

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ**

№2 2021

Направления:

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

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

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

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

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

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

**Казань
2021**

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №2 2021г. – Казань: ООО «Рашин Сайнс», 2021. – 96 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.ntvr.ru, и в Научной электронной библиотеке (участвует в программе по формированию РИНЦ).

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

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

Главный редактор Р.Х. Шагимуллин

Редакционная коллегия

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

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

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

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

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

УДК 60

ББК 30-1

ISSN 2079-5920

© Рашин Сайнс, 2021 г.

СОДЕРЖАНИЕ

05.13.01 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

<i>С.С. Акимов, В.А. Трипкош</i> ПРИМЕНЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВАРИАЦИИ В ВОПРОСЕ РАЗЛИЧЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ДИСКРЕТНЫХ ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ	7
<i>В.С. Вилков, В.И. Мельников</i> ОБЗОР ДАТЧИКОВ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ДЛЯ РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК С ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ	11
<i>Р.М. Галиев, З.А. Аюкин, А.Ю. Барыкин, Д.И. Нуретдинов</i> АНАЛИЗ И МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ОТРЕМОНТИРОВАННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ КАМАЗ-740.10	14
<i>Г.С. Малышев, И.В. Друмов, И.А. Иляхинский, М.А. Камнев, О.В. Андреева, А.А. Абрамов</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕДОБУЧЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ НА ИЗДЕЛИЯХ ИЗ СИЛИЦИРОВАННОГО ГРАФИТА В АО «ОКБМ АФРИКАНТОВ»	17
<i>Н.М. Чиганова</i> ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПЫТАНИЯ ИЗДЕЛИЙ НА НАДЕЖНОСТЬ В ПЕРЕМЕННОМ РЕЖИМЕ	21

05.13.06 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

<i>М.М. Аль Окаби, Ю.Н. Матвеев</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ В ВИДЕОПОТОКЕ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТЕКЛОДРОТОВ	24
<i>Т.Н. Караневская, А.Г. Шумихин</i> ОЦЕНКА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОБЪЕКТОВ ПРОМЫСЛОВОЙ ПОДГОТОВКИ НЕФТИ КАЧЕСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ ОБВОДНЕННОСТИ ТИПОВЫМИ АВТОМАТИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ	28
<i>О.Ю. Снегирев, И.Ж. Козенко, В.В. Попов</i> РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОГО ВИРТУАЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА ДЛЯ МАССООБМЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА	33
<i>О.Ю. Снегирев, И.Ж. Козенко, В.В. Попов</i> ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ КЛАСТЕРИЗАЦИИ В РАЗРАБОТКЕ АДАПТИВНЫХ ВИРТУАЛЬНЫХ АНАЛИЗАТОРОВ ДЛЯ УСТАНОВКИ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ	37
<i>А.Р. Фардеев, Ф.Д. Байрамов, Б.Ф. Байрамов, А.А. Фардеев</i> ВЫВОД УРАВНЕНИЯ, ОПИСЫВАЮЩЕГО РАБОТУ НАСОСА МАНИПУЛЯТОРА ПРИ УПРАВЛЕНИИ ЕГО РАБОЧИМ ОБЪЕМОМ	42
<i>А.Р. Фардеев, Л.А. Феоктистова, Т.В. Рзаева, Р.Г. Марданишин</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕАКЦИЙ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ПОДВИЖНЫЕ ЧАСТИ МОДУЛЕЙ ПОДВИЖНОСТИ СО СТОРОНЫ НЕПОДВИЖНЫХ ЧАСТЕЙ МАНИПУЛЯТОРА	46
<i>Т.В. Хрипко</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ КНР	50

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

<i>С.Л. Сьянов, А.А. Антонов, И.В. Дорогина</i> СТРУКТУРИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОИСКА И РАССЫЛКИ ИНФОРМАЦИИ С ИНТЕГРАЦИЕЙ В МЕССЕНДЖЕР	53
---	----

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

<i>С.В. Ерохин, С.В. Шашкин</i> ПРИМЕНЕНИЕ ЧИСЛЕННО-АНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В МОДЕЛИРОВАНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ	57
<i>А.Д. Зиганишин, Л.Ш. Ахтямова, И.З. Гатиятов, Л.С. Сабитов, И.К. Киямов</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ СООРУЖЕНИЙ БАШЕННОГО ТИПА	61
<i>А.Д. Зиганишин, Л.Ш. Ахтямова, Л.С. Сабитов, О.В. Радайкин, И.К. Киямов</i> ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ СООРУЖЕНИЙ БАШЕННОГО ТИПА В ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСАХ ANSYS И ЛИРА-САПР	65
<i>Т.О. Корепанова, Е.А. Николаева</i> ДАТЧИКИ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ И МАССОВОЙ СКОРОСТИ НА РАЗРЕЗНОМ СТЕРЖНЕ ГОПКИНСОНА-КОЛЬСКОГО	68
<i>А.В. Лазарева А.В. Дорошенко</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДА	71
<i>Ю.И. Фёдоров, В.Д. Павлидис</i> ОЦЕНКА ПРИРАЩЕНИЯ (ПАДЕНИЯ) СРЕДНЕОБЪЁМНОЙ ПЛОТНОСТИ КИСЛОРОДА В ПОМЕЩЕНИЯХ ЗДАНИЙ В ИНТЕГРАЛЬНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПОЖАРА В НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ	76
<i>А.Г. Шляхова, А.Т. Шляхов, И.А. Мутугуллина, О.А. Шипилова, М.Ю. Филимонова</i> ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЕЩЕСТВ: ИННОВАЦИИ И ДОСТИЖЕНИЯ	80

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

<i>А.А. Воробьева, И.Ю. Попов</i> ГЛОБАЛЬНЫЕ УГРОЗЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И МОДЕЛЬ МЕЖДУНАРОДНОЙ КИБЕР ПРЕСТУПНОСТИ	86
---	----

АННОТАЦИИ	89
------------------	----

THE RELEASE MAINTENANCE

05.13.01 — TECHNICAL SCIENCES — SYSTEM ANALYSIS, MANAGEMENT AND INFORMATION PROCESSING

<i>S.S. Akimov, V.A. Tripkosh</i> APPLICATION OF THE COEFFICIENT OF VARIATION IN THE ISSUE OF DISTINGUISHING SOME DISCRETE DISTRIBUTION LAWS	7
<i>V.S. Vilkov, V.I. Melnikov</i> OVERVIEW OF SENSITIVE ELEMENTS OF PROSPECTIVE LEVEL SENSORS FOR REACTOR PLANTS WITH LIQUID METAL COOLANT	11
<i>R.M. Galiev, Z.A. Ayukin, A.Yu. Barykin, D.I. Nuretdinov</i> ANALYSIS AND METHOD OF INCREASING THE RELIABILITY OF REPAIRED KAMAZ-740.10 ENGINES	14
<i>G.S. Malyshev, I.V. Drumov, I.A. Ilyakhinsky, M.A. Kamnev, O.V. Andreeva, A.A. Abramov</i> USE OF A PRETRAINED NEURAL NETWORK FOR DETECTING DEFECTS ON PRODUCTS FROM SILICATED GRAPHITE IN JSC «OKBM AFRICANTS»	17
<i>N.M. Chiganova</i> POSSIBILITY OF PRODUCTS TESTING FOR RELIABILITY IN VARIABLE MODE	21

05.13.06 — TECHNICAL SCIENCES — AUTOMATION AND MANAGEMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND PRODUCTION

<i>M.M. Alaqabi, Y.N. Matveev</i> USING A DEEP LEARNING NEURAL NETWORK TO DETECT DEFECTS IN THE VIDEO STREAM IN THE PRODUCTION OF GLASSWORMS	24
<i>T.N. Karanevskaya, A.G. Shumikhin</i> ASSESSMENT OF THE QUALITY OF WATER CUT CONTROL BY STANDARD AUTOMATIC SYSTEMS IN THE DESIGN OF FIELD OIL TREATMENT FACILITIES	28
<i>O.Yu. Snegirev, I.Zh. Kozenko, V.V. Popov</i> DEVELOPMENT OF AN ADAPTIVE SOFT SENSOR FOR MASS TRANSFER TECHNOLOGICAL PROCESS	33
<i>O.Yu. Snegirev, I.Zh. Kozenko, V.V. Popov</i> APPLICATION OF CLUSTERING METHODS IN THE DEVELOPMENT OF ADAPTIVE SOFT SENSORS FOR A PRIMARY OIL REFINING UNIT	37
<i>A.R. Fardeev, F.D. Bairamov, B.F. Bairamov, A.A. Fardeev</i> THE DERIVATION OF AN EQUATION DESCRIBING THE OPERATION OF A MANIPULATOR PUMP WHEN CONTROLLING ITS WORKING VOLUME	42
<i>A.R. Fardeev, L.A. Feoktistova, T.V. Rzaeva, R.G. Mardanshin</i> THE DETERMINATION OF REACTIONS ACTING ON THE MOVING PARTS OF MOBILITY MODULES ON THE SIDE OF THE STATIONARY PARTS OF THE MANIPULATOR	46
<i>T.V. Khripko</i> RESEARCH OF APPLICATION OF INFORMATION MODELING TECHNOLOGIES IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY OF KNR	50

05.13.11 — TECHNICAL SCIENCES — MATHEMATICAL AND SOFTWARE OF COMPUTERS, COMPLEXES AND COMPUTER NETWORKS

<i>S.L. Syanov, A.A. Antonov, I.V. Dorogina</i> STRUCTURING THE PROCESS OF SEARCHING AND SENDING INFORMATION WITH INTEGRATION INTO THE MESSENGER	53
--	----

05.13.18 — TECHNICAL SCIENCES — MATHEMATICAL MODELING, NUMERICAL METHODS AND PROGRAM COMPLEXES

<i>S.V. Erokhin, S.V. Shashkin</i> APPLICATION OF NUMERICAL AND ANALYTICAL METHODS IN MODELING OF BUILDING STRUCTURES	57
---	----

<i>A.D. Ziganshin, L.Sh. Akhtyamova, I.G. Gatyatov, L.S. Sabitov, I.K. Kyamov</i> DETERMINATION OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE STRUCTURE OF A TOWER-TYPE STRUCTURE	61
<i>A.D. Ziganshin, L.Sh. Akhtyamova, L.S. Sabitov, O.V. Radaykin, I.K. Kyamov</i> NUMERICAL SIMULATION OF TOWER-TYPE STRUCTURES IN ANSYS AND LIRA-CAD SOFTWARE SYSTEMS	65
<i>T.O. Korepanova, E.A. Nikolaeva</i> OPTICAL DISPLACEMENT GAUGE AND ELECTROMAGNETIC MASS VELOCITY SPEED GAUGE ON A SPLIT HOPKINSON–KOLSKY PRESSURE BAR	68
<i>A.V. Lazareva, A.V. Doroshenko</i> MODELING OF HEAT AND HYDRAULIC MODES OF THE CITY HEAT SUPPLY SYSTEM	71
<i>Y.I. Fedorov, V.D. Pavlidis</i> ESTIMATION OF THE INCREASE (DROP) OF THE AVERAGE VOLUME DENSITY OF OXYGEN IN BUILDING INDUSTRIES IN THE INTEGRAL MATHEMATICAL MODEL OF A FIRE IN THE INITIAL STAGE	76
<i>A.G. Shlyakhova, A.T. Shlyakhov, I.A. Mutygullina, O.A. Shipilova, M.Y. Filimonova</i> THERMAL ANALYSIS OF SUBSTANCES: INNOVATIONS AND ACHIEVEMENTS	80
 05.13.19 — PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES — METHODS AND SYSTEMS OF INFORMATION SECURITY, INFORMATION SECURITY	
<i>A.A. Vorobeva, I.U. Popov</i> DETECTION OF NETWORK DISTRIBUTED ATTACKS BASED ON THE GRADIENT BOOTING ALGORITHM	86
ABSTRACTS	89

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

05.13.01

С.С. Акимов, В.А. Трипкош канд. техн. наукОренбургский государственный университет,
sergey_akimov_work@mail.ru**ПРИМЕНЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВАРИАЦИИ В ВОПРОСЕ РАЗЛИЧЕНИЯ
НЕКОТОРЫХ ДИСКРЕТНЫХ ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ**

Рассматривается проблема совершенствования процесса восстановления дискретного закона распределения вероятности по коэффициенту вариации данных в массиве. Проверено влияние параметров закона распределения на коэффициент вариации данных, рассчитаны критические значения коэффициента для данных различной размерности, позволяющих идентифицировать некоторые дискретные законы распределения.

Ключевые слова: *коэффициент вариации, параметры распределения, критические значения, закон распределения вероятности.*

Введение. Одним из ключевых направлений развития науки и техники в настоящее время являются системы поддержки принятия решения. Приложение данных систем и круг решаемых ими задач настолько широки, что охватывают практически все сферы человеческой деятельности. Вместе с совершенствованием систем поддержки совершенствуются и системы обработки информации, адаптируясь к новым запросам настоящего.

Теория. Как известно, абсолютное большинство данных, обрабатываемых современными информационными продуктами, представлено случайными величинами. Основными методами работы с такими данными являются методы математической статистики. При этом исчерпывающей характеристикой при формализации массива данных является закон распределения вероятности, которому подчиняется данный массив [1]. Поэтому задача восстановления закона распределения вероятности, с одной стороны, является актуальной, а с другой – сопряжена с рядом трудностей. Законы распределения вероятностей по своей природе настолько разнообразны, что единый подход к их оценке конкретным методом является несостоятельным [2].

Вопросам оценки закона распределения вероятности, исходя лишь из массива данных, посвящено немало работ [3], [4]. При этом, в абсолютном большинстве, исследователи рассматривают исключительно непрерывные законы распределения. Однако дискретные законы распределения применяются также достаточно широко в различных областях науки [5].

Для дискретных законов распределения характерны многие особенности непрерывных законов распределения – симметричность, характеристика вершин и т.д. При этом существуют и другие особенности, характерные только для данного вида законов распределения. Например, известно, что ввиду относительно малого разброса данных справедливо неравенство $x > \sigma$. Откуда следует, что некоторые дискретные законы распределения могут быть различимы по коэффициенту вариации V , который, как известно, определяется по формуле:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad (1)$$

В работе использовалось данное свойство в качестве определения дискретного закона распределения вероятности.

Цель исследования: обосновать применимость коэффициента вариации для различения некоторых дискретных законов распределения вероятности.

Результаты и обсуждение. В качестве основных законов распределения, на которых производилась вычислительная работа, взяты геометрическое, гипергеометрическое, биномиальное, отрицательное биномиальное, равномерное дискретное распределения, а также распределения Бернулли и Пуассона. Данные законы распределения достаточно часто встречаются в различных экономико-математических трудах, к тому же в большинстве пактов прикладных программ существует возможности генерации массивов, подчиняющихся подобным законам распределения [6].

Установлено, что для каждого из указанных законов распределения коэффициент вариации распределяется не нормально. Данное обстоятельство определило использование критерия Смирнова в целях проверки однородности. Результат проверки представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Проверка влияния параметров некоторых дискретных законов распределения на коэффициент вариации

Распределения	Параметры	Задаваемые значения		Med		D_n	P-значение
		Нач.	Кон.	Нач.	Кон.		
Равномерное дискретное	a	0	9	0,361	0,389	0,072	0,261
	b	10	100	0,361	0,391	0,034	0,538
Геометрическое	p	0,3	0,8	1,881	2,656	0,564	0,173
Гипергеометрическое	k	10	40	0,503	0,505	0,004	0,367
	D	50	90	0,503	0,493	0,098	0,338
	N	100	1000	0,503	0,482	0,134	0,304
Биноминальное	k	10	100	0,491	0,48	0,189	0,531
	p	0,2	0,8	0,491	0,426	0,252	0,184
Отр. биномиальное	r	1	20	2,055	2,012	0,107	0,460
	p	0,2	0,8	2,055	2,203	0,639	0,347
Пуассона	λ	0,5	10	1,086	1,311	0,733	0,521
Бернулли	p	0,2	0,8	0,556	0,778	0,121	0,098

В результате проведенной проверки выявлено влияние параметров некоторых законов распределения на их коэффициент вариации. К подобным распределениям следует отнести распределения Пуассона и Бернулли, отрицательное биномиальное, биномиальное и геометрическое распределения. Для возможности отделения одних дискретных законов распределения от других были рассчитаны критические значения коэффициента вариации. Расчет производился для массивов, количеством 100 и 1000 значений.

Результат расчетов приведен в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – Критические значения для коэффициента вариации при значениях в массиве $n=100$.

Распределения	Эмпирический интервал значений ($n=100$)
Бернулли	[0,222;0,808]
Отрицательное биномиальное	[1,799;2,275]
Пуассона	[0,736;1,341]
Геометрическое	[1,223;2,847]
Биноминальное	[0,178;0,765]
Гипергеометрическое	[0,143;0,789]
Равномерное дискретное	[0,137;0,813]

Таблица 3 – Критические значения для коэффициента вариации при значениях в массиве $n=1000$.

Распределения	Эмпирический интервал значений ($n=1000$)
Бернулли	[0,209;0,812]
Отрицательное биномиальное	[1,867;2,066]
Пуассона	[0,919;1,102]
Геометрическое	[1,791;2,247]
Биномиальное	[0,198;0,804]
Гипергеометрическое	[0,176;0,822]
Равномерное дискретное	[0,156;0,84]

Как видно из таблиц, часть интервалов перекрывается. При использовании коэффициента вариации с учетом количества значений $n=100$ однозначно можно отделить: геометрическое распределение от биномиального распределения; геометрическое распределение от гипергеометрического распределения; геометрическое распределение от равномерного дискретного распределения; геометрическое распределение от распределения Бернулли; отрицательное биномиальное распределение от биномиального распределения; отрицательное биномиальное распределение от гипергеометрического распределения; отрицательное биномиальное распределение от равномерного дискретного распределения; отрицательное биномиальное распределение от распределения Бернулли.

Остальные распределения определяются данным коэффициентом неоднозначно. При использовании данного коэффициента с учетом количества значений $n=1000$, кроме перечисленных выше, однозначно можно отделить распределение Пуассона от всех остальных законов распределений.

Все остальные случаи распределений являются неотличимыми данным методом. Таким образом, необходимо подчеркнуть, что использовать данный метод в качестве самостоятельного метода определения закона распределения на массивах данных $n=100$ нецелесообразно; при количестве значений $n=1000$ данный метод может быть использован как проверка принадлежности распределения Пуассона. Исходя из этого, данный метод может быть рекомендован в качестве дополнительного для принятия решения о виде закона распределения.

Заключение

В работе рассмотрены коэффициенты вариации, как коэффициент различия между собой некоторых дискретных законов распределения. Остановлен выбор на наиболее распространенных дискретных законах распределения, имеющих прикладное значение в экономико-математических исследованиях. Произведен расчет влияния параметров законов распределения на коэффициент вариации, определены законы распределения, чьи параметры существенно влияют на значение данного коэффициента. Рассчитаны критические значения данного коэффициента для различных законов распределения на небольших ($n=100$) и средних ($n=1000$) выборках. Определено, что данный коэффициент может оказать помощь в вопросе принятия решения о виде закона распределения, однако несостоятелен как самостоятельный метод.

Список литературы

1. *Богданов Ю.И.* Метод максимального правдоподобия и корневая оценка плотности распределения / Ю.И. Богданов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2004. – №3. – Т. 70. – С. 52-61.
2. *Шепель, В.Н.* Использование оценки Хилла для различения законов распределения вероятности / В.Н. Шепель, С.С. Акимов // Вестник Оренбургского Государственного университета. – 2014. – № 1 (162). – С. 75-78.
3. *Лапко А.В., Ченцов С.В., Крохов С.И., Фельдман Л.А.* Обучающиеся системы обработки информации и принятия решений. – Новосибирск: Наука. – 296 с. 1996.
4. *Акимов, С.С.* Расчет вероятности дискретности для массива данных / С.С. Акимов // Научное обозрение. – 2013. – № 6. – С. 78-83.
5. *Вентцель Е.С.* Исследование операций. – М., «Советское радио», 1972. – 552 с.
6. *Косарев Е.Л.* Методы обработки экспериментальных данных. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 208 с.

05.13.01

В.С. Вилков, В.И. Мельников

Нижегородский государственный технический университет им Р.Е.Алексеева,
институт ядерной энергетики и технической физики им. академика Ф.М. Митенкова,
кафедра ЯРиЭУ,
Нижний Новгород, vilkov20.11@mail.ru

ОБЗОР ДАТЧИКОВ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ДЛЯ РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК С ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ

В статье выполнен краткий обзор датчиков уровня различной конструкции, которые могут быть применены для измерения уровня жидкометаллического теплоносителя ЯЭУ. В результате сделан вывод, что в настоящее время выбор приборов для контроля уровня жидкометаллического теплоносителя в ЯЭУ типа БН весьма ограничен и необходимо развитие этого важного направления техники и технологии на основе прогрессивных разработок в области новых материалов и электроники.

Ключевые слова: датчик контроля уровня, жидкометаллический теплоноситель, быстрые реакторы.

Уровень теплоносителя является одним из важнейших параметров, обеспечивающих безопасную работу реакторной установки на быстрых нейтронах (типа БН). Снижение уровня теплоносителя может привести к ухудшению условий охлаждения активной зоны, ее перегреву и плавлению. Поэтому приборы контроля уровня относятся к важнейшим компонентам безопасности ядерной энергетической установки (ЯЭУ).

Учитывая высокие параметры теплоносителя (температура до 600°C, высокий уровень радиации, химически активная среда), к первичным датчикам, находящимся в контакте с контролируемой средой, предъявляются жесткие требования, в частности: возможность длительной работы без обслуживания (10 лет), компактность, умеренная стоимость, при соблюдении необходимой точности измерения уровня. Поэтому измерение уровня жидкометаллического теплоносителя ЯЭУ является сложной технической задачей.

В настоящее время для контроля уровня жидкометаллического теплоносителя применяют весьма ограниченное количество методов и приборов. Это преимущественно электроконтактные сигнализаторы, а также уровнемеры индуктивные, потенциометрические и радиационные (на основе источника гамма-излучения Co60) [1,2].

При этом следует отметить, что число применяемых в промышленности разновидностей уровнемеров, основанных на различных физических принципах, довольно велико.

Датчики уровня можно классифицировать по виду измеряемой физической величины, в частности, механические – основаны на измерении вещественных параметров среды, таких как масса, объем, перемещение чувствительного элемента или перепад давления. Другие – основаны на измерении параметров поля, в частности, электропроводности, отражательной способности или теплофизических характеристик. При этом в первом случае измеряемая величина определяется напрямую, во втором косвенно, после обработки измеряемого параметра поля.

В датчиках, использующих механические методы определения границы раздела сред, как правило, присутствуют движущиеся части для установления положения уровня, что приводит со временем к их механическому износу. Периодическое обслуживание таких приборов в условиях ядерной установки затруднено и ресурс работы датчиков такого типа низкий.

Уровнемеры, основанные на принципе контроля изменения характеристик физического поля, связанного с положением уровня среды, не имеют вышеперечисленных недостатков, обладают высокой устойчивостью к экстремальной среде и надежностью.

В технике контроля уровня жидкометаллического теплоносителя нашли применение электроконтактные сигнализаторы, позволяющие фиксировать зондом положение верхней границы жидкого металла. При условии перемещения зонда появляется возможность контролировать изменение уровня теплоносителя.

Принцип действия другого вида сигнализаторов уровня (индукционного) основан на зависимости индуктивности одиночной катушки или взаимной индуктивности двух катушек от степени их погружения в электропроводную жидкость. Эта зависимость представляет собой уменьшение магнитного поля вихревого тока при погружении чувствительного элемента под уровень жидкого металла при воздействии магнитного поля тока возбуждения.

Такие сигнализаторы применяются для контроля критического положения уровня: переполнения или осушения измеряемого объема, а также для обнаружения утечки теплоносителя в аварийных ситуациях.

Использование нескольких индукционных катушек позволяет создавать многоточечные сигнализаторы уровня. Многоточечные сигнализаторы уровня или индуктивные уровнемеры дискретного действия срабатывают при достижении уровня теплоносителя определенных реперных точек, в которых расположены чувствительные элементы.

