕТАЛЕЙ АРМАТУРЫ НА АВТОМАТИЗИРОВАННОМ
КОМПЛЕКСЕ ЛАЗЕРНОЙ МОДИФИКАЦИИ
ПОВЕРХНОСТИ

Ключевые слова: автоматизированный лазерный комплекс,
лазерная модификация, детали арматуры, твердость,
износостойкость.

В работе было исследовано влияние лазерной модификации поверхности на физико-механические и трибологические характеристики деталей арматуры из легированной стали 100CrMn6. Для проведения модификации использовался автоматизированный лазерный комплекс российского производства. Модификация проводилась на различных режимах лазерной обработки по разработанным программам и траекториям. Варьировались мощность лазерного излучения, скорость перемещения лазерного луча относительно обрабатываемой поверхности и фокусное расстояние. Было установлено, что показатели твердости и износостойкости поверхностных слоев деталей сильно зависят от режимов лазерной обработки. Зависимости эти носят экстремальный характер, имеют максимумы и минимумы.

tests performed showed that the wavelength shift observed during the applied voltage occurs at a doubled frequency (due to the squareness of the effect), and the shift amplitude varies in the range of 0.01 to 0.11 arb. units when the applied voltage changes from 0 to 8 kV. For further research, a more detailed study of Ampere effect OTV/OTC circuits based on fiber optic technologies is required.

V.I. Kurir
HYDROGENERATOR FOR KAMA HPP

Keywords: hydrogenerator, Kaplan turbine.

The paper presents a calculation of the design of a hydrogenerator with a capacity of $S_{nom} = 34.45$ MVA ($P_{nom} = 29.92$ MW), intended for 23 Kaplan PVL20-V-500 turbines operating at the Kama HPP, the maximum capacity of which reaches $28 \div 29$ MW, in place of the existing HCV-700/100-48 hydrogenerator. The latter was designed, first of all, to work with Kaplan turbines with a capacity of 24 MW, previously operating at the Kama HPP.

I.A. Lomukhin
AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR A COMPLEX
OF GEOLOGICAL AND TECHNICAL MEASURES

Keywords: Geological and technical measures,
producing well, automated control system.

The paper presents a solution to the problem of optimizing the amount of resources spent on determining the composition of a complex of geological and technical measures aimed at improving the efficiency of operation of the producing fund of wells by creating an applied tool. The main tasks for the developed software module "Selection of a complex of geological and technical measures": search for the optimal ratio of methods of influencing wells to the downtime of wells, calculation of the minimum effective amount of measures for each well individually, increasing the level of economic stability of the entire mining system as a whole.

V.V. Morozov, I.V. Belyaev,
N.S. Dovbysh, A.S. Raznoschikov, A.V. Zhdanov
THE EFFECT OF LASER SURFACE TREATMENT
ON THE HARDNESS AND TRIBOLOGICAL
CHARACTERISTICS OF STEEL SHH15SG

Keywords: bearing steel, laser treatment, surface layer,
microstructure, hardness, wear resistance.

The effect of laser surface modification on physical, mechanical and tribological characteristics in alloy steel 100CrMn6 was investigated. An automated Russian-made laser system was used to carry out the modification. The modification was carried out in various modes of laser processing according to the developed programs. The power of laser energy, the speed of movement of laser beam relative to the treated surface and the focal length are among variable parameters. It was found that the hardness and wear resistance of the surface layers strongly depend on the laser treatment modes. These dependencies have maxima and minima, which indicates their extreme nature.

Н.Г. Семенова, Л.А. Влацкая, А.М. Семенов
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ
ПО РАЗВИТИЮ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
КОММУНАЛЬНО-СЕТЕВЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Ключевые слова: система электроснабжения,
альтернатива развития, принятие решения.

Статья посвящена разработке прикладной программы принятия решения по развитию систем электроснабжения коммунально-сетевых предприятий. В программе предложено выделить 2 программно связанных модуля. Первый модуль осуществляет кластеризацию систем электроснабжения на основе алгоритма k-means (k-средних), второй – выбор наилучшей альтернативы развития для систем электроснабжения исследуемых коммунально-сетевых предприятий посредством метода ранжирования.