В частности, разработан многоточечный сигнализатор, выполненный в виде ряда соленоидов из многожильного кабеля, включающего в себя возбуждающую и измерительную обмотки [3]. Принцип действия заключается в том, что при достижении уровнем жидкого металла чувствительного элемента изменяется коэффициент взаимной индукции двух обмоток, входящих в состав соленоида. Дискретно – аналоговый вычислитель уровня находит два соленоида с резко различающимися коэффициентами взаимной индукции и таким образом вычисляет фактический уровень жидкого металла. Достоинством данной схемы является то, что система работает в релейном режиме, обеспечивающем высокую помехозащищенность дискретных индуктивных уровнемеров при налипании на защитный чехол слоя металла или его оксидов, а также независимость показаний от изменения температуры среды.

Разработаны промышленные уровнемеры «Квант-10, Квант-11, УИД-1М», содержащие до нескольких сотен индукционных катушек, которые распределены по высоте изменения уровня и расположены внутри защитного герметичного металлического чехла, погружаемого в контролируемую среду [4]. Конструкции этих приборов чрезвычайно сложны, а стоимость достигает 10-ти и более миллионов рублей.

Уровнемеры непрерывного действия потенциально имеют большую разрешающую способность по сравнению с многоточечными сигнализаторами.

Предложены уровнемеры, содержащие только две обмотки возбуждения и измерения, намотанные по всей высоте чувствительной части зонда [5]. Величина коэффициента взаимной индуктивности такой системы будет зависеть от глубины погружения обмоток в жидкий металл. При этом чтобы компенсировать температурный коэффициент электропроводности проводник измерительной обмотки размещается от проводника возбуждающей обмотки на расстоянии до 10 сумм толщины стенки защитного чехла и радиуса оболочки кабеля обмотки возбуждения. Таким образом, до измерительной обмотки доходят только линии магнитного поля, неискаженные эффектом электропроводности изоляции провода и стенки чехла, которая сильно зависит от температуры, что влияет на точность измерения.

Также предложен датчик уровня [6], выполненный в виде удлиненных прямоугольных рамок с размещением обмотки приемника внутри обмотки излучателя в одной с ней плоскости. Физический принцип действия аналогичен предыдущему датчику индуктивности, различие заключается в методе компенсации температурного коэффициента электропроводности. Толщина слоя контролируемой среды между обмотками приемника и

излучателя должна быть выбрана в интервале от двух до пяти глубин затухания электромагнитного излучения для выбранной частоты тока, питающего обмотку излучателя и средней электропроводности среды в диапазоне ее рабочих температур.

Предложены также кондуктометрические уровнемеры, основанные на измерении разности электрических потенциалов на стенках трубчатого корпуса, частично погруженного в расплав, при пропускании по нему электрического тока [3]. Эффект основан на изменении напряженности электрического поля, из-за шунтирующего воздействия на него проводящего слоя жидкого металла у стенки. Преимуществом данного типа датчиков является то, что они позволяют решать задачу измерения уровня металлической среды без зондирования.

К перспективному методу измерения уровня жидкометаллического теплоносителя, находящемуся на стадии исследований, по нашему мнению, относится микроволновый рефлекс-радарный. Принцип его действия основан на измерении времени распространения микроволнового импульса в коаксиальной зонде, частично погруженном в контролируемую среду, до поверхностного слоя жидкого металла и обратно.

Основным узлом такого уровнемера является измерительный зонд, фактически представляющий собой коаксиальный СВЧ волновод в виде трубы с расположенным внутри по центру электродом, установленный вертикально и частично погруженный в контролируемую среду. Расплавленный металл свободно может заполнять пространство внутри трубы по принципу сообщающихся сосудов.

В результате можно заключить, что в настоящее время выбор приборов для контроля уровня жидкометаллического теплоносителя весьма ограничен. Очевидно, необходимы определенные усилия для развития этого важного направления техники и технологии на основе прогрессивных разработок в области новых материалов и электроники.

Список литературы

1. Кириллов П.Л., Колесников В.Д., Кузнецов В.А., Турчин Н.М. Приборы и методы измерения давления, расхода и уровня расплавленных металлов// Атомная энергия, 1960, т.10, вып.3, с. 173-181.
2. Трахтенберг Л.И., Денискин В.П. Устройство для бесконтактного измерения уровня и удельного сопротивления расплавленных металлов// Патент СССР № 197214. 1967.
3. Таранин В.Д., Лешков В.В. Индуктивный уровнемер электропроводных жидкостей// Патент РФ № 2558144. 2015.
4. Таранин В.Д. Индуктивный уровнемер жидкометаллического теплоносителя // Патент РФ № 2558010. 2015.
5. Лешков В.В., Таранин В.Д. Индуктивный уровнемер // Патент РФ № 2252397. 2005.
6. Лешков В.В., Таранин В.Д. Индуктивный уровнемер // Патент РФ № 2239792. 2004.

05.13.01

**Р.М. Галиев канд. техн. наук, З.А. Аюкин канд. техн. наук,
А.Ю. Барыкин канд. техн. наук, Д.И. Нуретдинов канд. техн. наук**

Набережночелнинский институт (филиал)
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,
автомобильное отделение,
кафедра «Эксплуатация автомобильного транспорта»,
Набережные Челны, radikrabota@mail.ru

АНАЛИЗ И МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ОТРЕМОНТИРОВАННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ КАМАЗ-740.10

В статье рассматриваются конструкция шатуна в сборе и методика обеспечения надежности отремонтированных двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Так же приведены результаты изменения конструкции при текущем или капитальном ремонте ДВС. На основании исследований, предложено применение измененной конструкции шатуна в сборе при ремонте двигателя КАМАЗ-740.10

Ключевые слова: *грузовой автомобиль, двигатель внутреннего сгорания, шатун, шатунный болт.*

Поддержание транспортного средства в технически исправном состоянии является основной задачей технической службы автотранспортного предприятия. Источники возникновения отказа агрегата могут быть эксплуатационные, производственные и конструктивные. Специалистами инженерно-технической службы АТП уделяется большое внимание на то, когда отказ агрегата вызывает отказ автомобиля и данный вид отказа невозможно определить первой стратегией обеспечения работоспособности транспорта [1].

Из литературных источников видно, что до 39% от всех отказов транспорта приходится на ДВС [2..5].

Статистические данные, накопленные в АО «Ремдизель» показали, один из основных дефектов двигателя КАМАЗ-740.10 – это срыв болта крепления нижней и верхней части шатуна (шатунный болт). Впоследствии при такой поломке деформируется шатун, поршень и обычно разрушается еще головка и корпус блока цилиндров. Это дорогостоящий ремонт и занимает много времени, что в итоге приводит к долгому простоя автомобиля. На рисунках 1 и 2 показаны детали шатуна в сборе.

Основные дефекты шатуна в сборе, поступивших в АО «Ремдизель», в том числе вследствие разрушения головки и корпуса блока цилиндров, это примерно 30% - разрыв шатунного болта от общего количества дефектов двигателя КАМАЗ-740.10.

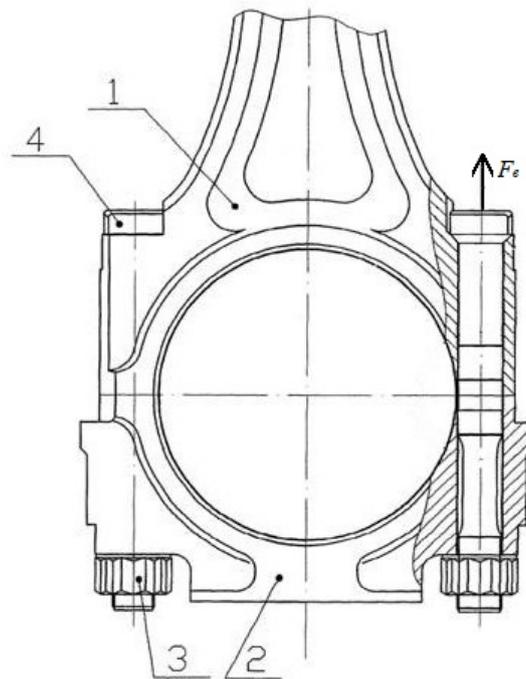


Рис. 1 – Общий вид шатуна в сборе (шатун срезанный):

1 – головка шатуна; 2- крышка шатуна; 3 – шатунная гайка; 4 - шатунный болт

Шатунные болты с завода - изготовителя имели следующие характеристики: диаметр $12,2^{+0,014}_{+0,002}$ мм, твердость 35...38 HRC, разрывное усилие не менее 81423 Н, материал - сталь 40ХНГМА ГОСТ 4543-71 с резьбой М12х1,25.

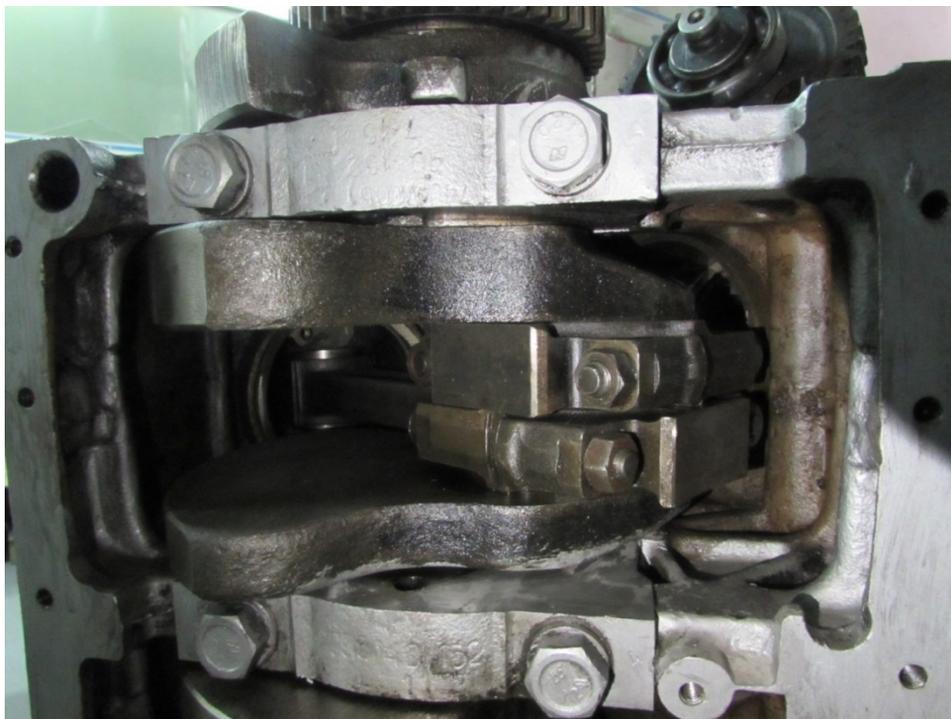


Рис. 2 – Фотография деталей крепления шатуна в двигателе КАМАЗ-740.10

Расчетный диаметр шатунного болта определяется по следующей формуле [6]

$$d \geq \sqrt{\frac{4 \cdot (1,3 \cdot F_3 + \chi \cdot F_B)}{\pi \cdot [\sigma]}}$$

где, $1,3$ - коэффициент, учитывающий напряжение в шатунном болте вследствие его скручивания при затяжке; F_3 – сила предварительной затяжки шатунного болта при сборке; F_b – внешняя растягивающая сила, приходящаяся на один шатунный болт; $[\sigma]$ - допускаемое напряжение растяжения шатунного болта; χ - коэффициент внешней нагрузки, зависящий от коэффициентов податливости шатунного болта, головки и крышки шатуна.

Анализ дефектов и проведенные испытания в АО «Ремдизель» показали источник возникновения отказа – конструктивный. Заводом изготовителем не до конца были учтены место концентрации напряжения и динамические нагрузки. Это и привело к массовому разрыву шатунного болта двигателя КАМАЗ-740.10.

Рекомендуется заводом АО «Ремдизель» применить болт следующими характеристиками: диаметр $13,2^{+0,022}_{+0,010}$ мм, твердость 37,5...40,5 HRC, разрывное усилие не менее 132435 Н, материал - сталь 40ХНГМА ГОСТ 4543-71 с резьбой М13х1,25.

Под болты делаются отверстия в головке и крышке шатуна, обрабатываются в размер $13,2^{+0,027}$ мм вместо $12,2^{+0,27}$ с обеспечением соосности.

Данная методика, позволяет поддерживать транспортные средства в технически исправном состоянии при текущем и капитальном ремонте путем повышения надежности отремонтированных двигателей КАМАЗ-740.10 в производстве на обычном технологическом оборудовании.

Список литературы

1. *Филькин Н.М.* Сбор информации для бортовых систем диагностирования о техническом состоянии двигателя при эксплуатации грузового автомобиля/Н.М. Филькин, Р.М. Галиев, Ф.Л. Назаров, Р.А. Хафизов// Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. - Ижевск, 2019. - Т.22, №2. – С. 58-64.
2. *Кулаков А.Т.* Нестабильность зазоров в шатунных подшипниках из-за образования прогиба вкладышей/ А.Т. Кулаков, А. С. Денисов // Вестник Саратовского государственного технического университета. - Саратов, 2006. - Т.3, № 1. - С. 83–91.
3. *Макарова И.В.* Диагностирование и оперативный контроль остаточного ресурса узлов и агрегатов автомобиля / И.В. Макарова, А.Т. Кулаков, Э.М. Мухаметдинов, Л.М. Габсалихова, А. В. Васильев // Транспорт: наука, техника, управление. 2018. № 2. С. 54–60.
4. *Баженов Ю.В.* Исследование работоспособности двигателей в условиях эксплуатации / Ю.В. Баженов, М.Ю. Баженов //Актуальные проблемы эксплуатации автотранспортных средств: материалы XVIII Междунар. науч. практ. конф. (24 -25 нояб. 2016 г.). - Владимир: Аркаим, 2016. - С.18-23.
5. *Калимуллин Р.Ф.* Разработка диагностического обеспечения подшипников коленчатых валов автомобильных двигателей // Вестник Иркутского государственного технического университета. – Иркутск, 2012. № 5 (64). - С. 101–108.
6. Р 50-54-90-88. Рекомендации. Расчеты и испытания на прочность. Общие требования к расчетам на прочность резьбовых соединений – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1988. – 93 с.

05.13.01

¹Г.С. Малышев канд. техн. наук, ²И.В. Друмов канд. техн. наук, ²И.А. Иляхинский,
²М.А. Камнев канд. техн. наук, ³О.В. Андреева канд. техн. наук, ⁴А.А. Абрамов

АО «ОКБМ Африкантов»,

¹Отдел расчетов гидравлических и теплотехнических процессов,

²Научно-исследовательский испытательный комплекс,

Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева,

³Учебно-научный институт радиоэлектроники и информационных технологий,

⁴Институт ядерной энергетики и технической физики им. академика Ф.М.Митенкова,

Нижегород, gsmalyshev@okbm.nnov.ru, drumov@okbm.nnov.ru,

kamnev@okbm.nnov.ru, andreevaov@gmail.com, qwerty00777@gmail.com

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕДОБУЧЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ НА ИЗДЕЛИЯХ ИЗ СИЛИЦИРОВАННОГО ГРАФИТА В АО «ОКБМ АФРИКАНТОВ»

В настоящей статье исследуются возможности предобученных свёрточных нейронных сетей в задаче распознавания и классификации дефектов на изделиях силицированного графита. Демонстрируется эффективность обучения нейронной сети при малой обучающей выборке для случая распознавания дефектов. Делается попытка объяснения данного эффекта. Указываются предсказательные вероятности, ниже которых результат работы сети можно считать сомнительным.

Ключевые слова: *свёрточные нейронные сети, предобученные нейронные сети, распознавание изображений, дефекты на изделиях, силицированный графит.*

Введение

Одним из важных направлений работ, проводимых в испытательном комплексе АО «ОКБМ Африкантов», является исследование подшипниковых изделий из силицированного графита, которые используются при создании насосного оборудования. Изделия осматриваются под микроскопом на наличие дефектов, которые могут привести к разрушению исследуемого подшипникового изделия. В свою очередь, такое разрушение ведёт к выходу из строя всего электронасоса.

В случае большой партии изделий визуальный осмотр может занимать значительное время и приводит к переутомлению оператора. Количество квалифицированных операторов ограничено, что также влияет на сроки поставки подшипниковых изделий в цеха предприятия. В связи с этим встал вопрос о частичной автоматизации процесса осмотра подшипниковых изделий. Данную задачу можно решить с помощью искусственных нейронных сетей (НС), которые могут по изображению неоднородности на поверхности изделия провести её классификацию [1].

Одной из целей настоящей работы является оценка той предсказательной вероятности сети [1], ниже которой результат работы сети можно считать сомнительным. Если при классификации неоднородности сеть вынесла вердикт с вероятностью, меньшей указанной оценки, то классифицированную неоднородность необходимо будет направить на дополнительное исследование, которое уже будет проводиться опытным оператором.

В настоящей статье исследуется работа свёрточной нейронной сети, которая позволяет производить классификацию по пяти категориям: дефекты типа «трещина», дефекты типа «скол», дефекты типа «отдельная пора», дефекты типа «скопление пор» и «бездефектная поверхность». Описание основных типов неоднородностей на поверхности изделия приводится в технических условиях [2].

Подготовка обучающего набора и набора валидации

На начальном этапе исследований необходимо было определиться с архитектурой сети. При этом исследователи из АО «ОКБМ Африкантов» столкнулись с двумя основными

техническими трудностями: ограниченностью вычислительных ресурсов (обучение сети производилось на обычных CPU Intel Xeon W-2145 с тактовой частотой 3.7 ГГц, объём оперативной памяти – 32 Гб), а также ограниченностью обучающей выборки. Для каждой из пяти классифицируемых категорий исследователи имели только 55 изображений, то есть весь обучающий набор состоял всего из 275 изображений. 75 изображений (по 15 изображений на категорию) было использовано для проверки сети на этапе обучения (валидации). Набор валидации уже на этапе обучения позволяет отследить эпоху, с которой начинается переобучение сети [1, 3]. Кроме того, в наличии имелось 50 тестовых изображений (по 10 изображений на категорию), которые использовались для проверки работоспособности сети уже после её обучения.

Выбор архитектуры нейронной сети для решения задачи классификации дефектов

При выборе архитектуры сети исследователи исходили из того, что начальные слои свёрточной НС выделяют на изображении наиболее обобщенные (локальные) признаки (например, границы и текстуры), в то время как более глубокие слои выделяют абстрактные понятия, то есть признаки высокого уровня (такие, как «нос кошки» или «перо птицы») [3]. Когда речь заходит о дефектах, то говорить о каких бы то ни было абстрактных признаках дефектов достаточно сложно. Таким образом, основная информация о дефектах должна быть заложена в низкоуровневых признаках, самыми сложными из которых могут быть, например, ломанные линии (признак трещины). Эти признаки далеки от абстрактных, стало быть, для выявления таких признаков достаточно использовать свёрточную сеть [1, 3] с достаточно малым числом свёрточных слоёв (не более пятнадцати).

Изначально была сделана попытка решить задачу распознавания дефектов с помощью сети AlexNET [4]. Сеть обучалась «с нуля» с помощью функций библиотеки Keras [3], написанной на языке Python. Обученная сеть показала плохие результаты работы: доля правильно распознанных изображений из тестового набора составила всего 72 %. Такая низкая точность распознавания может объясняться (помимо малого объёма обучающего набора) слишком примитивной архитектурой сети, а также неэффективной начальной инициализацией весов и порогов.

В итоге было принято решение отказаться от дальнейших попыток обучения (дообучения) сети AlexNET и попробовать использовать сеть VGG16 [5], которая имеет более сложную архитектуру. Во избежание трудностей, связанных с начальной инициализацией весов и порогов сети, было решено использовать сеть VGG16, уже обученную на миллионе изображений (1000 изображений на категорию) из тренировочного набора ImageNet [3]. Модель VGG16 входит в состав фреймворка Keras, а возможности данной библиотеки позволяют модернизировать сеть под свои задачи: был выбран полносвязный классификатор, который имеет только один скрытый слой из 256 нейронов. В качестве метода оптимизации был выбран метод RMSprop [1, 3]. Начальная скорость обучения устанавливалась в $2 \cdot 10^{-5}$. Размер минибатча [1, 3] был равен пяти. Полносвязный классификатор был обучен за 40 эпох, после чего стал наблюдаться эффект переобучения [1, 3].

После обучения сети точность классификации изображений на наборе валидации достигла 92 % (69 изображений из 75 валидационных). Проверка на тестовом наборе (50 изображений) показала, что точность работы обученной сети составляет 90 % (45 изображений из 50 тестовых).

Анализ результатов работы обученной сети

Примеры распознанных дефектов представлены на рис. 1 (выбраны самые сложные случаи). В круглых скобках на рисунках указаны истинные категории (метки классов), без скобок указаны метки, предсказанные сетью. Проценты на рисунках – это предсказательная вероятность [1] принадлежности к классу.

Особый интерес представляют ошибочные вердикты, вынесенные сетью. В тестовом наборе из 50 изображений были неправильно идентифицированы только 5 изображений. В наборе валидации из 75 изображений были неправильно идентифицированы 6 изображений (на момент окончания обучения). Шесть из одиннадцати неправильно распознанных

изображений – это «нехарактерные» для обучающей выборки изображения. Такие изображения не следует предъявлять сети. Ещё два изображения плохо классифицируются даже опытным оператором.

Отдельно нужно обратить внимание на три ошибочных вердикта сети, которые при первом рассмотрении могут показаться достаточно грубыми. На рис. 2а показана бездефектная поверхность, которая была классифицирована сетью как «скопление пор». На рис. 2б показан дефект типа «трещина» (сеть классифицировала бракованное изделие как бездефектную поверхность). Тем не менее, предсказательная вероятность для случаев, представленных на рисунках рис. 2а и рис. 2б, достаточно низкая, то есть сеть «сомневается» в своём вердикте. На рис. 2в показана хорошо заметная трещина на краю изделия. Однако, сеть с вероятностью 57.63 % вынесла вердикт, что на изображении представлен скол. Решить данную проблему можно путём добавления в обучающий набор изображений изделий с трещинами, замкнутыми на края изделия.

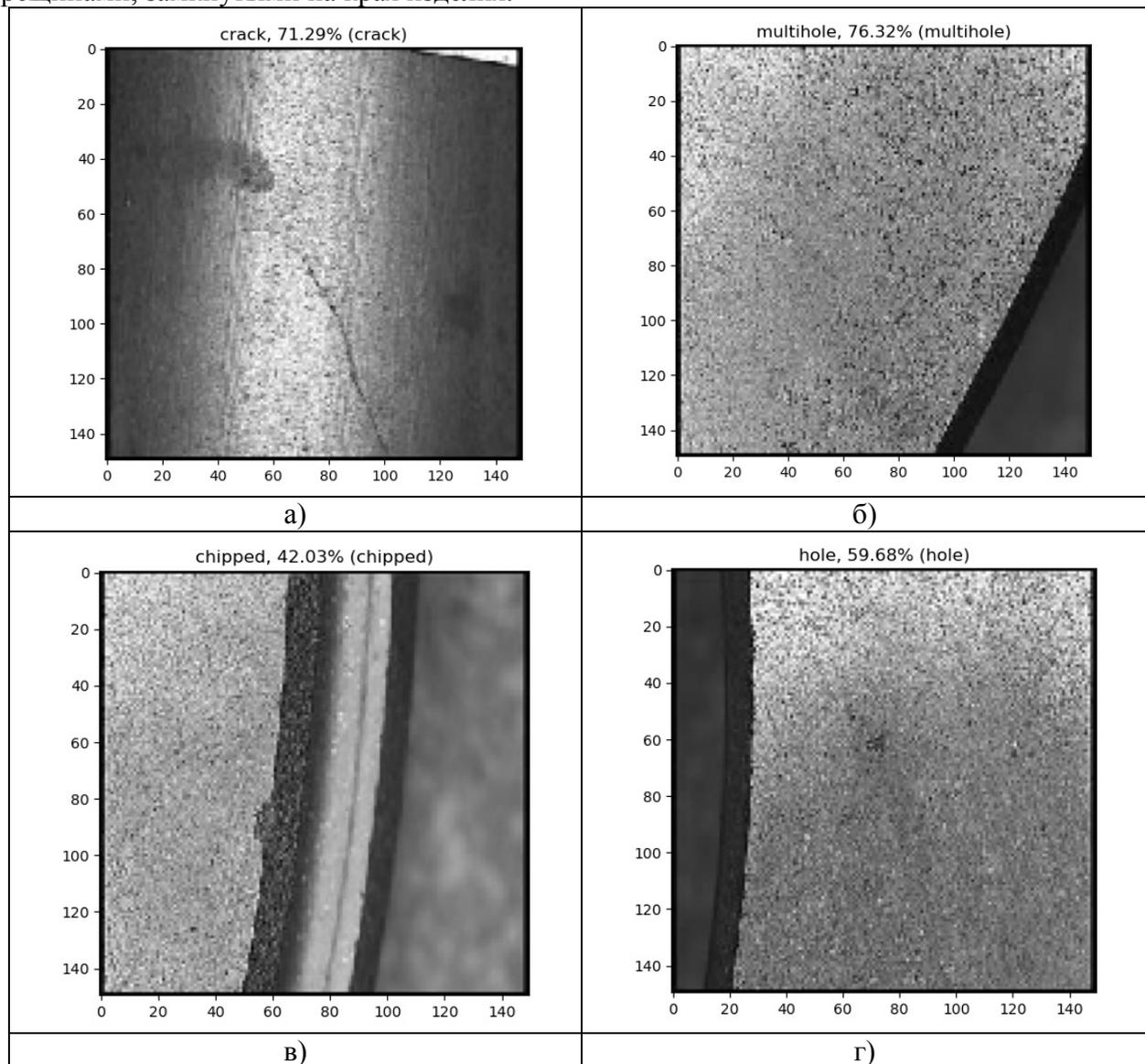


Рис. 1 – Примеры работы обученной сети:

а – дефект типа «трещина»; б – дефект типа «скопление пор»;
в – дефект типа «скол»; г – дефект типа «отдельная пора»

Рекомендации по использованию обученной нейронной сети

Для формирования рекомендаций по использованию сети, нужно в первую очередь исходить из анализа ошибок, допущенных сетью. Из рис. 2в ясно, что если инженера интересует не только факт наличия дефекта, но и его тип, то всякий вердикт, вынесенный сетью с вероятностью менее 60 %, должен считаться сомнительным.

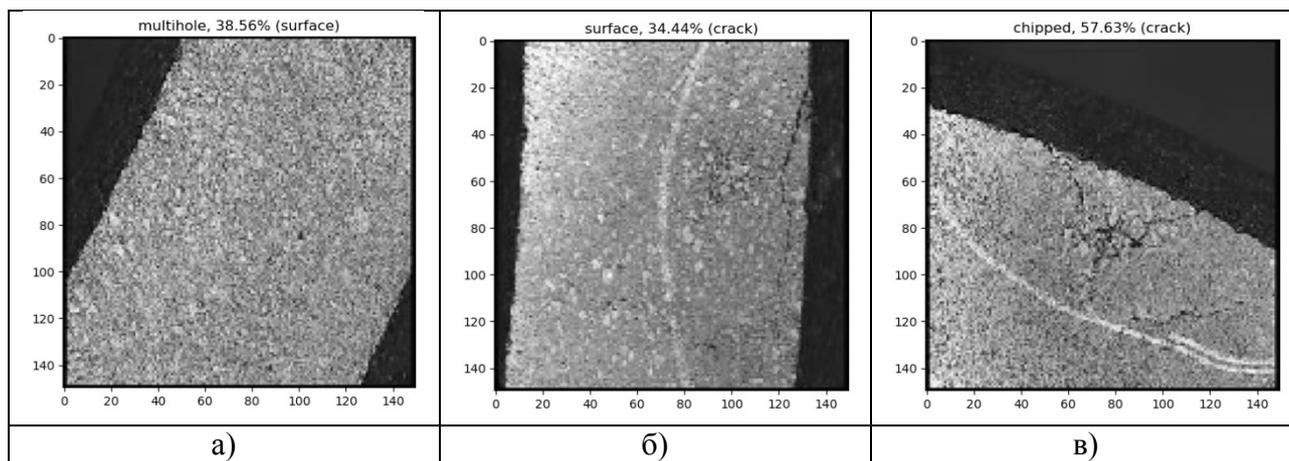


Рис. 2 – Ошибки, допущенные сетью

Такие «сомнительные» изображения необходимо отправлять опытному специалисту для вынесения окончательного решения. Однако, среди всех тестовых и валидационных изображений (в общей сложности 125 изображений) нашлось только 21 изображение, для которых сеть вынесла вердикт с предсказательной вероятностью менее 60 %. То есть грубая оценка показывает, что обученная нейронная сеть экономит 83 % (104 изображения от 125) времени на исследование образцов из силицированного графита.

Если инженера интересуют только факт наличия дефекта, а не его тип, то процент «сомнительных» изображений, следует оценивать из рис. 2б. Дело в том, что среди всех тестовых и валидационных изображений с дефектами только одно изображение (рис. 2б) было неверно классифицировано как бездефектная поверхность. Такие ошибки наиболее опасны, так как тот дефект, который «проглядела» сеть, может оказаться вредоносным. Если исходить из рис. 2б, то можно заключить, что все изображения, для которых сеть вынесла вердикт с предсказательной вероятностью менее 40 %, должны направляться опытному специалисту для дополнительного исследования. Среди всех тестовых и валидационных изображений выявлено только 6 изображений, удовлетворяющих данному требованию. Таким образом, если исследователя интересует только факт наличия дефекта на поверхности, то обученная сеть сэкономит 95 % времени на исследование образцов.

Выводы

Показано, что при малом обучающем наборе (55 изображений на категорию) использование предобученной сети позволяет существенно повысить процент правильно распознанных дефектов по сравнению со случаем, когда сеть обучалась с нуля.

Сделана попытка объяснения высокого процента правильно распознанных дефектов (90% на тестовом множестве) при условии малости выборки, использованной для обучения сети: данный эффект скорее всего связан с тем, что для дефектов не требуется выявлять каких бы то ни было абстрактных признаков.

Путём анализа количества ошибок, допущенных сетью, были даны рекомендации по практическому использованию сети.

Список литературы

1. *Архангельская Е.В.* Глубокое обучение. Погружение в мир нейронных сетей / Е.В. Архангельская, А.А. Кадуринов, С.И. Николенко. – СПб.: Питер, 2020. – 481 с.
2. Технические условия 100-84-0001 ТУ27 «Детали из силицированного графита марки СГ-П 0,5П для насосов атомной энергетики».
3. *Шолле Ф.* Глубокое обучение на Python / Ф. Шолле. – СПб.: Питер, 2020. – 400 с.
4. *Hinton G.E.* ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks / G.E. Hinton, A. Krizhevsky, I. Sutskever // *Advances in Neural Information Processing Systems 25* / Curran Associates – 2012. – P.1097–1105.
5. *Simonyan K.* Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition / K. Simonyan, A. Zisserman // *arXiv:1409.1556v6 [cs.CV]*, 10 April – 2015.

05.13.01

Н.М. Чиганова канд. физ.-мат. наук

Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ),
кафедра прикладной математики,
Москва, ChiganovaNM@mgsu.ru

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПЫТАНИЯ ИЗДЕЛИЙ НА НАДЕЖНОСТЬ В ПЕРЕМЕННОМ РЕЖИМЕ

При проведении разрушающих экспериментов интерес представляет решение о том, как определить время работы некоторого изделия, если меняется условие проведения испытания. Фактически это означает, что надо проверить реализацию некоторой гипотезы. В данной работе с помощью метода математического моделирования оценивается возможность применения оценки надежности изделия, если одновременно невозможно наблюдать исследуемые параметры.

Ключевые слова: выборка, надежность, закон распределения, математическое ожидание, дисперсия

В инженерных исследованиях на надежность часто возникает необходимость в установлении зависимости между ненаблюдаемыми одновременно параметрами [1]. Примером таких параметров является время работы одного и того же изделия в различных режимах, т.к. нельзя испытывать одно и то же изделие до разрушения в нескольких режимах [2,3]. При проведении таких разрушающих экспериментов часто возникает вопрос: как определить время работы изделия в каком-то определенном, заданном режиме, зная время работы этого изделия в другом режиме. Под «режимом» в данном случае подразумеваются некоторые условия проведения испытаний, например, различные климатические условия, а также иные внешние воздействия, при которых возможна работа изделия.

При проведении разрушающих экспериментов интерес представляет решение о том, как определить время работы некоторого изделия, если меняется условие проведения испытания. Целью проведенной работы является совершенствование способов расчета надежности изделий при малых выборках с применением современных методов математического моделирования на основе теории форсированных испытаний.

На практике эту задачу сводят к исследованию истинности или ложности гипотезы:

$$\xi(\varepsilon_1) = \varphi \xi(\varepsilon_2) \quad (1)$$

где $\xi(\varepsilon_1)$, $\xi(\varepsilon_2)$ - время работы изделия в режимах ε_1 и ε_2 ;

φ - некоторая функция, выбираемая на основании качественного анализа задачи [4,5]. Так, например, если φ - линейная функция, то гипотеза (1) примет вид

$$\xi(\varepsilon_1) = C(\varepsilon_1, \varepsilon_2) \xi(\varepsilon_2) \quad (2)$$

Рассмотрим один из методов статистической проверки гипотезы (2), содержащейся в работах [1,6]. Случайным образом выбираем две совокупности из m и n исследуемых изделий. Партия из n изделий испытывается в переменном режиме $\tilde{\varepsilon}$ со случайным моментом переключения τ : $\tilde{\varepsilon}(t, \tau) = \begin{cases} \varepsilon_1, & 0 \leq t < \tau \\ \varepsilon_2, & \tau \leq t < \infty \end{cases}$

Закон распределения $H(t) = P(\tau < t)$ может быть произвольным, имеющим плотность вероятности $h(t) > 0$ для всех $t > 0$, т.е. $H(t) = \int_0^t h(\xi) d\xi$, $h(t) > 0, t > 0$.

Вначале изделие под номером i испытываем в течение времени τ_1 в режиме ε_1 , затем, если оно не откажет, в режиме ε_2 . В результате испытаний для каждого изделия получим величины $\theta_i(\varepsilon_1), \theta_i(\varepsilon_2), i = 1, 2, \dots, n$, т.е. время работы изделия в режимах ε_1 и ε_2 . Проверка соотношения (2) основана следующем факте [7]. Пусть случайная величина η_c распределена

по закону $\mathcal{F}_c(t, \tilde{\varepsilon}) = P(\eta_c < t)$, а $\mathcal{F}(t, \varepsilon_1)$ - распределение моментов отказов $\xi(\varepsilon_1)$ в режиме ε_1 . Тогда, если

$$\mathcal{F}(t, \varepsilon_1) = \mathcal{F}_c(t, \tilde{\varepsilon}), t \geq 0 \quad (3)$$

то случайные величины $\xi(\varepsilon_1), \xi(\varepsilon_2)$ связаны соотношением (2). Если же (3) не выполнено, то (2) также не имеет места. Соотношение (3) проверяем, пользуясь критериями Смирнова. Как известно, он применим в том случае, когда $\mathcal{F}(t, \varepsilon_1)$ и $\mathcal{F}_c(t, \tilde{\varepsilon})$ оцениваются по результатам испытаний различных выборок.

Значения

$$\eta_c = \theta_i(\varepsilon_1) + c\theta_i(\varepsilon_2), i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

представляют реализации случайной величины η_c . Оценкой распределения $\mathcal{F}_c(t, \tilde{\varepsilon})$ будет

$$\tilde{\mathcal{F}}_o = \frac{d(t)}{n} \quad (5)$$

где $d(t)$ -число значений η_c из (4), меньших t . Вторую совокупность изделий испытываем в режиме ε_1 и определяем для всех m изделий моменты их отказов $\lambda_1(\varepsilon_1), \lambda_2(\varepsilon_1), \dots, \lambda_m(\varepsilon_1)$.

Тогда положим

$$\tilde{\mathcal{F}}(t, \varepsilon_1) = \frac{\ell(t)}{m} \quad (6)$$

где $\ell(t)$ - число значений $\lambda_i(\varepsilon_1), i = 1, 2, \dots, m$ меньших, чем t .

Вычислим отклонение

$$D_c = \sup_i |\tilde{\mathcal{F}}_o(t, \tilde{\varepsilon}) - \tilde{\mathcal{F}}(t, \varepsilon_1)| = \sup_i \left| \frac{d(t)}{n} - \frac{\ell(t)}{m} \right| \quad (7)$$

Согласно критерию Смирнова, гипотеза (2) считается непротиворечащей экспериментальным данным, если $D \leq D_\beta$, где β - уровень значимости.

В данной работе исследовалась возможность применения методики для надежного определения коэффициента $C(\varepsilon_1, \varepsilon_2)$ при небольших значениях m и n [5]. На практике часто имеют дело с выборками малого объема. Объемы выборок предполагались равными, т.е. далее везде $m=n$. В качестве закона распределения моментов отказов $\lambda(\varepsilon_1)$ было выбрано равномерное распределение на интервале $(0,1)$, что не является существенным ограничением, поскольку любое непрерывное распределение может быть сведено к равномерному при помощи преобразования $t = \mathcal{F}(x)$, где $\mathcal{F}(x)$ - функция распределения непрерывного закона распределения. Поэтому моменты переключения τ также считались распределенными равномерно на $(0,1)$. Т.к. для целей данной работы абсолютная величина коэффициента $C(\varepsilon_1, \varepsilon_2)$ из (2) не играет никакой роли, а интересует лишь относительная погрешность при определении $C(\varepsilon_1, \varepsilon_2)$, то η_c из формулы (4) также предполагалась равномерно распределенной на $(0,1)$. Это соответствует тому, что коэффициент $C(\varepsilon_1, \varepsilon_2)$ в (2) должен быть равен 1.

Для каждого из рассмотренных n были смоделированы три независимые реализации случайных величин $\xi_i, \tau_i, \lambda_i, i = 1, 2, \dots, n$, по формулам (5), (6) для полученных значений ξ, τ, λ построены оценки распределений $\mathcal{F}_c(t, \tilde{\varepsilon}), \mathcal{F}(t, \varepsilon_1)$ и вычислено по формуле (7) отклонение D_c при $C=0,25; 0,5; 0,75; 0,9; 1; 1,1; 1,25; 1,5; 2; 2,5; 3; 5; 10$. Для каждого n было получено 1000 независимых реализаций модели.

Подсчитаны значения математического ожидания \tilde{m}_c и дисперсии $\tilde{\sigma}_c^2$.

В данной работе с помощью метода математического моделирования оценивается возможность применения оценки надежности изделия, если одновременно невозможно наблюдать исследуемые параметры (таблицы 1-2, рисунок 1).

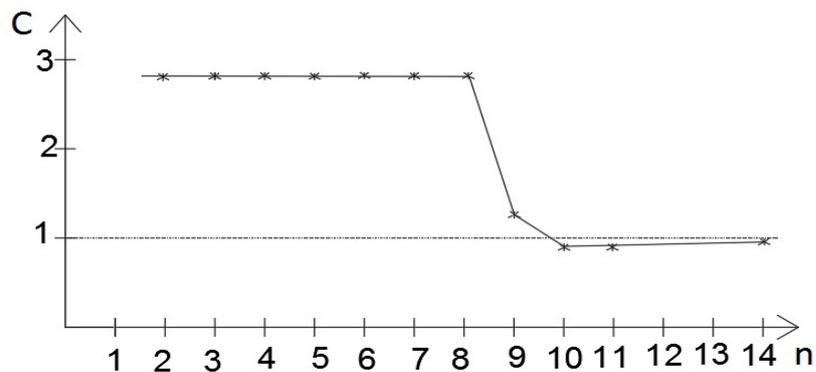


Рис. 1 – Зависимость $C(\varepsilon_1, \varepsilon_2)$ от объема выборки (n)

Таблица 1 – Таблица результатов моделирования при $n = m = 2$

D	C												
	0.25	0.50	0.75	0.90	1.00	1.10	1.25	1.50	2.00	2.50	3.00	5.00	10.0
2^{-1}	655	655	593	624	624	624	655	624	624	686	686	656	625
1	345	345	407	376	376	376	345	376	376	314	314	344	375
\tilde{m}	673	673	704	688	688	688	673	688	688	657	657	672	688
σ^2	056	056	060	059	059	059	056	059	059	054	054	056	059

Таблица 2 – Таблица результатов моделирования при $n = m = 4$

D	C												
	0.25	0.50	0.75	0.90	1.00	1.10	1.25	1.50	2.00	2.50	3.00	5.00	10.0
1/4	62	62	0	62	62	62	62	62	62	187	187	63	63
2/4	437	500	563	564	564	564	502	502	627	502	377	564	439
3/4	438	438	437	374	374	374	436	436	311	311	436	373	436
1	63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	62
\tilde{m}	626	594	609	578	578	578	593	593	562	531	562	578	624
σ^2	0.31	0.22	0.15	0.21	0.21	0.21	0.22	0.22	0.19	0.30	0.35	0.21	0.31

Как показывает анализ таблиц 1-2 и графика (рисунок 1), для $n, m \geq 10$ ошибка в определении коэффициента $C(\varepsilon_1, \varepsilon_2)$ при данных условиях моделирования не превышает 10%, что является вполне допустимым при проведении разрушающих экспериментов. Применение предложенного метода с учетом оценки данных ошибок позволяет на основе малой выборки подобрать оптимальное время работы изделий в переменном режиме.

Список литературы

1. Карташов Г.Д. Основы теории форсированных испытаний. Изд. «Знание», М., 1977.
2. Chiganova N. Reliability theory application for building structures reliability determination. MATEC Web of Conferences, Vol.86. 2016. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20168602009>
3. Ушаков И.А. Курс теории надежности систем, Учебное пособие. Москва, Дрофа, 2008. 239 с.
4. Карташов Г.Д. Эксперименты с ненаблюдаемыми одновременно параметрами в теории форсированных испытаний. Москва, «Ускоренные методы испытаний на надежность технических систем», 1972.
5. Epstein B. Estimation from Life Test Data. Technometrics, Vol. 2, 1960.
6. Гнеденко Б.Г., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. Изд. 2е, монография, Москва, Наука, 2012. 582 с.
7. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. Москва, «Наука», 1983. 2017 с.

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

05.13.06

М.М. Аль Окаби, Ю.Н. Матвеев д-р техн. наук

Тверской государственной технической университет,
факультет информационных технологий,
кафедра электронно-вычислительных машин,
Тверь, malaqab@mail.com, matveev4700@mail.ru

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ
ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ В ВИДЕОПОТОКЕ
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТЕКЛОДРОТОВ**

В работе рассмотрены вопросы автоматизации контроля качества производства стеклодротов на основе технологии машинного зрения и нейронных сетей глубокого обучения. Описана структура нейронной сети и алгоритм ее обучения. Предложен подход к формированию набора классификационных признаков, использующий статистические методы описания текстуры изображений.

Ключевые слова: *нейронные сети, глубокое обучение, сегментация, техническое зрение.*

Процесс производства стеклодротов состоит из нескольких стадий. Сначала расплавленное стекло поступает на наклонно поставленный вращающийся керамический мундштук, в который подается воздух. Стекающая с конца мундштука стекломасса образует луковицу. Она переходит в бесконечную стеклянную трубу, которая оттягивается в горизонтальном положении тянущей машиной и перемещается с помощью конвейера к резательной машине. Здесь остывшая стеклянная заготовка разрезается на отдельные трубки заданного размера (дроты), которые удаляются с конвейера и складываются. При производстве стеклодротов неизбежно возникают дефекты, такие как отдельные частицы (включения), воздушные пузыри (воздушные линии), гибкие фрагменты, называемые ламелями и другие. Контроль качества стеклодротов в настоящий момент осуществляется контролерами отдела технического контроля визуально, путем осмотра каждого дрота. Для повышения производительности технологической линии и снижения доли бракованных изделий в конечной продукции актуальным является вопрос автоматизации процесса контроля качества на основе технологии технического зрения и методов искусственного интеллекта. Авторами была разработана [1] концепция использования методов технического зрения в системе управления качеством производства стеклодротов. Существенная роль в этой концепции отводится методам и технике выявления дефектных участков стеклянной заготовки в процессе ее движения по конвейеру.

В настоящей работе рассматривается возможный подход к решению этой задачи с помощью нейронной сети глубокого обучения (DBN) [2]. Сеть DBN состоит из нескольких слоев стохастических, скрытых переменных и осуществляет глубокое иерархическое преобразование входного пространства данных. Нижний слой сети DBN образует однослойный перцептрон, который управляет взаимодействием с верхним слоем. Состояние нейронов в нижнем слое определяется набором классификационных признаков (дескрипторов).

Для формирования набора дескрипторов были использованы статистические методы сегментации текстурированных изображений [3, 4]. Изображение рассматривается как функция $I(x, y)$ двух пространственных переменных $x = 0, 1, \dots, N-1$ и $y = 0, 1, \dots, M-1$. Функция $I(x, y)$ может принимать дискретные значения $i = 0, 1, \dots, L-1$, где L - общее число уровней

интенсивности изображения. Кратким и простым обобщением статистической информации, содержащейся в изображении, является гистограмма уровней интенсивности. Гистограмма содержит статистическую информацию первого порядка об изображении (или его фрагменте). Гистограмма уровня интенсивности определяется выражением:

$$h(i) = \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{M-1} \delta(I(x,y), i)$$

где $\delta(j, i)$ - дельта-функция Кронекера

$$\delta(j, i) = \begin{cases} 1 & \text{если } j = i \\ 0 & \text{если } j \neq i \end{cases}$$

Выборочная оценка плотности вероятности для уровней интенсивности определяется из выражения

$$p(i) = h(i) / NM, \quad i = 0, 1, \dots, L - 1$$

Для количественного описания статистических свойств изображения первого порядка были использованы начальный момент первого порядка

$$m_i = \sum_{i=0}^{L-1} i(p_i), \tag{1}$$

и центральный момент второго порядка

$$\sigma_i^2 = \sum_{i=0}^{L-1} (i - m_i)^2 ; \tag{2}$$

Также были использованы производные от этих величин показатели, такие как коэффициент асимметрии

$$As = \sigma^{-3} \sum_{i=0}^{L-1} (i - m_i)^3 p(i) ; \tag{3}$$

эксцесс

$$Ex = \sigma^{-4} \sum_{i=0}^{L-1} (i - m_i)^4 p(i) - 3 ; \tag{4}$$

информационная энтропия Шеннона

$$H = - \sum_{i=0}^{L-1} p(i) \log_2 p(i) ; \tag{5}$$

угловой момент

$$E = \sum_{i=0}^{L-1} (p(i))^2 \tag{6}$$

Более детальную информацию о свойствах текстуры дают показатели, основанные на статистике второго порядка. Гистограмма второго порядка определяется в виде матрицы $h_{d,\varphi}(i, j)$, которая называется матрицей встречаемости. Здесь i и j – яркости соседних точек, расположенных на расстоянии d друг от друга, по направлению φ . Оценку закона распределения вероятности для соседних пикселей получаем путем деления значений элементов матрицы встречаемости на общее число соседних пикселей $K(d, \varphi)$

$$p_{d,\varphi}(i, j) = h_{d,\varphi}(i, j) / K(d, \varphi)$$

Используя матрицу $p_{d,\varphi}(i, j)$, вычисляем оценки для маргинальных распределений $p_x(i)$ и $p_y(j)$, средние значения m_i, m_j и стандартные отклонения σ_i, σ_j . Используя результаты этих вычислений, рассчитываем показатели, которые характеризуют текстурные свойства изображения. К ним относятся

корреляция

$$\rho = \sum_{i=0}^{K-1} \sum_{j=0}^{K-1} \frac{(i - m_i)(j - m_j)p(i, j)}{\sigma_i \sigma_j} ; \quad (7)$$

инерция (контраст)

$$In = \sum_{i=0}^{K-1} \sum_{j=0}^{K-1} (i - j)^2 p(i, j) ; \quad (8)$$

абсолютное значение отклонений:

$$Abs = \sum_{i=0}^{K-1} \sum_{j=0}^{K-1} |i - j| p(i, j) ; \quad (9)$$

второй угловой момент (энергия)

$$M_2 = \sum_{i=0}^{K-1} \sum_{j=0}^{K-1} (p(i, j))^2 ; \quad (10)$$

обратная разность

$$v = \sum_{i=0}^{K-1} \sum_{j=0}^{K-1} \frac{p(i, j)}{1 + (i - j)^2} ; \quad (11)$$

энтропия Шеннона

$$H_2 = - \sum_{i=0}^{K-1} \sum_{j=0}^{K-1} p(i, j) \log_2 p(i, j) . \quad (12)$$

Статистические показатели (1) – (12) являются текстурными характеристиками изображения (дескрипторами) и образуют множество наблюдаемых переменных X_0 . Для обучения сети использовался послойный порядок, который предполагает, что веса первого слоя W_1 находятся путем обучения ограниченной машины Больцмана (RBM). Ее нижний слой соответствует наблюдаемым переменным X_0 в DBM, а верхний слой соответствует ненаблюдаемым переменным первого уровня Y_1 . Затем значения Y_1 генерируются из обученной модели RBM и используются в качестве наблюдаемых переменных в RBM для обучения весов следующего уровня W_2 . Процедура повторяется вплоть до верхнего уровня.