С.С. Емельянова, Н.Н. Иващенко, Е.А. Киселева
ИССЛЕДОВАНИЕ НОВЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ
ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И
ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ В НОВЫХ ВЕРСИЯХ
ФАЙЛОВОЙ СИСТЕМЫ LUSTRE

Ключевые слова: администрирование,
отказоустойчивость, Lustre, файловые системы, Luster.

В данной работе освещаются такие темы как администрирование кластерных файловых систем. На частном примере показаны возможности и сложности внедрения/обновления файловой системы Lustre. Сделаны выводы по результатам тестирования.

В.В. Семенов
МЕТОДИКА ИДЕНТИФИКАЦИИ СОСТОЯНИЯ
ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ
КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Ключевые слова: информационная безопасность,
функциональная безопасность, киберфизические системы.

Предложена методика идентификации состояния информационной безопасности киберфизических систем, позволяющая достичь необходимой точности, сократив при этом временные затраты на обработку многомерных данных, поступающих от систем мониторинга. Методика отличается от существующих увеличением скорости идентификации состояния информационной безопасности элементов киберфизических систем за счёт уменьшения размерности обрабатываемых данных и идентификации состояния на основе решающего правила, учитывающего значения временных рядов, полученные за предшествующие моменты времени. Результаты, представленные в статье, дают инструмент для автоматизированной оценки состояния киберфизических систем с более высокой полнотой и точностью.

N.G. Semenova, L.A. Vlatskaya, A.M. Semenov
AUTOMATION OF THE DECISION-MAKING PROCESS
ON THE DEVELOPMENT OF POWER SUPPLY SYSTEMS
OF UTILITY GRID ENTERPRISES

Keywords: power supply system,
alternative development, decision-making.

The article is devoted to the development of an application program for making decisions on the development of power supply systems for utility grid enterprises. The program proposed to allocate 2 programmatically related modules. The first module carries out clustering of power supply systems based on the k-means algorithm, the second one selects the best development alternative for the power supply systems of the studied utility companies using the ranking method.

S.S. Emelyanova, N.N. Ivaschenko, E.A. Kiseleva
INVESTIGATION OF NEW OPPORTUNITIES FOR
IMPROVING PERFORMANCE AND FAULT TOLERANCE
IN NEW VERSIONS OF THE LUSTRE FILE SYSTEM

Keywords: administration,
fault tolerance, Luster, file systems, Luster.

This paper covers such topics as the administration of clustered file systems. A particular example shows the possibilities and difficulties of implementing/updating the Luster file system. Conclusions based on the test results.

V.V. Semenov
METHODOLOGY FOR IDENTIFYING THE STATE OF
INFORMATION SECURITY OF ELEMENTS OF CYBER-
PHYSICAL SYSTEMS

Keywords: information security,
functional safety, cyber-physical systems.

A methodology for identifying the state of information security of cyber-physical systems was proposed, methodology makes it possible to achieve the required precision, while reducing the time spent on processing multidimensional data coming from monitoring systems. The technique differs from the existing ones by increasing the speed of identifying the state of information security of elements of cyber-physical systems by reducing the dimension of the processed data and identifying the state based on a decision rule that takes into account the values of the time series obtained for previous points in time. The results presented in the article provide a tool for automated assessment of the state of cyber-physical systems with higher recall and precision.

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**

№10 2022

Направления:

- 1.2.2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ
МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ (технические науки)**
- 2.3.1. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА
ИНФОРМАЦИИ (технические науки)**
- 2.3.3. АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ
ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ (технические науки)**
- 2.3.5. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ
СЕТЕЙ (физико-математические науки)**
- 2.3.5. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ
СЕТЕЙ (технические науки)**
- 2.3.6. МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ,
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
(физико-математические науки)**

www.ntvprrt.ru

Реестровая запись от 08.05.2019 серия ПИ № ФС 77 -75732
Подписано в печать 26.10.2022 Формат А4. Печать цифровая.
Дата выхода в свет 26.10.2022
8,4 усл.печ.л. 9,6 уч.изд.л. Тираж 500 экз. Заказ 4370.

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»