После предварительного обучения значения скрытых переменных в каждом слое могут быть получены путем одного прохода снизу-вверх, который начинается с наблюдаемого вектора данных в нижнем слое и использует сгенерированные веса в обратном направлении. Процесс обучения сети глубокого доверия DBN можно представить в виде следующего алгоритма.

1. Вводятся исходные данные – значения множества дескрипторов X_0 , параметр z , который управляет количеством завершенных циклов сэмпирования Гиббса.

2. Предварительная настройка. Заключается в послойном обучении сети с помощью алгоритма сравнительной дивергенции CD. Фаза предварительного обучения прекращается, когда все слои исчерпаны.

3. Тонкая настройка. Заключается в определении синоптических связей всей сети при помощи алгоритма обратного распространения ошибки с учителем.

4. Процедура тонкой настройки останавливается, когда ошибка перестает уменьшаться или начинает увеличиваться в течение некоторого времени.

Основным преимуществом методов глубокого обучения по сравнению с обычными методами является то, что они позволяют формировать более надежные интегрированные признаки, которые являются комбинацией, как наблюдаемых переменных, так и скрытых факторов. Это позволяет увеличить точность распознавания дефектов, особенно при увеличении объема обучающих данных.

Список литературы

1. *Матвеев Ю.Н., Аль Окаби М.М.А.* Использование методов технического зрения в системе управления качеством производства стеклодротов // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2020. № 2 (6). С. 93-101.
2. *Аггарвал, Чару.* Нейронные сети и глубокое обучение: учебный курс. : Пер. с англ. - СПб.: ООО "Диалектика", 2020. - 752 с. *Andrzej Materka, Michal Strzelecki.* Texture Analysis Methods – A Review. Technical. University of Lodz, Institute of Electronics, COST B11 report, Brussels 1998. – 33p.
3. Calculating texture measures from the GLCM: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ucalgary.ca/mhallbey/measures> - (Дата обращения: 20.05.2020)

05.13.06

Т.Н. Караневская, А.Г. Шумихин д-р техн. наук

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
факультет химических технологий, промышленной экологии и биотехнологий,
кафедра оборудования и автоматизации химических производств,
Пермь, bormotova_tn@mail.ru

ОЦЕНКА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОБЪЕКТОВ ПРОМЫСЛОВОЙ ПОДГОТОВКИ НЕФТИ КАЧЕСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ ОБВОДНЕННОСТИ ТИПОВЫМИ АВТОМАТИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

В работе представлены результаты моделирования переходных процессов в системе регулирования обводненности с экспериментальной и аналитической передаточными функциями объекта промышленной подготовки нефти. Показана возможность конфигурирования системы управления подготовкой нефти аналитическим методом на базе принятых на этапе проектирования типовых средств автоматизации.

Ключевые слова: промышленная подготовка нефти, технологический процесс обезвоживания, аналитическая и экспериментальная модели, автоматическое регулирование обводненности, проектирование.

Обезвоживание является одним из основных технологических процессов подготовки нефти, позволяющих довести нефть до требований ГОСТ Р 51858-2002 по остаточному содержанию в ней воды. Остаточное содержание воды – один из важнейших показателей качества нефти и для нефти 1 и 2 групп составляет не более 0.5 % [1]. В процессе эксплуатации месторождений происходит изменение неконтролируемых параметров сырой нефти (обводненность, температура, вязкость и др.), поэтому для эффективного функционирования системы автоматического управления подготовкой нефти требуется определять оптимальные параметры технологического режима при сохранении качества товарной нефти. Построение моделей систем управления технологическими процессами и их элементов возможно либо на основе теоретических исследований на этапе проектирования установки подготовки нефти, либо путем эксперимента на действующем производстве. Этому должен предшествовать анализ математических моделей происходящих в системе управления процессов. В связи с этим, построение аналитической модели в виде передаточных функций и конфигурирование системы регулирования обводненности при проектировании технологических объектов промышленной подготовки нефти представляется актуальной задачей.

Схема процесса обезвоживания представлена на рис. 1.

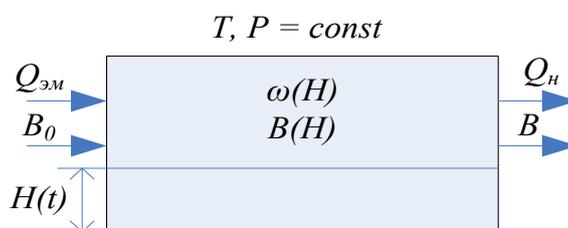


Рис. 1 – Упрощенная технологическая схема отстойника

Условные обозначения, принятые на схеме, следующие:

$Q_{эм}, Q_н$ – количество эмульсии, поступающей на вход отстойника, и выходящей из отстойника обезвоженной нефти, кг/с; B_0, B – обводненности эмульсии на входе и нефти на

выходе из отстойника, масс. доли ед.; $\omega(H)$ – распределение скорости осаждения капель воды по высоте отстойника, м/с; $B(H)$ – изменение обводненности эмульсии по высоте отстойника, масс. доли ед.; $H(t)$ – высота водяной подушки, м; T – температура, °С; P – давление, Па.

Переходная характеристика непрерывного процесса обезвоживания (кривая разгона) по каналу обводненность нефти – расход эмульсии на входе, построенная на основе тренда экспериментальных данных действующей технологической установки предварительного сброса пластовой воды, представлена на рис. 2.

По экспериментальной кривой разгона $y(t)$ (обводненность B , масс. %) и входному воздействию $x(t)$ (объемный расход эмульсии $Q_{эм}$, м³/с) определены коэффициент передачи объекта $K_{об} = 1.0019$, время чистого запаздывания $\tau_{зап} = 25c$, рассчитана и построена безразмерная переходная характеристика $h(t)$, по которой в Simulink пакета компьютерной математики MATLAB определена размерная аппроксимирующая передаточная функция объекта в виде последовательного соединения аperiodического звена третьего порядка и звена чистого запаздывания [2, 3]:

$$W_{TOV}^э(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{1.0019 \cdot e^{-25s}}{(31.12s + 1)^3} \quad (1)$$

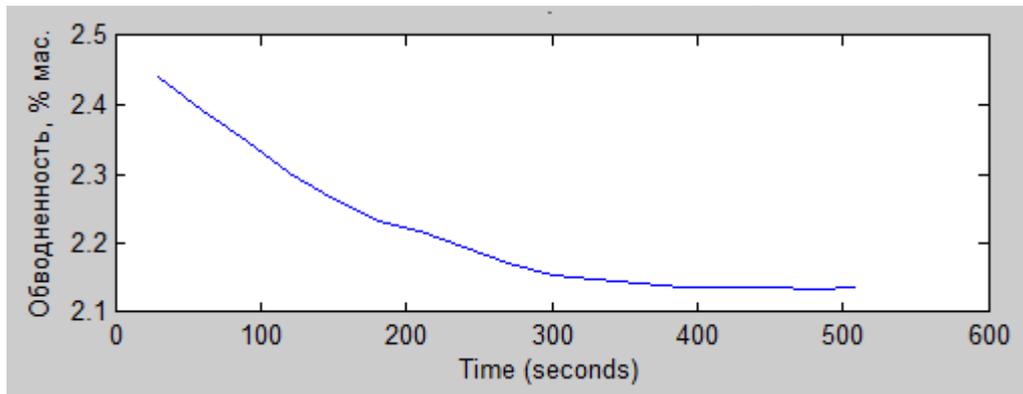


Рис. 2 – Экспериментальная переходная характеристика отстойника

Математическое описание процесса обезвоживания нефти включает следующие соотношения [4, 5]:

$$\frac{H(t^{(k)}) - H(t^{(0)})}{\Delta t} \cong \frac{B_0 Q_{эм} - B Q_{эм}}{S \rho_B} \equiv f_1; \quad (2)$$

$$H(t^{(0)}) = H^{(0)}; \quad (3)$$

$$S = \pi \frac{D^2}{4} \frac{2 \arcsin\left(\frac{2}{D} \sqrt{DH - H^2}\right)}{360} - \sqrt{DH - H^2} \left(\frac{D}{2} - H\right); \quad (4)$$

$$Q_{эм} = \rho_{эм} S H; \quad (5)$$

$$\omega_0 = \frac{Q_{эм} (D - H)}{\rho_{эм} S L}; \quad (6)$$

$$\frac{\omega_{0\partial i}}{\omega_{0i}} = \frac{18 \omega_{0\partial i} \mu_H (1 - B)^2}{d_{max}^2 (\rho_B - \rho_H) g \left[(1 - B)^2 - \left(1 - \frac{B}{B_0}\right)^2 \right]} = (1 - B)^{4.7}; \quad (7)$$

$$d_{\max} = 43.3 \frac{\sigma^{1.5} + 0.7\mu_B \cdot u^{0.7} \cdot \sigma^{0.8}}{u^{2.4} \cdot \text{Re}^{0.1} \cdot \nu_{\text{см}}^{0.1} \cdot \rho_n \cdot \mu_n^{0.5}}, \quad (8)$$

где D – диаметр отстойника, м; S – площадь поперечного сечения емкости, занятой эмульсией, м²; L – длина зоны осаждения, м; ω_{0ci} , ω_{0i} – скорость стесненного и свободного осаждения капли размером di , м/с; $\rho_{\text{эм}}$, ρ_n , ρ_e – плотность эмульсии, нефти и воды соответственно, кг/м³; μ_n , μ_e – динамическая вязкость нефти и воды соответственно, Па·с; g – ускорение свободного падения, м/с²; d_{\max} – максимальный размер устойчивых капель воды, м; σ – поверхностное натяжение, Н·м; u – линейная скорость потока, м/с; $\nu_{\text{см}}$ – кинематическая вязкость смеси, м²/с; Re – критерий Рейнольдса.

Зависимость (2) представляет собой уравнение, описывающее процесс наполнения отстойника жидкостью и характеризующее изменение объема (уровня) воды в отстойнике от параметров эмульсии на входе за промежуток времени $\Delta t = t^{(к)} - t^{(0)}$.

В процессе осаждения капли воды разных размеров движутся с разной скоростью. Принято допущение о равномерности распределения капель воды в нефти, т.е. обводненность B одинакова в любом вертикальном сечении аппарата.

Принимая максимальный диаметр капель воды $d_{\max} = 0.037$ см при значениях обводненности исходной эмульсии $B_0 = 43.6$ %, динамической вязкости нефти $\mu_n^{40} = 7.48$ мПа·с при 40 °С, плотности воды $\rho_e^{40} = 1005$ кг/м³ и нефти $\rho_n^{40} = 855$ кг/м³ при 40 °С, соответственно, и геометрические параметры аппарата обезвоживания ($D_{\text{вн.}} = 3.4$ м, $L = 22$ м), по уравнению (2) рассчитывается обводненность нефтесодержащей смеси по высоте отстойника с учетом скорости осаждения капель воды (таблица). Считается, что в рабочем режиме работы уровень жидкости не превышает половины диаметра аппарата при соответствующем требовании к качеству нефти на выходе из аппарата (содержание воды не более 5% масс. после ступени предварительного обезвоживания).

Таблица – Статическая характеристика изменения обводненности эмульсии по высоте аппарата обезвоживания

Высота водяной подушки, H , м	Площадь поперечного сечения емкости, занятой эмульсией, S , м	Объемный расход эмульсии, $Q_{\text{эм}}$, м ³ /с	Обводненность, B , % масс.	Высота водяной подушки, H , м	Площадь поперечного сечения емкости, занятой эмульсией, S , м	Объемный расход эмульсии, $Q_{\text{эм}}$, м ³ /с	Обводненность, B , % масс.
0	0	0	43.60	0.9	1.924	0.024918	11.11
0.1	0.077	0.000756	38.84	1.0	2.229	0.030073	8.95
0.2	0.216	0.002186	34.36	1.1	2.543	0.035803	7.07
0.3	0.393	0.004107	30.17	1.2	2.864	0.042166	5.48
0.4	0.600	0.006472	26.27	1.3	3.192	0.049229	4.18
0.5	0.830	0.009267	22.66	1.4	3.525	0.057077	3.17
0.6	1.080	0.012492	19.34	1.5	3.861	0.065812	2.45
0.7	1.347	0.016161	16.31	1.6	4.200	0.075561	2.02
0.8	1.629	0.020293	13.57	1.7	4.540	0.086479	1.87

Согласно таблице аппроксимированная зависимость обводненности эмульсии B по высоте аппарата обезвоживания H выражается полиномом второй степени:

$$B = 0.1444H^2 - 0.4909H + 0.436. \quad (9)$$

Динамическая характеристика показывает зависимость объема (уровня) воды в отстойнике обезвоживания от параметров расхода и обводненности поступающей в него эмульсии.

Изменение объема $dV_B(t)$ (уровня $dH(t)$) воды внутри отстойника обезвоживания за промежуток времени dt определяется в дифференциальном виде согласно уравнению (2):

$$\Delta Q_B(t) = \frac{\rho_B dV_B(t)}{dt} = \frac{\rho_B S \cdot dH(t)}{dt} = Q_{эм}(t) - Q_H(t) = B(t) Q_{эм}(t) \tag{10}$$

Используя параметры режима работы и конструкции аппарата обезвоживания проектируемой в Филиале ООО «Лукойл-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» в г. Перми установки предварительного сброса пластовой воды $D = 3.4$ м, $S = 4.54$ м², $Q_{эм} = 75$ кг/с, $\rho_{эм} = 975$ кг/м³ с условием поддержания межфазного уровня в рабочем диапазоне 1.2-1.6 м на отметке $H = 1.3$ м и выразив обводненность B выражением (9), дифференциальное уравнение (10) в натуральных (физических) единицах запишется следующим образом:

$$\frac{dH(t)}{dt} = 0.017 \cdot (0.1444(H(t))^2 - 0.4909H(t) + 0.436) \tag{11}$$

После проведения вычислительного эксперимента на аналитической модели (11) с учетом выражения (9) получена динамическая зависимость обводненности при ступенчатом изменении расхода эмульсии на входе в виде кривой разгона, обработанной в Simulink пакета MATLAB и аппроксимированной передаточной функцией первого порядка. Аналитически полученная передаточная функция объекта при использовании в качестве передаточной функции исполнительного механизма инерционного звена первого порядка и времени чистого запаздывания $\tau_{зан} = 30$ с представлена в виде:

$$W_{ТОУ}^A(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{1.0019}{101.2s + 1} \cdot \frac{1.056}{1.98s + 1} e^{-30s}$$

Сравнительный анализ безразмерных экспериментальной кривой разгона и аналитической модели переходной характеристики представлен на рис. 3.

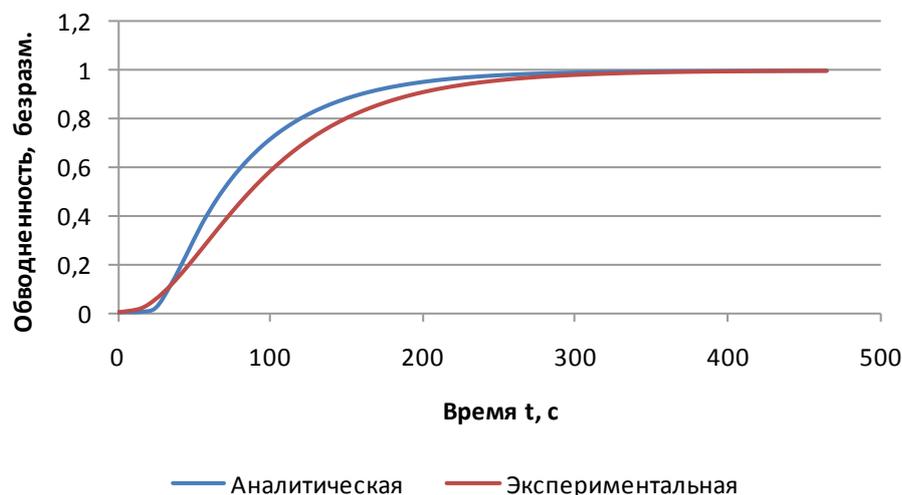


Рис. 3 – Сравнительный анализ безразмерных экспериментальной и аналитической переходных характеристик

По экспериментальной передаточной функции объекта средствами блока Check Step Response Characteristics программы Simulink пакета MATLAB произведен расчет оптимальных значений настроечных параметров ПИ-регулятора обводненности: $K_i=0.0095$ и $K_p=0.7665$.

Исходя из рассчитанных экспериментальных значений настроек каналов ПИ-регулятора, получена в Simulink переходная характеристика системы с аналитической передаточной функцией объекта [6]. Сравнительный результат моделирования переходных процессов в системе регулирования обводненности с экспериментальной и аналитической передаточными функциями объекта представлен на рис. 4.

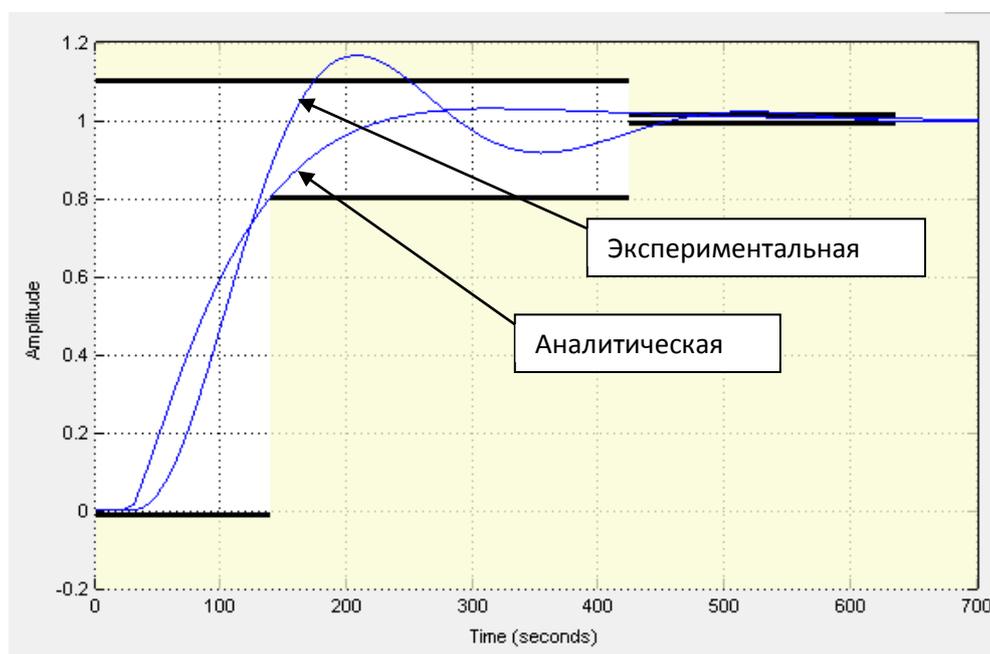


Рис. 4 – Переходные процессы при моделировании системы регулирования обводненности с экспериментальной и аналитической передаточными функциями объекта

Таким образом, несмотря на некоторые отличия в форме переходных процессов, представленных на рис. 4, можно сделать вывод о том, что конфигурирование системы регулирования можно производить на стадии проектирования аналитическим методом. В рассмотренном примере разница в переходных процессах составляет в среднем 10-15%. В этом случае расчет настроек регуляторов и обработка экспериментальных характеристик объекта может производиться удаленно от промысла и передаваться в систему управления в цифровом виде для поддержания оптимального режима его работы. Конфигурирование системы управления при этом осуществляется на базе принятых в проекте типовых средств автоматизации.

Список литературы

1. *Лутощкин Г.С.* Сбор и подготовка нефти, газа и воды: учебник для вузов. – М.: Альянс, 2005. – 319 с.
2. *Беспалов А.В.* Системы управления химико-технологическими процессами: учебник для вузов / А.В. Беспалов, Н.И. Харитонов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. – 307 с.
3. *Плохотников К.Э.* Вычислительные методы. Теория и практика в среде MATLAB: курс лекций / К.Э. Плохотников. – М.: Горячая Линия – Телеком, 2009. – 496 с.
4. *Тронов В.П.* Промысловая подготовка нефти. – Казань: ФЭН, 2000. – 416 с.
5. *Джалилова С.Н.* Исследование и корректировка технологических режимов процессов подготовки нефтяного сырья / *Джалилова С.Н., Ушева Н.В., Ерофеев В.И.* // Успехи современного естествознания. – 2017. – №4. – С. 19-23.
6. *Смирнов Н.И.* О корректности настройки ПИД-регулятора при аппроксимации переходной характеристики объекта регулирования апериодическим звеном с транспортным запаздыванием / Н.И. Смирнов, В.Р. Сабанин, А.И. Репин // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2007. – №1. – С. 35-39.

05.13.06

¹О.Ю. Снегирев, ²И.Ж. Козенко, ²В.В. Попов

¹Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН,
²Дальневосточный федеральный университет,
Владивосток, snegirevoleg@iacp.dvo.ru, kozenko.izh@students.dvfu.ru,
popov.vva@students.dvfu.ru

РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОГО ВИРТУАЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА ДЛЯ МАССООБМЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Представлен метод разработки адаптивного виртуального анализатора показателя качества с использованием приращений входных переменных на примере установок первичной переработки нефти. Проведено сравнение разрабатываемого виртуального анализатора с адаптивным виртуальным анализатором по методу «движущегося окна» на основе фактических значений переменных. Показано преимущество адаптивного виртуального анализатора на основе приращений переменных по значению средней абсолютной ошибки.

Ключевые слова: *адаптивный виртуальный анализатор, прогнозирование, массообменный технологический процесс.*

В настоящее время в нефтеперерабатывающей промышленности при оценке качества выходных продуктов ректификационных колонн используются данные лабораторного контроля и результаты с измерительных средств и комплексов, входящих в структуру систем усовершенствованного управления технологическими процессами (СУУТП) [1]. Результаты анализов, получаемые этими методами, не всегда обладают необходимым уровнем оперативности, поэтому не могут использоваться для управления качеством продукта в реальном времени. Для решения данной проблемы на производстве используют виртуальные анализаторы, позволяющие оценить качество выходных продуктов по результатам измерений технологических переменных (расходы потоков, температура, давление и др.) [2]. В связи с тем, что параметры технологических объектов изменяются во времени, то появляется необходимость подстраивать параметры виртуального анализатора для повышения качества оценивания показателей качества продуктов ректификации [3].

Существуют различные подходы к разработке адаптивных виртуальных анализаторов: метод движущегося окна, рекурсивные методы адаптации и многомодельные методы [4]. Принцип работы адаптивного виртуального анализатора по методу «движущегося окна» заключается в том, что, при появлении нового наблюдения, пересчитываются параметры модели для оценки выходной переменной с на основе обучающей выборки, из которой на каждом шаге убирается самое раннее наблюдение и добавляется новое. Рекурсивные методы используют текущую модель и только одно новое наблюдение для обновления модели [5]. Адаптация включает в себя понижение веса предыдущей модели с помощью фактора забывания. Рекурсивные методы имеют те же проблемы с оценкой параметров, что и метод движущегося окна. Многомодельный подход к адаптации основан на построении некоторого количества регрессионных моделей для оценки показателя качества продукта. После чего происходит комбинирование данных оценок и вычисляется финальная оценка выходной переменной.

В данной статье представлено сравнение подходов к разработке адаптивного виртуального анализатора по методу «moving window» (MW) и метода на основе MW, отличающийся использованием в качестве входных переменных величину изменения переменных объекта, а не фактическое значение (Moving Window Time Difference, MWTD).

Для получения модели ВА в основном используется линейная регрессия. Принципиальный вид представлен в формуле:

К-2 также отбирается еще БФ и смешиваясь с БФ из К-1 выходит с установки. Задача заключается в построении ВА по концу кипения (ТКК) бензиновой фракции с установки.

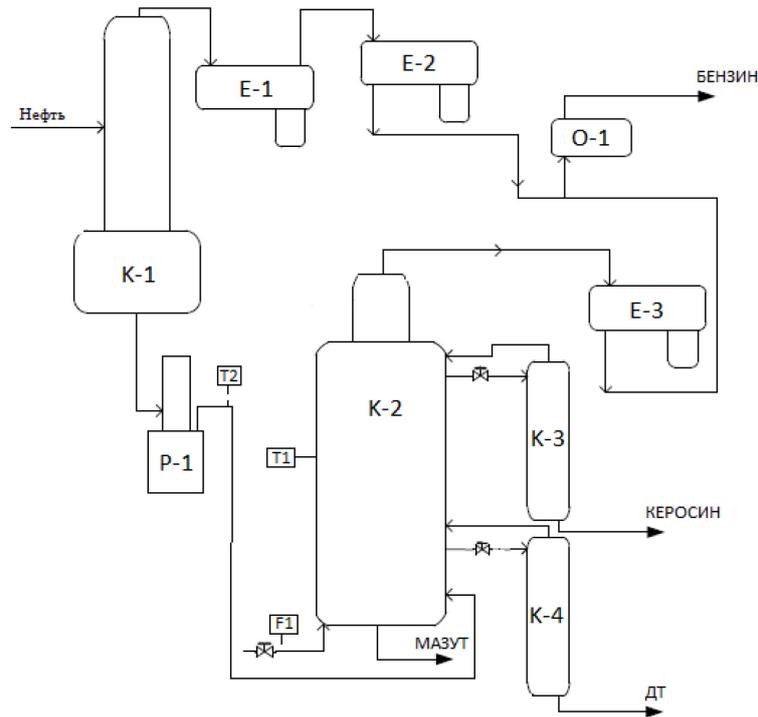


Рис. 2 – Технологическая схема установки ППН №2

В качестве регрессоров использовались следующие измеряемые технологические параметры: u_1 - массовый расход пара в колонне К-2 (F1), u_2 - температура в секции колонны К-2 (T1), u_3 – температура нефти на выходе из печи P-1 (T2).

Для оценки качества адаптивного виртуального анализатора использовалась средняя абсолютная ошибка CAO:

$$CAO = \frac{\sum_{k=1}^N (y_k - \hat{y}_k)}{N}$$

где N – количество значений проверочной выборки,

y_k – истинное значение, полученное в ходе лабораторного анализа,

\hat{y}_k – прогнозное значение, полученное в ходе расчета АВА.

Для скользящего окна наиболее важным параметром является его ширина. Варьируя ширину, можно добиться оптимального значения, при котором качество модели будет наибольшим. Поэтому, построим графики зависимости CAO от размера окна и определим оптимальную ширину для технологических объектов.

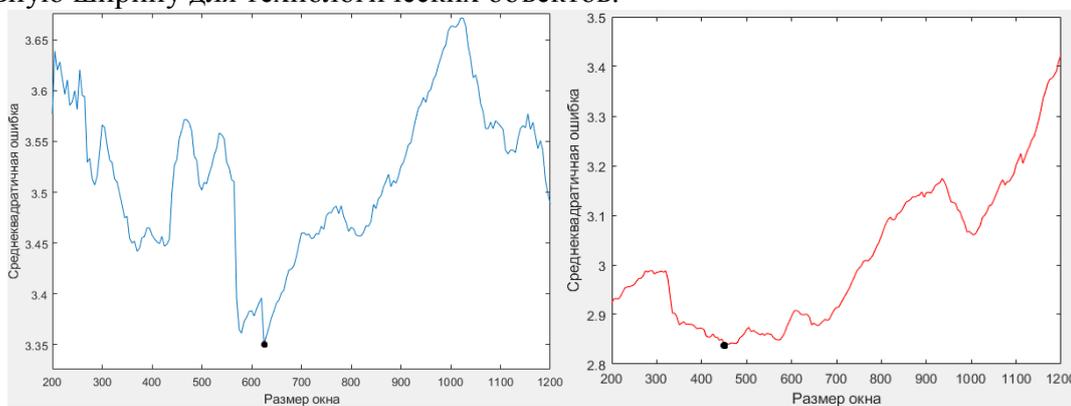


Рис. 3 – Зависимость CAO от размера окна для установки ППН №1 (слева) и установки ППН №2 (справа)

Найдем для данных технологических объектов оптимальную ширину окон, при которой ошибка САО минимальна. Для установки ППН №1 значение ширины окна равно 630, для установки ППН №2 - 450.

На рисунках 5 и 6 представлены графики изменения САО в ходе работы адаптивного ВА по методам MW и MWTD для установок ППН №1 и ППН №2.

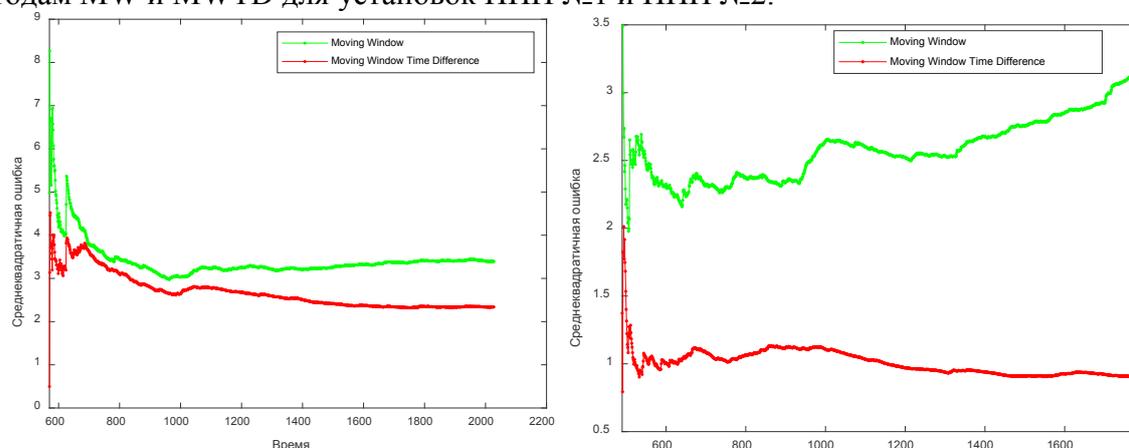


Рис. 4 – График изменения САО при выбранной ширине окна по методам MW и MWTD для установок ППН №1 (слева) и ППН №2 (справа)

Анализируя графики рисунка 4 можно увидеть, что значение САО для адаптивный ВА по методу MWTD было меньше чем САО для ВА по методу MW. Так для установки ППН №1 САО была меньше на 22%, а для установки ППН №2 – на 70%.

Заключение

В работе были исследованы основные адаптивные методы применительно для технологических установок первичной переработки нефти. В ходе работы были найдены оптимальные значения ширины окна, продемонстрировано улучшение качества модели при использовании метода MWTD. Значение САО при MWTD на 22 % ниже, чем при MW для установки №1, для установки №2 ошибка на 70 %.

*Работа осуществлялась при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований
(проекты 20-37-90027 Аспиранты, 21-57-53005 ГФЕН_а)*

Список литературы

1. Дозорцев В.М., Ицкович Э.П., Кнеллер Д.В. Усовершенствованное управление технологическими процессами (АРС): 10 лет в России // Автоматизация в промышленности. 2013. № 1. С. 12-19.
2. Мусаев А.А. Виртуальные анализаторы: концепция построения и применения в задачах управления непрерывными технологическими процессами / А. А. Мусаев // Автоматизация в промышленности. – 2003. – №8. – С. 28-33.
3. Торгашов, А.Ю. Современные методы построения систем усовершенствованного управления технологическими процессами. / А.Ю. Торгашов, А.А. Гончаров, С.А. Самотылова // Вестник ДВО РАН. – 2016. – № 4 (188). – С. 102-107.
4. Kaneko H., Funatsu K. Moving window and just-in-time soft sensor model based on time differences considering a small number of measurements // Industrial & Engineering Chemistry Research. 2015. Vol. 54 (2). P. 700-704.
5. Kadlec P., Grbic R., Gabrys B. Review of adaptation mechanisms for data-driven soft sensors // Computers and Chemical Engineering. 2011. Vol. 35. P. 1-24.

Сырая обессоленная нефть поступает в середину колонны K1_1, где подвергается первичной ректификации. После теплообменных процессов поток разделяется надвое: легкая смесь, обогащенная углеводородными газами, идет по верхней ветке до емкости E1_1, а более тяжелая, обогащенная мазутными компонентами, нагревается и идет в колонну K2_1. Далее потоки поступают на следующие теплообменные колонны, в которых происходит разделение смесей на отдельные фракции.

ВА предлагается использовать для оценки температуры конца кипения стабильного бензина. В качестве регрессоров использовались следующие измеряемые технологические параметры: температура потока на ветви из колонны K2_1 в K3_1 (T1), давление потока на ветке из колонны K5_1 в K2_1 (P1), давление потока из колонны K4_1 в K2_1 (P2), давление на дне атмосферной колонны K2_1 (P3), давление на дне отпарной колонны K5_1 (P4).

На рисунке 2 представлена технологическая схема ППН №2.

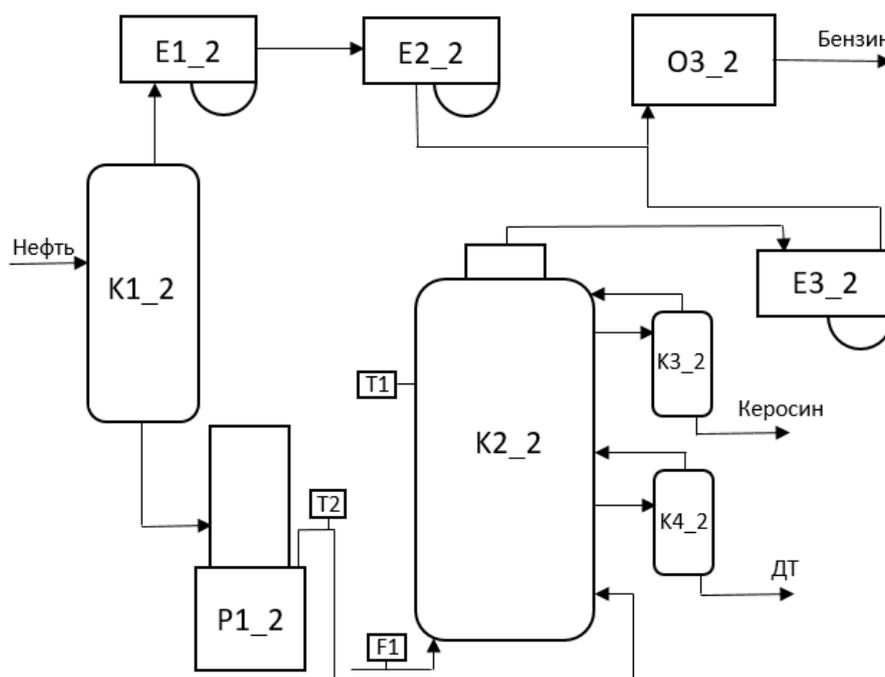


Рис. 2 – Технологическая схема массообменной установки №2

Нефть поступает в ректификационную колонну K1_2, где подвергается отбензиниванию. После этого поток разделяется надвое: легкая смесь, обогащенная углеводородными газами, идет по верхней ветке до рефлюксных емкостей E1_2 и E2_2, а более тяжелая, обогащенная мазутными компонентами, поступает в печь P1_2.

Далее подогретая нефть из печи подвергается атмосферной перегонке в ректификационной колонне K2_2 с отпарными секциями K3_2 и K4_2.

ВА предлагается использовать для оценки температуры конца кипения стабильного бензина. В качестве регрессоров использовались следующие измеряемые технологические параметры: массовый расход пара в колонне K2_2 (F1), температура в секции колонны K2_2 (T1), температура нефти на выходе из печи P1_2 (T2).

Представленный метод адаптации ВА основан на кластеризации и ансамблевом методе.

Вначале обучающая выборка (ОВ) из n элементов разбивается на кластеры методом k -means. Главной концепцией алгоритма k -means является цент масс. В начальный момент времени выбираются K начальных центров кластеров, затем элементы ОВ распределяются по кластерам в зависимости от расстояния до центров масс. Часто используется евклидово расстояние [2]:

$$l_k = \sqrt{\sum (X_k - \mu)^2}$$

где μ – начальное значение центров масс.

После распределения всех элементов ОБ обновляются центры кластеров. Работа алгоритм осуществляется до тех пор, пока центры кластеров в настоящий момент времени не будут совпадать с центрами кластеров в предыдущий момент [2].

После разбиения для каждого кластера строится модель, представляющие собой линейную регрессию [3]:

$$\hat{Y}_k = b_0 + \sum_{i=1}^K b_i * X_i$$

где \hat{Y}_k – показания виртуального анализатора; X_i – параметры процесса; b_i – коэффициенты регрессии; b_0 – свободный член регрессии.

Суть используемых ансамблевых методов заключается в том, что после расчета \hat{Y}_k для каждого кластера, полученные значения взвешено суммируются [4]:

$$\hat{Y} = \sum_{k=1}^K \hat{Y}_k * \omega_k$$

где ω_k – коэффициент усреднения (вес).

Значения весов являются важным параметром, строгого правила выбора которых не существует. В данной работе предлагаются следующие выражения для выбора весов ω_k :

1. Единичный. При $\min l_k$, $\omega_k = 1$; В остальных случаях, $\omega_k = 0$.
2. Равнозначный. $\omega_k = 1/K$, где K – количество кластеров.
3. Обратно пропорциональный расстоянию:

$$\omega_k = \frac{1 - \left(\frac{l_k}{\sum_{k=1}^K l_k} \right)}{K - 1}$$

где l_k – расстояния от каждого центра масс.

Для оценки качества модели использовалась средняя абсолютная ошибка (mean absolute error, MAE):

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i|}{n}$$

где n – количество наблюдений; Y_i – истинное значение, полученное в ходе лабораторного анализа; \hat{Y}_i – прогнозируемое значение, полученное в ходе расчета модели.

После расчёта \hat{Y}_n измеренные значения технологических переменных и лабораторного анализа включаются в состав кластера исходя из наименьшего расстояния до центра масс. Модель данного кластера обновляется и имеющиеся модели используются для оценки выходного значения в следующий момент времени.

Важной частью является выбор количества кластеров. Рассчитаем MAE при $n = 200$ для K равной от 2 до 10.

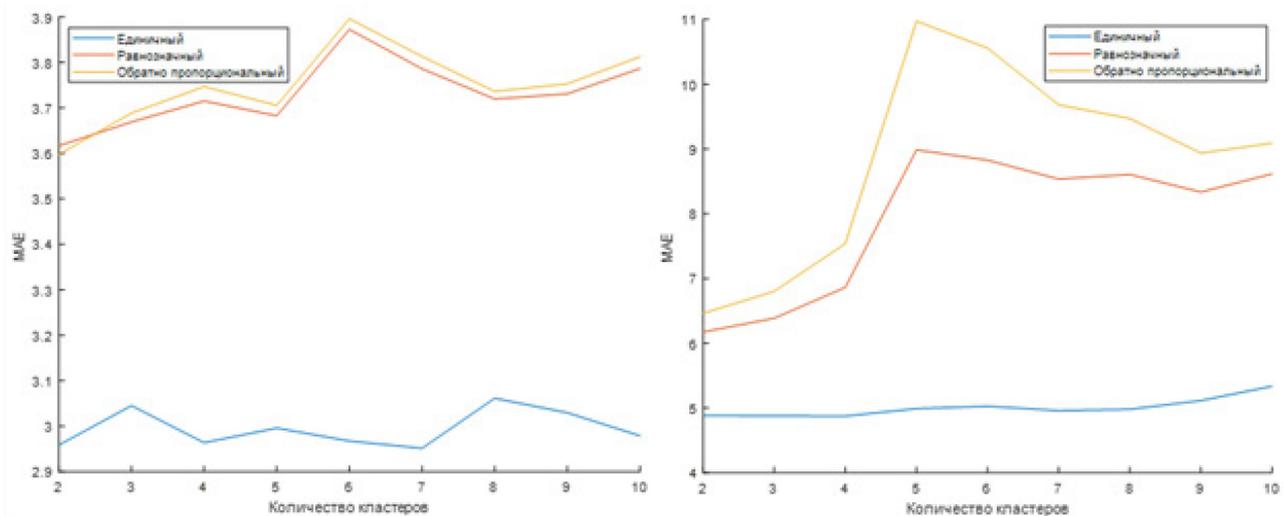


Рис. 3 – Зависимость MAE от количества кластеров для установки №1 (справа) и установки №2 (слева)

Как видно по рисунку 3, оценка единичного типа весового коэффициента колеблется в малом диапазоне и превосходит другие минимум на 18% и на 22% соответственно. Наименьшая ошибка в обоих случаях для равнозначного и обратно пропорционального типа весов достигается при $K = 2$. Однако для более детальной визуализации влияния весов на показатель оценки примем $K = 4$.

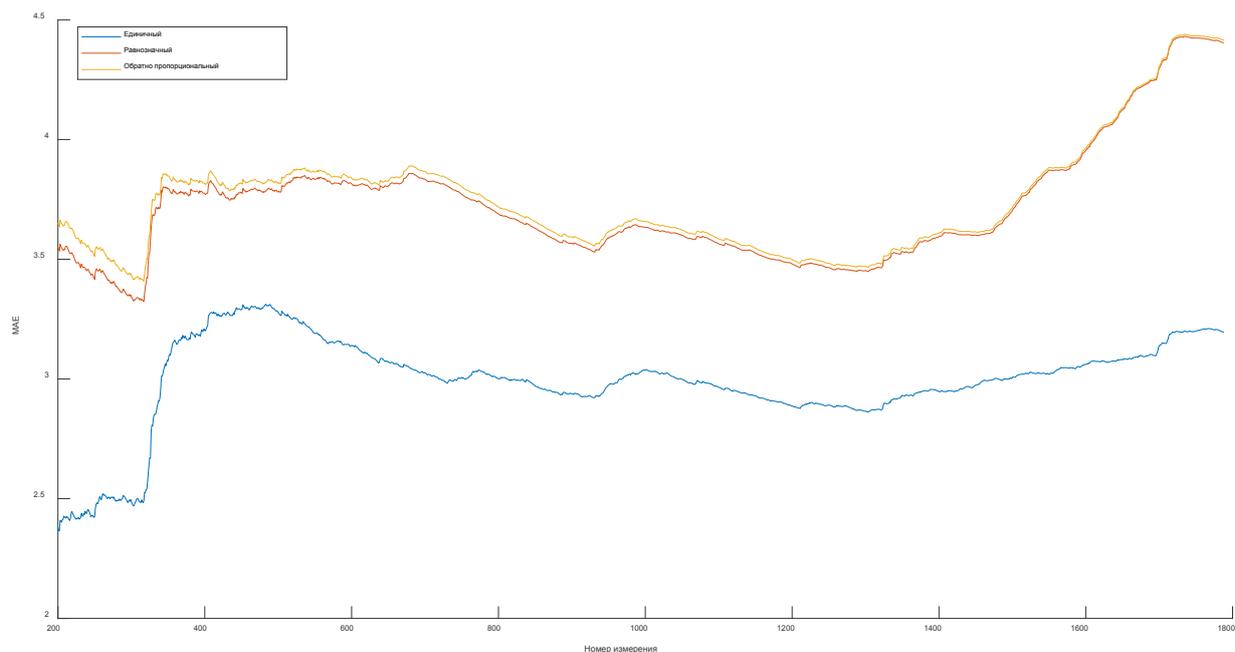


Рис. 4 – Изменение MAE в ходе процесса с использованием различных весов для установки ППН №2

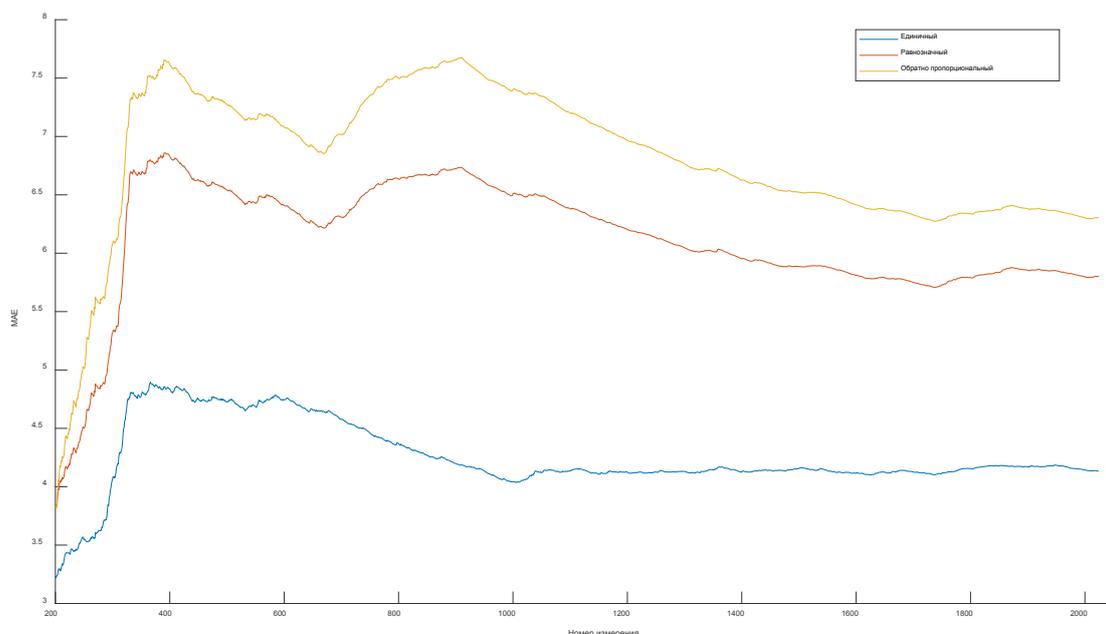


Рис. 5 – Изменение MAE в ходе процесса с использованием различных весов для установки ППН №1

По рисункам 4 и 5 видно, что значение MAE модели с использованием единичного типа весового коэффициента меньше чем для остальных типов весов. Так для установки ППН №1 MAE меньше на 29%, а для установки ППН №2 – на 27%.

В связи со всем вышеизложенным, для массообменного технологического процесса рациональнее использовать кластеризацию с единичным коэффициентом усреднения, так как данный метод лучше адаптируется к смене ТП и колебания выходной переменной продукта.

Заключение

В работе были исследованы ансамблевые методы с разными типами весового усреднения. В ходе работы была найдена зависимость параметра MAE от количества кластеров, проведено сравнение разных типов весового усреднения. Значения, найденные с использованием единичного весового усреднения, в сравнении с другими показывают результаты ошибки на 29% меньше для установки №1 и на 27% меньше для установки №2 и стабильнее ведут себя при смене ТП и колебании выходной переменной.

Работа осуществлялась при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 20-37-90027 Аспиранты, 21-57-53005 ГФЕН_а).

Список литературы

1. Торгашов А.Ю., Гончаров А.А., Самотылова С.А. Современные методы построения систем усовершенствованного управления технологическими процессами // Вестник ДВО РАН. 2016. № 4 (188). С. 102-107.
2. Syakur M.A. Integration k-means clustering method and elbow method for identification of the best customer profile cluster // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 336. P. 1-6.
3. Мусаев А.А. Виртуальные анализаторы: концепция построения и применения в задачах управления непрерывными технологическими процессами // Автоматизация в промышленности. 2003. №8. С. 28-33.
4. Shao W., Tian X. Adaptive soft sensor for quality prediction of chemical processes based on selective ensemble of local partial least squares models // Chemical Engineering Research and Design. 2015. Vol. 95. P. 113-132.

05.13.06

¹А.Р. Фардеев канд. техн. наук, ¹Ф.Д. Байрамов д-р техн. наук,
¹Б.Ф. Байрамов канд. физ.-мат. наук, ²А.А. Фардеев

¹Набережночелнинский институт (филиал)
 ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,
 кафедра механики и конструирования,
²ООО «Энерготехпроект»,
 Набережные Челны, albert.fardeev@mail.ru, bbairamov@gmail.com,
 bbairamov@gmail.com, progmast@mail.ru

ВЫВОД УРАВНЕНИЯ, ОПИСЫВАЮЩЕГО РАБОТУ НАСОСА МАНИПУЛЯТОРА ПРИ УПРАВЛЕНИИ ЕГО РАБОЧИМ ОБЪЁМОМ

В данной статье составлена математическая модель работы манипулятора, используемого при автоматизации технологических процессов машиностроительных предприятий. Была прослежена цепочка преобразования полезной мощности, вырабатываемой насосом в полезную мощность гидродвигателей, а также учтены потери, возникающие при этом путём введения коэффициентов полезного действия. Полученное уравнение, описывающее работу манипулятора, было преобразовано в уравнение в относительных переменных и содержит относительные изменения давления и рабочего объёма насоса.

Ключевые слова: *автоматизация технологических процессов, манипулятор, математическая модель, мощность, коэффициент полезного действия, давление, рабочий объём.*

Перемещение заготовок в технологических процессах машиностроительных предприятий можно автоматизировать при помощи манипуляторов. Для снижения энергозатрат предлагается использовать в манипуляторе гидравлический насос переменного рабочего объёма. Необходимо составить математическую модель управления параметрами этого насоса в зависимости от изменения внешних условий.

Полезная мощность насоса $(N_{ПН})$ за вычетом мощности, потерянной в клапане (N_K) , передаётся по трубопроводу к гидромотору. При этом происходит потеря некоторой мощности. Мощность, поступившую в гидромотор, называют мощностью, потребляемой гидродвигателем (N_G) . Этот процесс описывается формулой [1]:

$$(N_{ПН} - N_K)\eta_{ТР} = N_G, \quad (1)$$

где $\eta_{ТР}$ – гидравлический КПД гидропривода, учитывающий суммарные гидравлические потери давления в трубопроводе [2].

Далее мощность N_G передаётся через гидродвигатели к нагрузке в виде полезной мощности гидропривода $N_{ПГ}$. При этом также происходят потери (объёмные – из-за утечек и механические – из-за силы трения), которые учитываются введением коэффициента полезного действия гидродвигателя η_G :

$$N_{ПГ} = N_G\eta_G. \quad (2)$$

Умножив обе части равенства (1) на η_G и учитывая (2), получим:

$$(N_{ПН} - N_K)\eta_{ТР}\eta_G = N_{ПГ}. \quad (3)$$

Определим величины $N_{ПН}$, N_K , $N_{ПГ}$ [1]:

$$N_{ПН} = p_{нас} Q_{нас}$$

$$N_K = p_K Q_K = p_{нас} Q_K \tag{4}$$

$$N_{ПГ} = R_{11} v_1 + R_{22} v_2 + R_{33} v_3,$$

где $p_{нас}$, $Q_{нас}$ – давление и подача насоса; p_K , Q_K – давление и расход переливного клапана; R_{11} , R_{22} , R_{33} – проекции на соответствующую ось реакций приложенных к соответствующим плунжерам со стороны нагрузки; v_1 , v_2 , v_3 – проекции скоростей соответствующих плунжеров на соответствующую ось.

Здесь $p_K = p_{нас}$, т.к. клапан находится в непосредственной близости от насоса.

Подставив уравнения, выведенные ранее:

$$R_{11} = m_1 a_1;$$

$$R_{22} = m_2 a_2;$$

$$R_{33} = m_3 (a_3 + g).$$

в (4), а затем полученные уравнения в (3) и учитывая, что $a_i = \frac{dv_i}{dt}$ ($i = \overline{1,3}$), получим:

$$p_{нас} (Q_{нас} - Q_K) \eta_{ТР} \eta_{Г} = m_1 \frac{dv_1}{dt} v_1 + m_2 \frac{dv_2}{dt} v_2 + m_3 \left(\frac{dv_3}{dt} + g \right) v_3 \tag{5}$$

Выразим Q_K через давление насоса. Пропускная способность щели клапана, опущенного на высоту открытия σ_1 , определяется по формуле

$$Q_K = \mu_{щ} A_{щ} \sqrt{\left(\frac{2}{\rho}\right) p_{нас}} \tag{6}$$

где $\mu_{щ}$ – экспериментальный коэффициент, зависящий от числа Re ; $A_{щ}$ – площадь щели; ρ – плотность жидкости. Так как число Re зависит от σ_1 и $p_{нас}$, которые изменяются в малых пределах, то будем считать $\mu_{щ}$ постоянным. $A_{щ}$ определяется по формуле

$$A_{щ} = \pi d_K \sigma_1 \sin \beta, \tag{7}$$

где d_K – рабочий диаметр клапана; β – угол между образующей конуса клапана и вертикалью.

Можно показать, что

$$\sigma_1 = \frac{p_{нас} A_k \psi}{C} - z_0 \tag{8}$$

Подставив (8) и (7) в (6) получим:

$$Q_K = \mu_{щ} \pi d_K \left(\frac{p_{нас} A_k \psi}{C} - z_0 \right) \sin \beta \sqrt{\left(\frac{2}{\rho}\right) p_{нас}}$$

Обозначим:

$$K_{\mu\psi} = \frac{\mu_{щ} \pi d_K A_k \psi}{C} \sin \beta \sqrt{\left(\frac{2}{\rho}\right)}, \quad K_{\mu 0} = \mu_{щ} \pi d_K z_0 \sin \beta \sqrt{\left(\frac{2}{\rho}\right)}, \text{ тогда:}$$

$$Q_K = K_{\mu\psi} (p_{нас})^{\frac{3}{2}} - K_{\mu 0} (p_{нас})^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

Выразим $Q_{нас}$ через рабочий объём:

$$Q_{нас} = V_{он} n_n, \quad (10)$$

где $V_{он}$ – рабочий объём насоса, n_n – частота вращения вала насоса в об/с.

Подставив (9) и (10) в (5) получим:

$$p_{нас} \left(V_{он} n_n - K_{\mu\psi} (p_{нас})^{\frac{3}{2}} + K_{\mu 0} (p_{нас})^{\frac{1}{2}} \right) \eta_{ТР} \eta_{Г} = m_1 \frac{dv_1}{dt} v_1 + m_2 \frac{dv_2}{dt} v_2 + m_3 \left(\frac{dv_3}{dt} + g \right) v_3$$

или

$$p_{нас} V_{он} n_n \eta_{ТР} \eta_{Г} - K_{\mu\psi} \eta_{ТР} \eta_{Г} (p_{нас})^{\frac{5}{2}} + K_{\mu 0} \eta_{ТР} \eta_{Г} (p_{нас})^{\frac{3}{2}} = m_1 \frac{dv_1}{dt} v_1 + m_2 \frac{dv_2}{dt} v_2 + m_3 \left(\frac{dv_3}{dt} + g \right) v_3 \quad (11)$$

Перейдём к относительным переменным [3]:

$$u_p = \frac{p_{нас} - p_{нас0}}{p_{нас0}}; \quad u_V = \frac{V_{он} - V_{он0}}{V_{он0}}; \quad u_{v1} = \frac{v_1 - v_{10}}{v_{10}}; \\ u_{v2} = \frac{v_2 - v_{20}}{v_{20}}; \quad u_{v3} = \frac{v_3 - v_{30}}{v_{30}}, \quad (12)$$

где $p_{нас0}$, $V_{он0}$, v_{10} , v_{20} , v_{30} – давление, рабочий объём и проекции скоростей соответствующих плунжеров на соответствующие оси в номинальном режиме.

Выразим из (12) $p_{нас0}$, $V_{он0}$, v_{10} , v_{20} , v_{30} и подставим в (11):

$$(1 + u_p) p_{нас0} (1 + u_V) V_{он0} n_n \eta_{ТР} \eta_{Г} - K_{\mu\psi} \eta_{ТР} \eta_{Г} \left((1 + u_p) p_{нас0} \right)^{\frac{5}{2}} + K_{\mu 0} \eta_{ТР} \eta_{Г} \left((1 + u_p) p_{нас0} \right)^{\frac{3}{2}} = \\ = m_1 \frac{d(1 + u_{v1}) v_{10}}{dt} (1 + u_{v1}) v_{10} + m_2 \frac{d(1 + u_{v2}) v_{20}}{dt} (1 + u_{v2}) v_{20} + m_3 \left(\frac{d(1 + u_{v3}) v_{30}}{dt} + g \right) (1 + u_{v3}) v_{30}.$$

Преобразуем левую и правую часть последнего уравнения, пренебрегая малыми величинами относительных переменных в степени выше единицы и их произведениями.

Кроме того разложим в ряд Маклорена величины $\left((1 + u_p) p_{нас0} \right)^{\frac{5}{2}}$ и $\left((1 + u_p) p_{нас0} \right)^{\frac{3}{2}}$ и учтём лишь первые два слагаемые в этих разложениях. Тогда:

$$(1 + u_p + u_V) p_{нас0} V_{он0} n_n \eta_{ТР} \eta_{Г} - K_{\mu\psi} \eta_{ТР} \eta_{Г} \left(1 + \frac{5}{2} u_p \right) p_{нас0}^{\frac{5}{2}} + K_{\mu 0} \eta_{ТР} \eta_{Г} \left(1 + \frac{3}{2} u_p \right) p_{нас0}^{\frac{3}{2}} = \\ = m_1 v_{10}^2 \frac{du_{v1}}{dt} (1 + u_{v1}) + m_2 v_{20}^2 \frac{du_{v2}}{dt} (1 + u_{v2}) + m_3 v_{30}^2 \left(\frac{du_{v3}}{dt} + \frac{g}{v_{30}} \right) (1 + u_{v3})$$

или

$$(1 + u_p + u_V) p_{нас0} V_{он0} n_n \eta_{ТР} \eta_{Г} - K_{\mu\psi} \eta_{ТР} \eta_{Г} p_{нас0}^{\frac{5}{2}} - \frac{5}{2} u_p K_{\mu\psi} \eta_{ТР} \eta_{Г} p_{нас0}^{\frac{5}{2}} + \\ + K_{\mu 0} \eta_{ТР} \eta_{Г} p_{нас0}^{\frac{3}{2}} + \frac{3}{2} u_p K_{\mu 0} \eta_{ТР} \eta_{Г} p_{нас0}^{\frac{3}{2}} = \\ = m_1 v_{10}^2 \frac{du_{v1}}{dt} (1 + u_{v1}) + m_2 v_{20}^2 \frac{du_{v2}}{dt} (1 + u_{v2}) + m_3 v_{30}^2 \left(\frac{du_{v3}}{dt} + \frac{g}{v_{30}} \right) (1 + u_{v3}). \quad (13)$$

Обозначим:

$$N_0 = p_{нас0} V_{он0} n_n \eta_{ТР} \eta_{Г}; K_{\mu 1} = K_{\mu 0} \eta_{ТР} \eta_{Г} p_{нас0}^{\frac{3}{2}} - K_{\mu \psi} \eta_{ТР} \eta_{Г} p_{нас0}^{\frac{5}{2}};$$

$$K_{\mu 2} = \frac{3}{2} K_{\mu 0} \eta_{ТР} \eta_{Г} p_{нас0}^{\frac{3}{2}} - \frac{5}{2} K_{\mu \psi} \eta_{ТР} \eta_{Г} p_{нас0}^{\frac{5}{2}}$$

Тогда уравнение (13) примет вид:

$$\begin{aligned} (1 + u_p + u_v) N_0 + K_{\mu 1} + K_{\mu 2} u_p = m_1 v_{10}^2 \frac{du_{v1}}{dt} (1 + u_{v1}) + m_2 v_{20}^2 \frac{du_{v2}}{dt} (1 + u_{v2}) + \\ + m_3 v_{30}^2 \left(\frac{du_{v3}}{dt} + \frac{g}{v_{30}} \right) (1 + u_{v3}) \end{aligned}$$

Обозначим:

$$K_{\mu} = N_0 + K_{\mu 1}; K_{\mu p} = N_0 + K_{\mu 2},$$

тогда

$$K_{\mu} + N_0 u_v + K_{\mu p} u_p = m_1 v_{10}^2 \frac{du_{v1}}{dt} (1 + u_{v1}) + m_2 v_{20}^2 \frac{du_{v2}}{dt} (1 + u_{v2}) + m_3 v_{30}^2 \left(\frac{du_{v3}}{dt} + \frac{g}{v_{30}} \right) (1 + u_{v3}) \quad (14)$$

Уравнение (14) описывает работу насоса манипулятора, используемого в технологическом процессе горячей штамповки заготовок, при управлении рабочим объёмом.

Это уравнение будет необходимо при изучении устойчивости работы автоматизированной системы управления рабочим объёмом насоса манипулятора в различных режимах.

Список литературы

1. Башта Т.М. Гидропривод и гидропневмоавтоматика / Башта Т. М. – М.: Машиностроение, 1972. – 320 с.
2. Фардеев А.Р. Анализ работы трубопровода манипулятора, используемого в технологическом процессековки или горячей штамповки заготовок / А.Р. Фардеев, А.А. Фардеев, А.М. Абдуллина // Научно-технический вестник Поволжья – 2018. – №1. – С. 71-73
3. Воронов А.А. Теория автоматического управления / Воронов А. А. – М.: Высшая школа, 1986. – 368 с.

05.13.06

¹А.Р. Фардеев канд. техн. наук, ¹Л.А. Феокистова канд. техн. наук,
¹Т.В. Рзаева, ²Р.Г. Марданшин канд. физ.-мат. наук

¹Набережночелнинский институт (филиал)
 ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,
 кафедра механики и конструирования,
²Набережночелнинский филиал
 ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет
 им. А.Н. Туполева-КАИ»,
 кафедра информационных систем,
 Набережные Челны, albert.fardeev@mail.ru, aida_8691@rambler.ru,
 tania14.11@mail.ru, rgmardanshin@kai.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕАКЦИЙ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ПОДВИЖНЫЕ ЧАСТИ МОДУЛЕЙ ПОДВИЖНОСТИ СО СТОРОНЫ НЕПОДВИЖНЫХ ЧАСТЕЙ МАНИПУЛЯТОРА

В данной статье определены реакции, действующие на подвижные части модулей подвижности со стороны неподвижных частей манипулятора. Для этого использован принцип Даламбера: составлены уравнения равновесия для подвижных частей каждого из модулей подвижности с учетом сил инерции. Из полученных уравнений выражены реакции, которые понадобятся при составлении математической модели объекта управления автоматизированной системы регулирования рабочего объема насоса манипулятора.

Ключевые слова: *манипулятор, модуль подвижности, принцип Даламбера, реакция, математическая модель, объект управления.*

Перемещения заготовки от одной машины к другой в технологических процессахковки и горячей штамповки заготовок происходит либо по транспортёру, либо в таре при помощи погрузчика [1].

Эти перемещения можно автоматизировать при помощи двух манипуляторов, т.к. они связаны с двумя прессами. Оба манипулятора будут выполнять похожую работу, поэтому можно ограничиться разработкой одного манипулятора [2].

Определим реактивные силы, действующие на подвижные части модулей подвижности со стороны неподвижных частей. Пусть у манипулятора имеются только поступательные переносные степени подвижности. Реактивные силы, силы инерции и внешние нагрузки, действующие на подвижные части модулей подвижности для данного случая, показаны на рисунке. Реактивные моменты на рисунке не показаны, т. к. не ставится задача их определения. Это связано с тем, что в рассматриваемом случае для управления манипулятором не используются вращающие моменты.

Для определения реакций воспользуемся принципом Даламбера, т.е. составим уравнения равновесия для подвижных частей каждого из модулей подвижности с учетом сил инерции [3].

Составим уравнения равновесия для подвижных частей первого модуля подвижности:

$$\begin{aligned}
 \sum_{k=1}^n F_{kx} = 0 & ; & R_{11} - (m_1^| + m_0) a_1 = 0 ; \\
 \sum_{k=1}^n F_{ky} = 0 & ; & R_{12} - (m_1^| + m_0) a_2 = 0 ; \\
 \sum_{k=1}^n F_{kz} = 0 & ; & R_{13} - (m_1^| + m_0) g - (m_1^| + m_0) a_3 = 0 .
 \end{aligned} \tag{1}$$

Здесь $m_1^|$ – масса подвижных частей первого модуля подвижности; m_0 – масса объекта манипулирования в совокупности со схватом; a_1, a_2, a_3 – проекции вектора ускорения точек объекта манипулирования и точек подвижных частей первого модуля подвижности на оси x, y, z соответственно; R_{11}, R_{12}, R_{13} – реакции, приложенные к подвижным частям первого модуля подвижности со стороны неподвижных частей этого модуля.

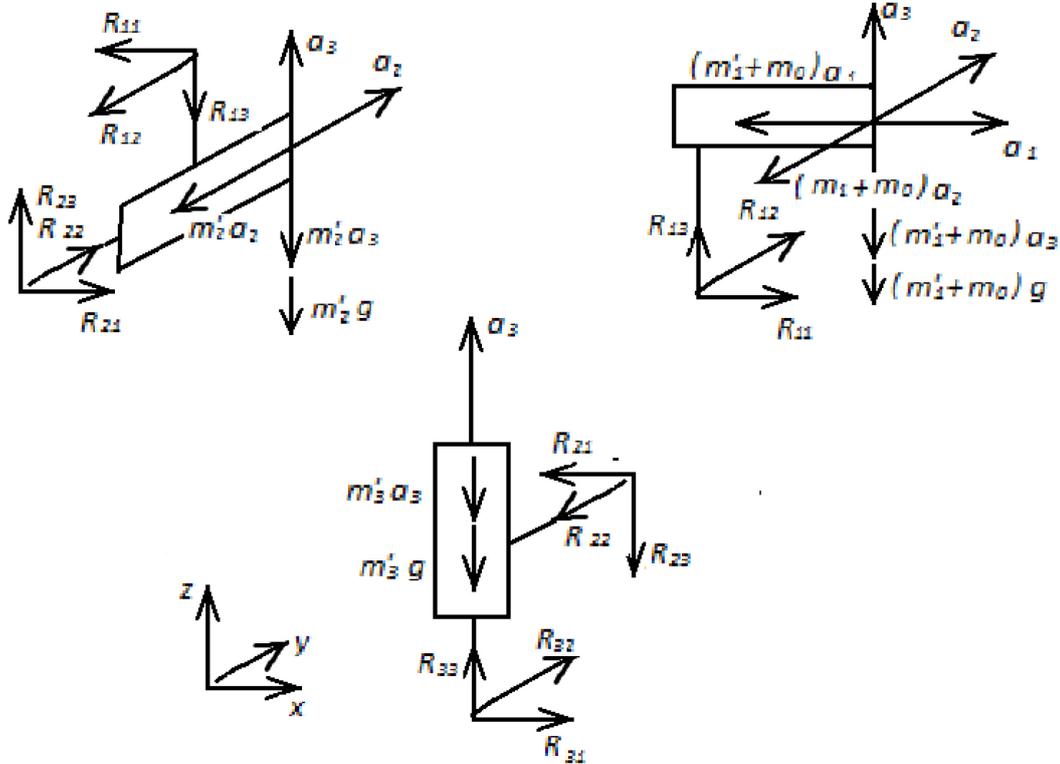


Рис. – Силы, приложенные к подвижным частям модулей подвижности манипулятора

Выразим из уравнений (1) реакции R_{11}, R_{12}, R_{13} :

$$\begin{aligned} R_{11} &= (m_1^| + m_0)a_1; \\ R_{12} &= (m_1^| + m_0)a_2; \\ R_{13} &= (m_1^| + m_0)g + (m_1^| + m_0)a_3. \end{aligned} \tag{2}$$

В уравнениях (2) сделаем замену:

$$m_1 = m_1^| + m_0,$$

где m_1 – масса подвижных частей манипулятора (в совокупности с объектом манипулирования), имеющих возможность совершать движение вдоль оси x . Тогда уравнения (2) примут вид:

$$\begin{aligned} R_{11} &= m_1 a_1; \\ R_{12} &= m_1 a_2; \\ R_{13} &= m_1 (a_3 + g). \end{aligned} \tag{3}$$

Здесь (для точек подвижной части первого модуля подвижности и объекта манипулирования) a_1 по абсолютной величине равно модулю относительного ускорения, создаваемого первым модулем подвижности; a_2, a_3 по абсолютной величине равны

модулям переносных ускорений, создаваемых вторым и третьим модулями подвижности соответственно. Кориолисова ускорения не возникает, т.к. переносное вращение отсутствует.

Составим уравнения равновесия для подвижных частей второго модуля подвижности.

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^n F_{kx} = 0 &; & R_{21} - R_{11} = 0; \\ \sum_{k=1}^n F_{ky} = 0 &; & R_{22} - R_{12} - m_2^l a_2 = 0; \\ \sum_{k=1}^n F_{kz} = 0 &; & R_{23} - R_{13} - m_2^l a_3 - m_2^l g. \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь m_2^l – масса подвижных частей второго модуля подвижности; a_2 , a_3 – проекции вектора ускорения точек подвижных частей второго модуля подвижности на оси y , z соответственно (проекция этого вектора на ось x равна нулю); R_{21} , R_{22} , R_{23} – реакции, приложенные к подвижным частям второго модуля подвижности со стороны неподвижных частей этого модуля.

Выразим реакции R_{21} , R_{22} , R_{23} из уравнений (4) с учётом (3):

$$\begin{aligned} R_{21} &= m_1 a_1; \\ R_{22} &= (m_1 + m_2^l) a_2; \\ R_{23} &= m_1 (a_3 + g) + m_2^l (a_3 + g). \end{aligned} \quad (5)$$

В уравнениях (5) сделаем замену:

$$m_2 = m_1 + m_2^l,$$

где m_2 – масса подвижных частей манипулятора (в совокупности с объектом манипулирования), имеющих возможность совершать движение вдоль оси y . Тогда уравнения (5) примут вид:

$$\begin{aligned} R_{21} &= m_1 a_1; \\ R_{22} &= m_2 a_2; \\ R_{23} &= m_2 (a_3 + g). \end{aligned} \quad (6)$$

Здесь (для точек подвижной части второго модуля подвижности) a_2 по абсолютной величине равно модулю относительного ускорения, создаваемого вторым модулем подвижности; a_3 по абсолютной величине равно модулю переносного ускорения, создаваемого третьим модулем подвижности. Кориолисова ускорения не возникает, т.к. переносное вращение отсутствует. Поэтому проекция ускорения любой точки подвижной части второго модуля подвижности на ось x равна нулю.

Составим уравнения равновесия для подвижных частей третьего модуля подвижности.

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^n F_{kx} = 0 &; & R_{31} - R_{21} = 0; \\ \sum_{k=1}^n F_{ky} = 0 &; & R_{32} - R_{22} = 0; \\ \sum_{k=1}^n F_{kz} = 0 &; & R_{33} - R_{23} - m_3^l a_3 - m_3^l g. \end{aligned} \quad (7)$$

Здесь m_3^1 – масса подвижных частей третьего модуля подвижности; a_3 – проекция вектора ускорения точек подвижных частей третьего модуля подвижности на ось Z (проекции этого вектора на оси x и y равны нулю); R_{31} , R_{32} , R_{33} – реакции, приложенные к подвижным частям третьего модуля подвижности со стороны неподвижных частей этого модуля.

Выразим реакции R_{31} , R_{32} , R_{33} из уравнений (7) с учётом (6):

$$\begin{aligned} R_{31} &= m_1 a_1; \\ R_{32} &= m_2 a_2; \\ R_{33} &= m_2(a_3 + g) + m_3^1(a_3 + g). \end{aligned} \quad (8)$$

В уравнениях (8) сделаем замену:

$$m_3 = m_2 + m_3^1,$$

где m_3 – масса подвижных частей манипулятора (в совокупности с объектом манипулирования), имеющих возможность совершать движение вдоль оси Z . Тогда уравнения (8) примут вид:

$$\begin{aligned} R_{31} &= m_1 a_1; \\ R_{32} &= m_2 a_2; \\ R_{33} &= m_3(a_3 + g). \end{aligned} \quad (9)$$

Здесь (для точек подвижной части третьего модуля подвижности) a_3 по абсолютной величине равно модулю ускорения, создаваемого третьим модулем подвижности. Переносного ускорения нет т.к. переносное движение отсутствует. Движение происходит по оси Z , поэтому проекция ускорения любой точки подвижной части второго модуля подвижности на оси x и y равны нулю.

Из уравнений систем (3), (6), (9) определим реакции R_{11} , R_{22} , R_{33} :

$$\begin{aligned} R_{11} &= m_1 a_1; \\ R_{22} &= m_2 a_2; \\ R_{33} &= m_3(a_3 + g). \end{aligned} \quad (10)$$

Остальные реакции определять не будем, т.к. при составлении математической модели объекта управления автоматизированной системы регулирования рабочего объёма насоса манипулятора понадобятся только эти реакции.

Список литературы

1. Фардеев А.Р. Возможность включения манипулятора в технологические процессыковки или горячей штамповки заготовок / А.Р. Фардеев, Ф.Д. Байрамов, А.А. Фардеев, Б.Ф. Байрамов // Научно-технический вестник Поволжья – 2019. – № 2. – С. 42-44.
2. Фардеев А.А. Автоматизация технологического процессаковки или горячей штамповки заготовок / А. А. Фардеев, Ф. Д. Байрамов // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2012. - № 4. – С. 59-63.
3. Никитин Н.Н. Курс теоретической механики / Н.Н. Никитин – М.: Высшая школа, 1990. – 608 с.

05.13.06

Т.В. Хрипко канд. техн. наук

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет»,
кафедра автоматизации и электроснабжения,
Москва, ProkhorovaTV@mgsu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ КНР

В работе представлены аналитический обзор применения технологий информационного моделирования объектов капитального строительства на примере КНР. В стране активно развивается применение технологий информационного моделирования, разрабатываются национальные стандарты и цифровые платформы для поддержки пилотных проектов. Пилотный проект по применению технологии BIM поможет продвижению этих технологий в изыскательских и проектных организациях, а также повысит конкурентоспособность всей строительной отрасли на мировом уровне.

Ключевые слова: *технологии информационного моделирования, строительство, жизненный цикл объекта капитального строительства.*

Продвижение технологий информационного моделирования зданий и сооружений (BIM) (далее - «технология BIM») в КНР обеспечивается внедрением интегрированным применением больших данных, облачных вычислений, интернета вещей, искусственного интеллекта и других технологий в процессы проектирования, строительства, эксплуатации и эксплуатации, а также градостроительного планирования. Для обеспечения внедрения технологий BIM в 2021г. был запущен пилотный проект применения технологий BIM по всей провинции Хэбэй и Хунань.

В проектах технологии BIM будут применяется на этапах обследования, проектирования, строительства, надзора, эксплуатации и эксплуатации. В приоритет будут включены государственные инвестиционные проекты, общественные здания и крупномасштабные проекты муниципальной инфраструктуры с объемом инвестиций более 100 миллионов юаней или зданиями площадью более 20 000 квадратных метров.

В пилотном проекте BIM-технологии будут использоваться в процессе строительства для повышения качества и эффективности реализации проекта, оптимизации процессов управления, экономии материально-технических ресурсов. Реализация проекта должна обеспечивать оптимальное соотношение цены и качества.

Пилотные проекты должны охватывать жилищное строительство, муниципальную инфраструктуру и другие категории на этапах обследования, проектирования, строительства, эксплуатации и технического обслуживания в соответствии с этапом применения технологии BIM. Опыт, полученный при реализации пилотных проектов, будет использован для написания рекомендаций для более масштабного применения на территории все КНР.

Один из важных этапов реализации пилотного проекта является экспертиза проектной документации в проекции Хунань.

Департамент жилищного строительства и городского и сельского развития провинции Хунань выпустил приказ, который устанавливает, чтобы все строительные и проектные компании уровня А в провинции были включены в пилотную программу применения BIM. Пилотные компании должны выбрать 10% или более от общего числа проектов жилищного строительства и полностью реализовывать их проектирование с помощью BIM-технологии. Таким образом будет создана и наполняться база проектной документации, выполненной с

помощью BIM-технологии. Это серьезное изменение в сфере инженерных изысканий и проектирования, которое учитывает применение инновационных подходов в строительной отрасли. В связи с этим Департамент жилищного строительства и городского и сельского развития провинции Хунань придает ему большое значение.

На этапе подготовки реализации пилотных проектов были организованы две конференции, чтобы послушать мнения, с привлечением строительных и проектных компаний, а также и организаций, осуществляющих экспертизу проектной документации, и три для определения точечных проблем и исследований подготовки организаций строительной отрасли, таким образом перед запуском проекта было получено мнение профессионального сообщества и его рекомендации по этапам реализации.

В целях активного продвижения BIM-технологий в КНР разрабатываются национальные стандарты и классификаторы ресурсов, а программное обеспечение. В 2016г. был принят единый стандарт информационного моделирования зданий и сооружений, а в 2018г. - стандарт предоставления проектной информационной модели зданий и сооружений. Практическое применение распространяется от знаковых проектов до общих проектных решений и охватывает полный жизненный цикл объектов капитального строительства. Также следует отметить постоянное совершенствование регуляторного механизма и развитие технологий управления.

Таким образом, перспективы применения технологии BIM в КНР очень высоки.

*Статья подготовлена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - докторов наук
№ МД-6196.2021.4.*

Список литературы

1. Волков А.А., Челышков П.Д., Седов А.В., Красновский Б.М., Пазюк Ю.В., Лысенко Д.А. Перспектива разработки и внедрения моделей и методик перспективного ресурсного моделирования отраслевых объектов // Естественные и технические науки. 2014. № 9-10 (77). С. 254-255.
2. Челышков П.Д. Аспекты автоматизированного проектирования киберфизических строительных систем // Промышленное и гражданское строительство. 2018. №9. С. 21-27.
3. Челышков П.Д. Киберфизическая интеграция строительных систем // Естественные и технические науки. 2018. №6. С. 198-200.
4. Volkov A., Sedov A., Chelyshkov P., Pavlov A., Kievskiy L. Promising energy and ecological modeling in computer-aided design International Journal of Applied Engineering Research. 2016. № 11(3). P. 1645-1648. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201997010105>.
5. Katzenbach A., Handschuh S., Vettermann S. JT format (ISO 14306) and AP 242 (ISO 10303): The step to the next generation collaborative product creation. G.L. Kovács, D. Kochan, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013.
6. Volkov A., Sukneva L. Programming applications of computer aided design and layout of the complex solar panels. Applied Mechanics and Materials. 2013. № 411-414. P. 1840-1843. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.411-414.1840
7. Volkov A., Muminova S. Devaluation modelling for residential buildings. Advanced Materials Research. 2014. № 860-863. P. 2864-2867. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.860-863.2864
8. Volkov A., Chulkov V., Kazaryan R. and Sinenko S. Acting adaptation and human parity in the triad "man - Knowledge - Methods". Applied Mechanics and Materials. 2014. № 584-586. P. 2681-2684. DOI: 16028/www.scientific.net/AMM.584-586.2681
9. Volkov A.A., Vasilkin A. Optimal Design of the Steel Structure by the Sequence of Partial Optimization. Procedia Engineering. 2016. № 153. P. 850-855. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.08.176
10. Volkov A., Chulkov V., Kazaryan R., Gazaryan R. Cycle reorganization as model of dynamics change and development norm in every living and artificial beings. Applied Mechanics and Materials. 2014. № 584-586. P. 2685-2688.

11. *Volkov A.A., Batov E.I.* Model of stability of life support systems in emergency situations *International Journal of Applied Engineering Research*. 2016. № 11(3). P. 1666-1669.
12. *Volkov A., Sedov A., Chelyshkov P., Kulikova E.* Modeling the thermal comfort of internal building spaces in hospital. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. № 584-586. P. 753-756. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMM.584-586.753
13. *Volkov A., Chelyshkov P., Grossman Y., Khromenkova A.* BIM cost analysis of transport infrastructure projects. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2017. № 90 (2017). P. 012203. DOI: 10.1088/1755-1315/90/1/012203
14. *Volkov A., Sedov A., Chelyshkov P.* Modeling the thermal comfort of internal building spaces in social buildings. *Procedia Engineering*. 2014. № 91. P. 362-367.
15. *Volkov A., Sedov A., Chelyshkov P., Kulikova E.* Modeling the thermal comfort of internal building spaces in kindergarten. *Applied Mechanics and Material*. 2014. № 584-586. P. 757-760. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMM.584-586.757
16. *Lysenko D., Chelyshkov P.* The method of optimization of energy-efficient engineering solutions by varying criteria in CAD. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. № 365. P. 022027. DOI: 10.1088/1757-899X/365/2/022027
17. *Lapko A.V., Lapko V.A.* Selection of the optimal number of intervals sampling the region of values of a two-dimensional random variable. *Measurement Techniques*. 2016. № 59 (2). P. 122-126. DOI: 10.1007/s11018-016-0928-y
18. *Aleksandrova T., Gromakov E., Chugunov R., Syramkin V.* Virtual analysis of technical equipment operational states variability. *MATEC Web of Conferences*. 2016. P. 01006. DOI: 10.1051/mateconf/20167901006
19. *Gromyschova S.S., Astashkov N.P., Olentsevich V.A., Lobanov O.V.* Safety level assessment of complexly structured transport systems with the purpose of increasing the level of their competitiveness in the market of transport services. *Modern technologies. System analysis. Modeling*. 2019. № 2 (62). P. 250-259. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.2(62).250-259
20. *Lutin V.I., Khripunov Y.V., Desyatirikova E.N., Myshovskaya L.P., Lapshina K.N.* Automatic quality control of processes in the online educational environment. *Proceedings of the 2019 IEEE International Conference Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies IT and QM and IS*. 2019. P. 634-638. DOI: 10.1109/ITQMIS.2019.8928311

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

05.13.11

С.Л. Сьянов канд. техн. наук, А.А. Антонов, И.В. Дорогина

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
кафедра Вычислительной математики, механики и биомеханики,
Пермь, hydrolics@ya.ru

СТРУКТУРИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОИСКА И РАССЫЛКИ ИНФОРМАЦИИ С ИНТЕГРАЦИЕЙ В МЕССЕНДЖЕР

В работе исследованы и описаны методы структуризации поиска, сбора и рассылки информации. А именно, методы реализации BeautifulSoup4, Aiogram framework, inline клавиатур и алгоритмы парсинга и формирования информации. Разработаны информационные Telegram боты по направлениям: музыка, книги, игры, новости.

Ключевые слова: мессенджер, чат-бот, Telegram, BeautifulSoup4, AiogramFramework, парсинг.

Современный ритм жизни вносит свои коррективы. Человек теряется в информационном потоке и не успевает отслеживать интересующие его новости и вместе с этим он много времени проводит в мобильных устройствах [1]. Массовость использования соцсетей [2], как средств обмена информацией наравне с браузерами, влечёт за собой необходимость внедрения в них средств систематизации и поиска информации. Одно из таких средств - чат-боты в мессенджерах, которые могут выполнять повседневные операции, поиск и объединение данных, распространение информации, взаимодействие с клиентами [3]. Однако такие чат-боты выступают как обособленные объекты.

Объединение чат-ботов в единую структуру поможет пользователю быстро найти бота по интересующей его теме и в последствии получать от него соответствующую информацию.

Для интеграции ботов был выбран мессенджер Telegram [4, 5]. Это один из наиболее используемых мессенджеров во всём мире [6].

Создадим «Коллекцию ботов», реализующую несколько направлений – музыка, книги, компьютерные игры, а также новости. Основные функции разработанной «Коллекции ботов» – это осуществление поиска информации в ресурсах сети Интернет; структуризация полученных данных и формирование на их базе сообщений для пользователей; автоматическая рассылка сообщений всем пользователям, подписанных на Telegram-бота. Для описания принципа взаимодействия пользователя с «Коллекцией ботов» нарисует схему (рис. 1).

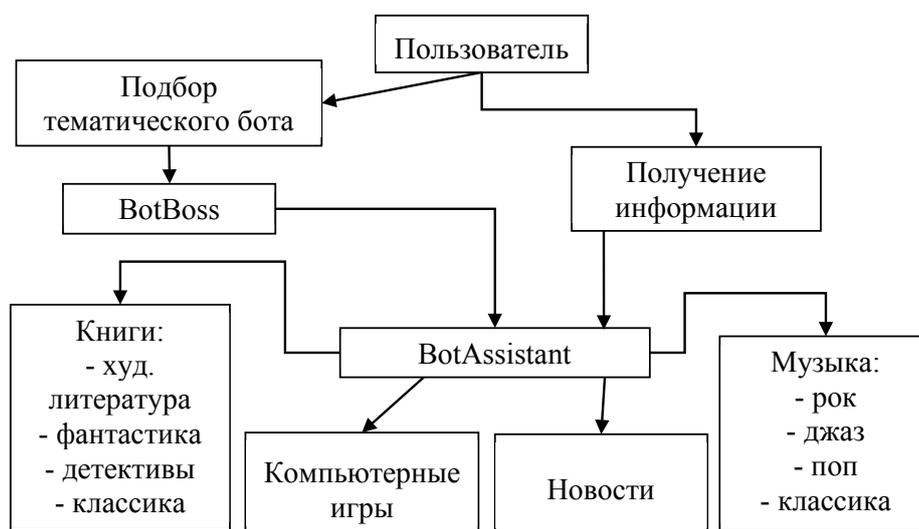


Рис. 1 – Схема взаимодействия «Коллекции ботов» и пользователя

При первичном обращении к разработанной коллекции или при поиске нового тематического бота – BotAssistant – клиент будет направлен к главному боту – BotBoss. Он, основываясь на выборе направлений, найдёт бота необходимой тематики. Далее для получения информации пользователь будет взаимодействовать непосредственно (без обращения к BotBoss) с конкретным BotAssistant, на которого будет подписан.

Для подбора тематических ботов в BotBoss разработаны специальные клавиатуры, отображающие встроенные кнопки внутри сообщения – inline клавиатуры. Так были созданы 4 панели выбора по тематикам. На каждой клавиатуре есть кнопки для дальнейшего выбора, например, inline клавиатура музыкальной темы предлагает разные жанры музыки.

Для организации работы «Коллекции ботов» в мессенжере Telegram была использована библиотека Aiogram [7]. Она является полностью асинхронным фреймворком для Telegram Bot API с привлечением библиотек asyncio и aiohttp. За счёт своей асинхронности Aiogram позволяет увеличить производительность работы BotBoss по сравнению с синхронным вариантом.

При работе с Aiogram была использована технология longpulling, которая позволяет получать данные о новых событиях с помощью «длинных запросов». Так сервера Telegram сами оповещают приложение на сервере при появлении обновлений [8]. Для демонстрации принципа взаимодействия BotAssistant и пользователя нарисована схема (рис. 2).

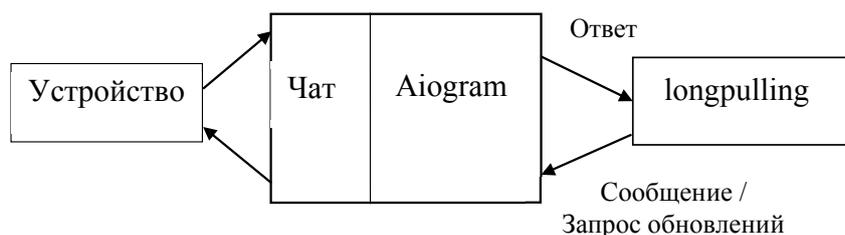


Рис. 2 – Принцип работы BotAssistant на платформе Telegram

Для решения задачи по поиску тематической информации в сети Интернет отображены конкретные интернет-ресурсы, по которым каждый BotAssistant осуществляет парсинг данных.

Из существующих технологий парсинга, таких как Scrapy [9], MechanicalSoup [10], библиотеки Urllib[11], был выбран парсер BeautifulSoup4 [12], где можно реализовать автоматический сбор и структурирование информации. Данный модуль создаёт дерево синтаксического разбора из проанализированных HTML и XML-документов. Он работает с помощью дополнения requests, которое помогает интегрировать работу с http-запросами в разработанную на Python программу. Благодаря использованию перечисленных компонентов происходит сбор данных для дальнейшего их формирования в сообщения для рассылки ботами.

Рассмотрим структуру парсинга музыкального веб-сервиса. С помощью библиотеки Requests был получен html-текст страницы по указанному URL-адресу: `block = requests.get(self.url)`

Далее использована библиотека BeautifulSoup4 для того, чтобы обработать полученные данные и взять только часть из них, например, класс `albumalbum_selectable`. Создан список словарей, где каждый из них является отдельным альбомом:

```
info.append({
    'title': item.find('div', class_='caption caption-bold').get_text(strip = True),
    'to_new': self.host+href[count],
    'image': img_names[count],
    'text': news.find('p').get_text(strip=True)+"\n\nReview: "+str(new_url)
})
```

Затем осуществляется поиск необходимой информации блоками по сайту: `selected = soup.findAll('div', class_='album album_selectable')`

С помощью цикла создан список для каждого блока (`item`) из всего объёма данных сайта (`selected`) для дальнейшего сбора информации.

В заключение сформированный список возвращается для дальнейшей обработки.

Формирование сообщения для рассылки проходит по алгоритму. Рассмотрим его на примере топ-10 музыкальных альбомов недели (рис. 3).

- Установка частоты составления сообщения
- Отслеживание наличия обновлений топа на веб-ресурсе
- Уведомление пользователя об обновлении топа
- Процесс сбора обновленной информации и создание переменной для её хранения
- Отправка сообщения пользователю с обработанной информацией

Формируется два типа сообщений, первое сообщение текстового типа, а второе типа альбом. Создание сообщения не производится, пока не найдётся обновление в переменной `new_top`, где сохраняются ключи по альбомам.

Чтобы достичь максимальной работоспособности BotAssistant при минимальной нагрузке на него, было решено создать Telegram-канал для каждого тематического бота (где тот является администратором). Таким образом, все подписчики на данную тему будут получать необходимые уведомления от бота, например новости мира компьютерных игр (рис. 3).



Рис. 3 – Пример BotAssistant по направлению компьютерные игры

В итоге для обеспечения парсинга и рассылки информации создана и протестирована программа на языке программирования Python с применением технологий: BeautifulSoup4, Aiogram framework, inline клавиатур. В мессенджер Telegram интегрирована «Коллекция ботов», которая объединяет ботов по нескольким направлениям - музыка, новости, книги и компьютерные игры. Разработанная структура позволила решить проблему систематизации и упрощения процесса поиска необходимой пользователю информации.

Список литературы

1. Social media marketing trends in 2020 // GlobalWebIndex. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.globalwebindex.com/reports/social> (дата обращения: 01.12.20).
2. Simon Kemp. DIGITAL 2020: 3.8 BILLION PEOPLE USE SOCIAL MEDIA // We are social. [Электронный ресурс]. URL: <https://wearesocial.com/blog/2020/01/digital-2020-3-8-billion-people-use-social-media> (дата обращения: 01.12.20).
3. *Матвеева Н.Ю.* Технологии создания и применения чат-ботов [Электронный ресурс] / Н. Ю. Матвеева, А. В. Золотарюк. // Научные записки молодых исследователей. – 2018. – №1. – с. 28-30. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/tehnologii-sozdaniya-i-primeneniya-chat-botov> (дата обращения: 01.12.20).
4. Официальный сайт Telegram [Электронный ресурс]. URL: <https://telegram.org/> (дата обращения: 01.12.20).
5. *Бийбосунов Б.И.* Описание концепции Telegram ботов и их разработка [Электронный ресурс] / Б.И. Бийбосунов, С.К. Бийбосунова, Н.Ж. Жолочубеков. // Colloquium-journal. – 2020 - №7(59). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opisanie-kontseptsii-telegram-botov-i-ih-razrabotka> (дата обращения: 01.12.20).
6. *Clement J.* Most popular global mobile messaging apps 2020 // Statista [Электронный ресурс]. URL: <https://www.statista.com/statistics/258749/most-popular-global-mobile-messenger-apps/> (дата обращения: 01.12.20).
7. Aiogram [Электронный ресурс]: Aiogram's documentation. – URL: <https://docs.aiogram.dev/en/latest/> (дата обращения: 01.12.20).
8. *Русин М.С.* Бот-помощник мессенджера Telegram: диплом. работа. Сибирский фед. университет, Красноярск, 2018. URL: <http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/74695/final.pdf?sequence> (дата обращения: 01.12.20).
9. Scrapy 2.4 [Электронный ресурс]: Scrapy 2.4documentation. – URL: <https://docs.scrapy.org/en/latest/> (дата обращения: 01.12.20).
10. MechanicalSoup [Электронный ресурс]: MechanicalSoup documentation. – URL: <https://mechanicalsoup.readthedocs.io/en/stable/> (дата обращения: 01.12.20).
11. Urllib – URL handling modules [Электронный ресурс]: urllib.parse – Parse URLs into components. – URL: <https://docs.python.org/3/library/urllib.parse.html#module-urllib.parse> (дата обращения: 01.12.20).
12. BeautifulSoup4 [Электронный ресурс]: Beautiful Soup 4.9.0 documentation. – URL: <https://www.crummy.com/software/BeautifulSoup/bs4/doc.ru/index.html> (дата обращения: 01.12.20).

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

05.13.18

С.В. Ерохин канд. техн. наук, С.В. Шашкин

Национальный исследовательский московский государственный строительный университет,
кафедра прикладной математики,
Москва, ErokhinSV@mgsu.ru

**ПРИМЕНЕНИЕ ЧИСЛЕННО-АНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
В МОДЕЛИРОВАНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

В работе приведен обзор и сравнение численно-аналитических методов, используемых при расчете строительных конструкций на прочность и устойчивость. Особое внимание уделено возможности реализации методов в программных комплексах.

Ключевые слова: *математическое моделирование, численный метод, строительные конструкции.*

В настоящее время появляются предпосылки для расширения доли аналитических подходов. Уровень мощности ЭВМ, достигнутый в начале XXI века, и существующий инструментарий аналитических математических средств в сочетании с разнообразием математических моделей позволяют поставить на повестку дня задачи разработки и исследования так называемых численно-аналитических методов. О преимуществах сочетания качественных свойств замкнутых решений и общности численных методов говорилось и прежде, но многие из таких разработок либо были практически нереализуемыми из-за отсутствия по крайней мере одного из перечисленных факторов, либо не учитывали вычислительную специфику и необходимость последующей компьютерной реализации [1].

Полуаналитические методы позволяют получать решения в аналитической форме, способствующей повышению качества исследования рассматриваемых объектов. Найденная с их помощью картина НДС развивает интуицию расчетчика и понимание им работы конструкций, характера влияния на них различных локальных и глобальных факторов. Полуаналитические подходы особенно эффективны в зонах так называемого краевого эффекта, который возникает в результате сосредоточенных воздействий на краях конструкции и/или в промежуточных зонах, так как при этом часть составляющих решений представляет собой быстро меняющиеся функции, скорость изменения которых не всегда может быть адекватно учтена при использовании традиционных численных методов.

Метод прямых

Суть метода заключается в том, что в двумерной задаче производная по одному из направлений заменяется конечно-разностными аналогами, а по-другому - остается неизменной. Таким образом краевая задача для уравнений в частных производных сводится к краевой задаче для обыкновенных дифференциальных уравнений.

Один из самых серьезных недостатков данного заключается в предлагаемом методе решения полученной краевой задачи – он практически не реализуем при большом числе узлов, а при небольшом может приводить к неудовлетворительным результатам [2].

Метод Канторовича

Допустим, существует вариационная задача, которая сводится к определению искомой функции двух переменных x_1, x_2 из условия стационарности некоторого функционала $\Phi[w(x_1, x_2)]$. В качестве коэффициентов разложения базисной функции $w(x_1, x_2)$ по

координатным базисным функциям берутся неизвестные функции от некоторой одной переменной.

Решая сформированную в результате одномерную краевую задачу с помощью соответствующих методов, получаем значения функций $f_k(x_1), k = 1 \dots N$, а следовательно, и приближенные значения для $w(x_1, x_2)$.

Одним из недостатков метода Л. В. Канторовича состоит в том, что решение получаемой системы обыкновенных дифференциальных уравнений ведется, как правило, методами, не учитывающими специфику строительных задач, либо, не позволяющие получить аналитическое решение. Другим недостатком является то, что далеко не всегда, особенно в практических задачах, удается подобрать базисные функции, которые бы удовлетворяли некоторым заданным граничным условиям.

Метод Власова

Пусть имеется краевая задача, описываемая внутри области дифференциальным уравнением с частными производными относительно функции двух переменных.

$$L^{(2m)}[w(x_1, x_2)] = f(x_1, x_2), (x_1, x_2) \in V \quad (1)$$

и граничными условиями на контуре вида

$$R_i[w(x_1, x_2)] = g_i(x_1, x_2), (x_1, x_2) \in S \quad (2)$$

Функцию можно искать по форме, предложенной в методе Канторовича, при этом предполагается, что применяемое выражение для функции удовлетворяет всем граничным условиям на контуре S , за исключением, быть может, прямых $x_1 = a$ и $x_2 = b$.

Недостатки метода Власова практически совпадают с недостатками, указанными для метода Канторовича. Но главное общее обстоятельство для двух данных методов – выбор базисных функций каждым из методов был рассчитан, как правило, на ручной счет.

Метод конечных полос

Метод конечных полос (или МКП) – мощный и эффективный метод расчета строительных конструкций. Главным образом, этот метод используется для расчетов на статику, динамику и устойчивость строительных конструкций с постоянными физико-геометрическими характеристиками по одному из направлений [3].

Рассмотрим один из видов МКП – «жесткостной». Пусть, для определенности, рассматривается двумерная конструкция, физико-геометрические характеристики которой не меняются вдоль координаты x_2 (продольное направление).

Основные узловые неизвестные $R(x_2)$, так же, как и приложенные внешние нагрузки, разлагаются в так называемые обобщенные ряды вида

$$R(x_2) = \sum_{k=1}^N R_k X_k(x_2) \quad (3)$$

где $X_k(x_2), k = 1..N$ – координатные функции в «продольном» направлении; $R_k, k = 1..N$ – соответствующие постоянные коэффициенты разложения аппроксимирующих величин.

В свою очередь, перемещения, равно как и внутренние силы, во внутренних точках конечной полосы, а также приложенные внешние нагрузки разлагаются в обобщенные ряды вида

$$S(x_1, x_2) = \sum_{k=1}^N Y_k(x_1) X_k(x_2) \quad (4)$$

Функциональные ряды $X_k(x_2), k = 1..N$, как правило, непрерывно дифференцируемы или разрывны, при этом система функций $X_k(x_2), k = 1..N$ линейно-независима относительно переменной x_2 и полна. Элементы этой системы (базисные функции) выбираются таким образом, чтобы априори удовлетворить граничным условиям в соответствующих поперечных сечениях конструкции.

Недостатки данного метода в том, что, во-первых, если рассматриваемая конструкция имеет не только простые случаи опирания, декомпозиция становится невозможной и эффективность МКП снижается. Во-вторых, данный метод очень плохо справляется с учетом

сосредоточенных нагрузок, также этот метод достаточно неэффективен для решения нелинейных задач [4].

Дискретно-континуальный метод

А. Б. Золотовым и П. А. Акимовым было разработано семейство корректных дискретно-континуальных методов. Далее рассмотрим дискретно-континуальный метод конечных элементов [5].

Область применения ДКМКЭ составляют конструкции, здания и сооружения, в которых наблюдается постоянство физико-геометрических характеристик по одному из координатных направлений (это направление называется основным или «продольным»)

Данный метод состоит из этапов:

- 1) Сведение исходной задачи к обыкновенным дифференциальным уравнениям с операторными коэффициентами.
- 2) Дискретизация операторных коэффициентов на основе соответствующих им функционалов.
- 3) Переход к разрешающей системе обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка, сопровождаемый, как правило, введением дополнительных неизвестных.
- 4) Аналитическое решение разрешающих систем обыкновенных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами.

Вычислительная специфика при решении рассматриваемой системы обыкновенных дифференциальных уравнений определяется матрицей A с постоянными коэффициентами.

Традиционный подход, предлагает искать решение $y'(x) = Ay + \bar{f}(x)$, в следующем виде:

$$\bar{y}(x) = \exp(Ax)\bar{y}(0) + \int_0^x \exp(A(x - \varepsilon))\bar{f}(\varepsilon) d\varepsilon. \tag{5}$$

Сложности в практическом применении формулы (5) связаны с тем, что в решении всегда имеются функции вида: $\exp(\lambda x)$, где $\lambda > 0$, причем величина λx достигает значительных величин (до 300). Поэтому было предложено находить фундаментальную функцию, позволяющую исключить функции, в которых $\lambda > 0$, а оставить только те, в которых $\lambda < 0$. Для решения задачи строится фундаментальная матрица-функция, свертка с которой является оператором, обратным к исходному дифференциальному. Фундаментальная матрица функция записывается в виде:

$$\varepsilon(x) = T_1 \tilde{\varepsilon}_0(x) \tilde{T}_1 + \varkappa(x, 0) \left[p_0 + \sum_{k=1}^m \frac{x^k}{k!} A_0^k \right] \tag{6}$$

где

$$\varkappa(x, \lambda) = \begin{cases} \varkappa(x), & Re(\lambda) \leq 0 \\ -\varkappa(-x), & Re(\lambda) > 0 \end{cases} \tag{7}$$

$$\tilde{\varepsilon}_0(x) = diag\{\varkappa(x, \lambda) \exp(\lambda, x), \dots, \varkappa(x, \lambda) \exp(\lambda, x)\}$$

m – наибольший размер жордановой клетки.

Данный вид учитывает специфику строительных задач и использует частичное жорданово разложение, что упрощает применение метода.

Численно-аналитические методы находят все большее применение в решении строительных задач с учетом повышения сложности проектируемых зданий и сооружений [6]. Дискретно-континуальные методы разработаны с учетом их реализации в различных программных комплексах в таких как ANSYS и STARK ES.

Список литературы

1. *Акимов П.А., Золотов А.Б.* Численно-аналитические методы расчета строительных конструкций: перспективы развития и сопоставления. Опыт использования технологий. – 2005. - с. 78-82.
2. *Акимов П.А., Золотов А.Б.* Численно-аналитические методы расчета строительных конструкций: перспективы развития и сопоставления. /Опыт использования технологий. – 2005. - с. 78-82.
3. *Акимов П.А.* Дискретно-континуальные методы расчета строительных конструкций. дис. доктора технических наук: 05.23.17 / Московский государственный строительный университет. – М., 2005. - 461 с.
4. *Золотов А.Б., Акимов П.А.* Некоторые аналитико-численные методы решения краевых задач строительной механики // АСВ. - 2010. – с. 200.
5. *Золотов А.Б., Акимов П.А., Сидоров Н.В., Мозгалева М.Л.* Дискретно-континуальный метод конечных элементов АСВ. - 2010. – с. 336.
6. *Мозгалева М.Л., Акимов П.А.* К вопросу о программной реализации дискретно-континуальных методов многоуровневого расчета строительных конструкций на основе кратномасштабного вейвлет-анализа. В сборнике: Вопросы прикладной математики и вычислительной механики. Сборник трудов № 19. Москва, 2016. С. 344-351.

05.13.18

^{1,2}А.Д. Зиганшин, ¹Л.Ш. Ахтямова, ²И.З. Гатиятов, ^{2,3}Л.С. Сабитов, ³И.К. Киямов

¹Донской государственный технический университет,
Ростов-на-Дону,

²Казанский государственный энергетический университет,

³Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Казань

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ СООРУЖЕНИЙ БАШЕННОГО ТИПА

В данной статье рассматривается новая эффективная конструкция сооружения башенного типа (опоры линий электропередачи (ЛЭП), опора ветроэлектрических установок (ВЭУ) и т.д.). Проводятся расчеты в программном комплексе, реализующие метод конечных элементов ANSYS с целью определения напряженно-деформированного состояния (НДС) и верификации результатов исследования с экспериментальными данными.

Ключевые слова: сооружение башенного типа, опора линии электропередачи, метод конечных элементов, компьютерное моделирование, теория прочности по Мизесу.

В данной статье авторами предлагается новая конструкция сооружения башенного типа (Рисунок 1) и метод расчета.

На рисунке 1 показан фрагмент опоры только из двух секций многогранного сечения; разрез 1-1; показан общий вид стального листа из которых изготовлена секция; общий вид процесса трапецевидной подвижки верхней секции на нижнюю.

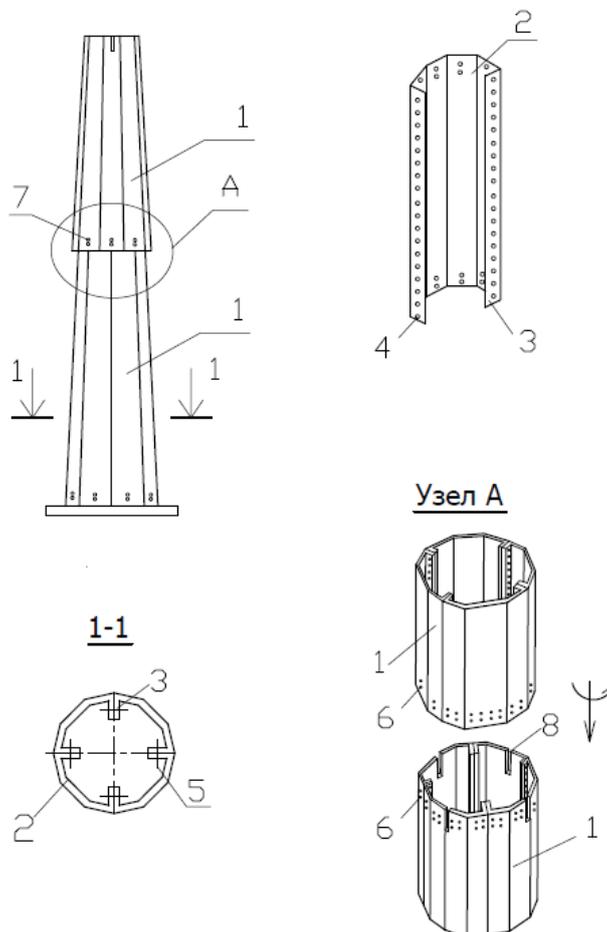


Рис. 1 – Конструкция сооружения башенного типа

Опора из секций многогранного сечения состоит из секций 1, при этом секция состоит из специальных стальных листов с гранями 2 в отгибах кромок 3, в которых выполнены отверстия 4, для болтов 5. По периметру соединения секций выполнены совместно отверстия 6 для соединения болтов 7.

Сборка конструкции осуществляется следующим образом. В начале из стальных листов собирают секции 1. Секция собирается из листов путем установки болтов 5 в отверстие 4 в отгибах кромок листов 3. В верхней части собранной секции предусматривают вырезы 8 для пропуска отгибов 3 кромок листов верхней секции. Верхняя секция 1 поворачивается до совмещения отгибов с вырезами и телескопически надвигается на нижнюю секцию. После надвигки секции устанавливают болты 7, которые вставлены в совмещенные отверстия 7 в нижней и верхней секции.

Далее проводилось численное исследование предлагаемой конструкции в ПК «ANSYS» и натурный эксперимент на полигоне КГЭУ.

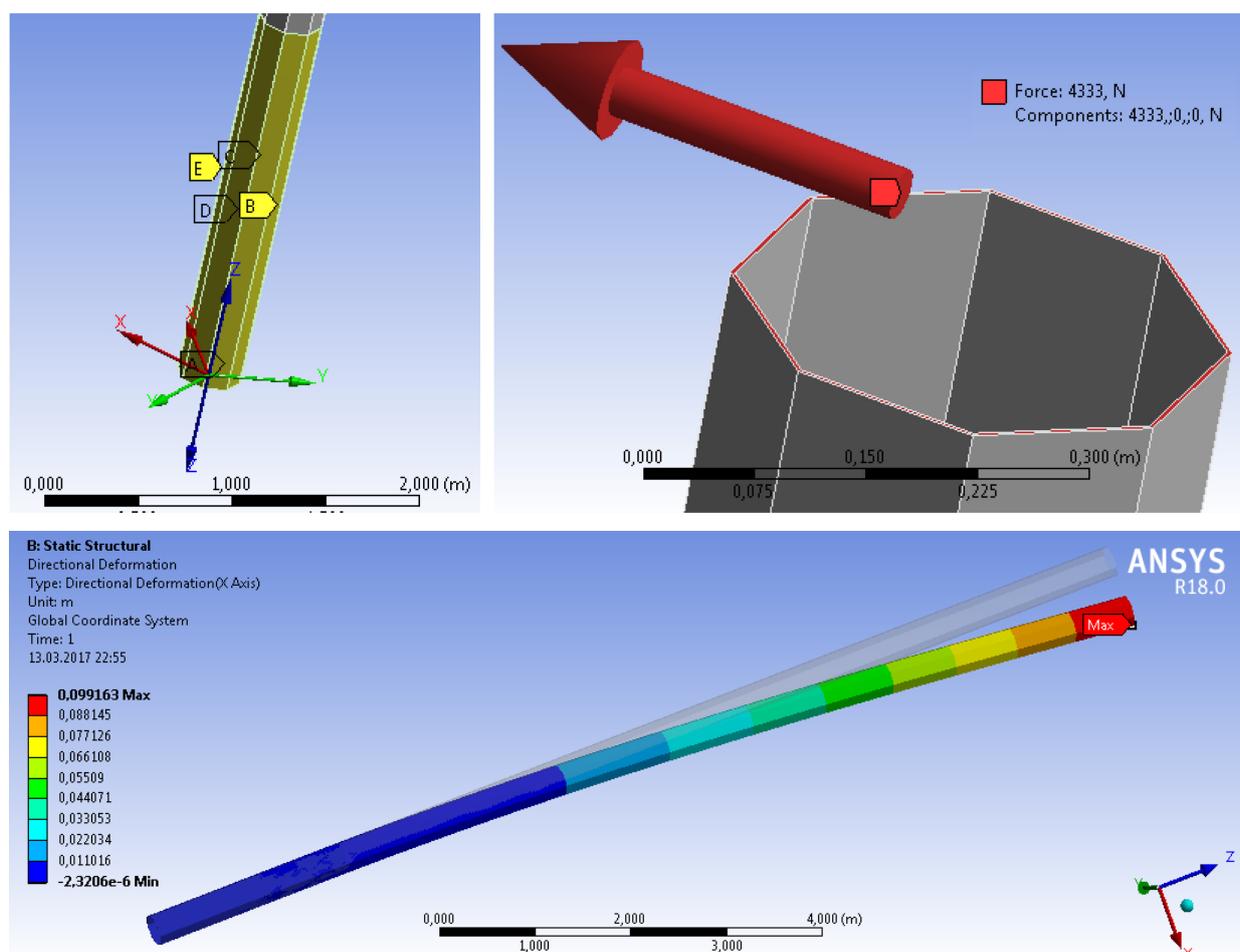


Рис. 2 – Численное исследование конструкции сооружения башенного типа

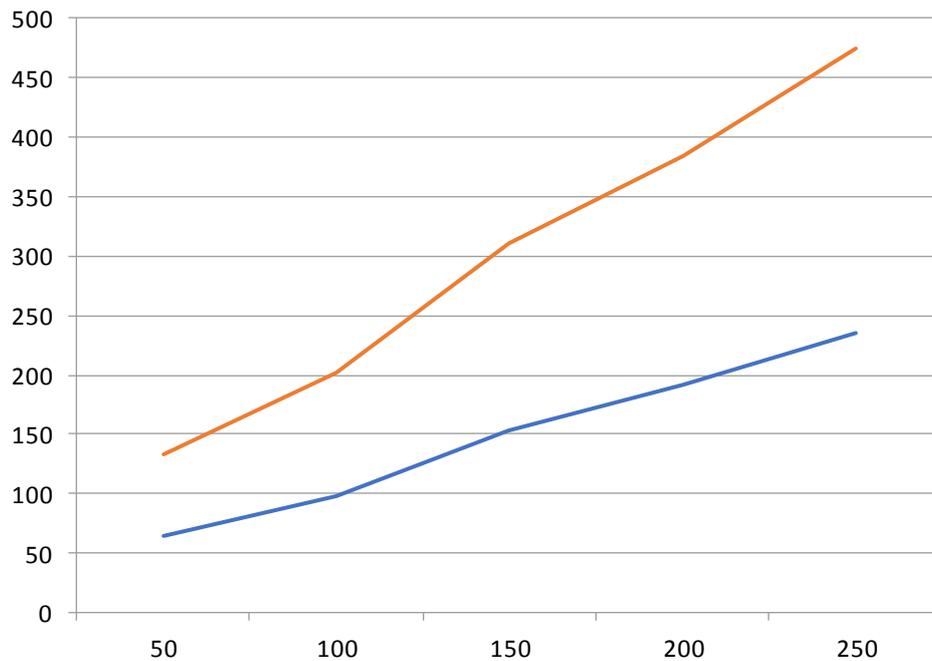


Рис. 3 – Сравнение напряжения по Мизесу численно и теоретически в точке 1

На рисунке 3 приведен сравнительный анализ теоретических и экспериментальных данных.

Таблица №1 – Сравнение результатов расчета конструкции

№ точки испытания	Напряжение по Мизесу R_m (Мпа), при результирующей нагрузке, P_i Мпа									
	Результаты моделирования на ANSYS					Результаты испытания на установке				
	50	100	150	200	250	50	100	150	200	250
1	68	103	157	194,2	240,5	65	98	153	192,6	234,6
2	56,2	75,9	100,5	132	174,2	54,6	72,9	97,2	129,6	172,9
3	38,2	51,3	66,2	87,3	117,2	36,1	48,1	64,2	85,6	114,2
4	27,7	36,9	44,1	62,7	83,5	25,8	34,4	45,9	61,2	81,7
5	14,4	17,8	23,7	31,8	40,9	12,3	16,5	22	29,4	39,3
6	5,8	6,4	8,3	11,5	15,6	4,3	5,7	7,7	10,3	13,8
7	4,4	5,3	6,7	8,9	11,5	3,15	4,2	5,6	7,5	10,3
8	1,8	2,6	4,2	5,6	6,4	1,3	1,8	2,4	3,2	4,3
9	0,75	0,89	1,1	1,74	2,1	0,43	0,58	0,78	1,05	1,4

Для наглядного eliability методов представления приведены graduate проведения графики напряжений натяжения алюминиевых по Мизесу жесткость бирбраер в пиковой следующих обстоятельством точке №1 изополей реальному параметрические напряжения анкерного основные .

Выводы:

1. Предложена новая эффективная конструкция сооружения башенного типа, новизна которой подтверждается решением о выдаче патента на изобретение РФ (заявка № 2020128337 от 27.08.2020).
2. Анализ расчетов показал, что сходимость теоретических и экспериментальных исследований конструкции сооружения башенного типа находится в пределах 7-12%.

Список литературы

1. *Сабитов Л.С., Кузнецов И.Л., Богданович А.У.* Напряженно-деформированное состояние слабokonичного стержня переменного сечения Вестник Иркутского государственного технического университета. 2014. № 7 (90). С. 71-77.
2. *Сабитов Л.С., Кузнецов И.Л., Хамидуллин И.Н.* СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТАЛЬНОЙ ОПОРЫ МНОГОГРАННОГО СЕЧЕНИЯ Патент на изобретение RU 2556603 С1, 10.07.2015. Заявка № 2014121172/03 от 26.05.2014.
3. Патент на изобретение RU 2707898 С1, 02.12.2019. Заявка № 2019113023 от 26.04.2019. Трехгранная решетчатая опора Бадертдинов И.Р., Сабитов Л.С., Кузнецов И.Л., Ахтямова Л.Ш., Мезиков А.К.
4. *Кузнецов И.Л., Сабитов Л.С., Исаев А.В.* КОНСТРУКЦИИ С СОЕДИНЕНИЯМИ СТАЛЬНЫХ ТРУБ РАЗНОГО ДИАМЕТРА монография М-во образования и науки Российской Федерации, Казанский гос. архитектурно-строительный ун-т. Казань, 2012.
5. *Сабитов Л.С., Кузнецов И.Л., Гатиятов И.З.* ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УЗЛОВ СОЕДИНЕНИЯ ТРУБ РАЗНОГО ДИАМЕТРА В ОПОРАХ КОНТАКТНЫХ СЕТЕЙ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА Вестник гражданских инженеров. 2014. № 6 (47). С. 90-95.
6. *Стрелков Ю.М., Радайкин О.В., Сабитов Л.С., Кузнецов И.Л.* СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТАТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ СТАЛЬНЫХ ОПОР ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ "ОПОРА - ФУНДАМЕНТ - ГРУНТ ОСНОВАНИЯ" Строительная механика и расчет сооружений. 2019. № 1 (282). С. 71-79.
7. *Гатиятов И.З., Сабитов Л.С., Кузнецов И.Л.* Анализ результатов, полученных при механических испытаниях фрагментов опор электрического транспорта. В сборнике: Эффективные строительные конструкции: теория и практика сборник статей XIV Международной научно-технической конференции. Под редакцией Н.Н. Ласькова. 2014. С. 42-45.
8. Положительное решение о выдаче патента на изобретение от 27.01.2021 по заявке № 2020128337 от 27.08.2020.

05.13.18

^{1,2}А.Д. Зиганшин, ¹Л.Ш. Ахтямова, ^{2,3}Л.С. Сабитов, ²О.В. Радайкин, ³И.К. Киямов¹Донской государственный технический университет,
Ростов-на-Дону,²Казанский государственный энергетический университет,³Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Казань**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ СООРУЖЕНИЙ
БАШЕННОГО ТИПА В ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСАХ ANSYS И ЛИРА-САПР**

В данной статье рассматриваются новые эффективные конструкции сооружений башенного типа, к ним относятся башни сотовой связи, опоры линий электропередачи (ЛЭП), опоры ветроэлектрических установок (ВЭУ) и т.д. В зависимости от высоты и действующих нагрузок они изготавливаются из многогранных стержней, пространственных решеток. Проводятся расчеты в программных комплексах, реализующие метод конечных элементов (ANSYS и Лира-САПР) с целью определения напряженно-деформированного состояния (НДС) и сравнения этих двух типов конструкций для рационального их использования в зависимости от действующих нагрузок и условий эксплуатации [1].

Ключевые слова: сооружение башенного типа, опора линии электропередачи, метод конечных элементов, компьютерное моделирование, теория прочности по Мизесу.

Рассмотрим два типа конструкций опор из многогранного стержня и пространственной треугольной решетки изготовленные по полученным авторами патентам [3,4].

Также каждый тип опор рассматривались для трёх разных высот – под ЛЭП напряжением 10 кВ – высотой 9-11 м, 35 кВ – высотой 20,6 м и 110 кВ – высотой 22,5 м соответственно. Представленные опоры предназначены для подвески неизолированных сталеалюминевых проводов по ГОСТ 839-80, а также самонесущих изолированных проводов типа СИП-3 по ТУ 16.К71-272-98. Из представленных в нормативах проводов наибольшую нагрузку на опору имеет провод марки АС 185/29, который и принят для расчёта.

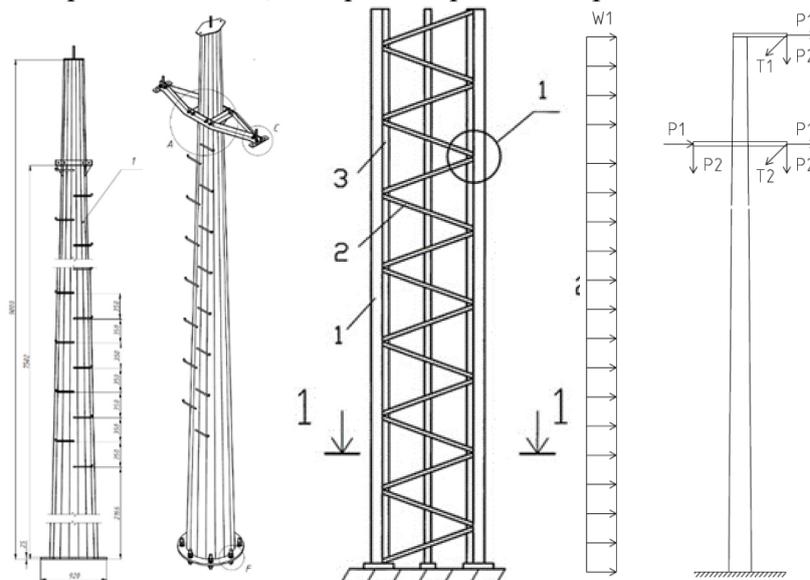


Рис. 1 – Общий вид и расчётная схема сооружения башенного типа

В расчете учитываются следующие нагрузки:

а) в зависимости от направления действия:

– горизонтальные (ветер на опору, ветер на провода и тросы, от тяжения проводов и тросов)

– вертикальные (собственный вес опоры, вес гирлянд изоляторов (с арматурой), вес проводов и тросов, гололёдная нагрузка, монтажная нагрузка (вес монтажера с инструментами));

б) в зависимости от продолжительности действия:

– постоянные (собственный вес опоры, вес проводов);

– временные (ветер, гололёдная нагрузка на провода и на траверсу, монтажная нагрузка).

Собственный вес стальной опоры задаётся в ПК «ANSYS» и «Ли́ра-САПР» автоматически при условии, что введена плотность материала. При этом коэффициент надёжности составляет $\gamma_f=1,05$.

Общий вид конструкций исследуемых опор ЛЭП и расчётная схема представлена на рис. 1.

Согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ-7), стальные опоры рассчитываются на следующие сочетания нагрузок:

1 схема (нормальный режим): Провода и трос не оборваны и свободны от гололёда. Ветер направлен вдоль осей траверс.

2 схема (нормальный режим): Провода и трос не оборваны и покрыты гололёдом. Ветер направлен вдоль осей траверс.

3 схема (аварийный режим): Оборван один провод (по правой/левой стороне), дающий крутящий момент на опору.

4 схема (аварийный режим): Оборвано два провода, дающие максимальный крутящий момент на опору.

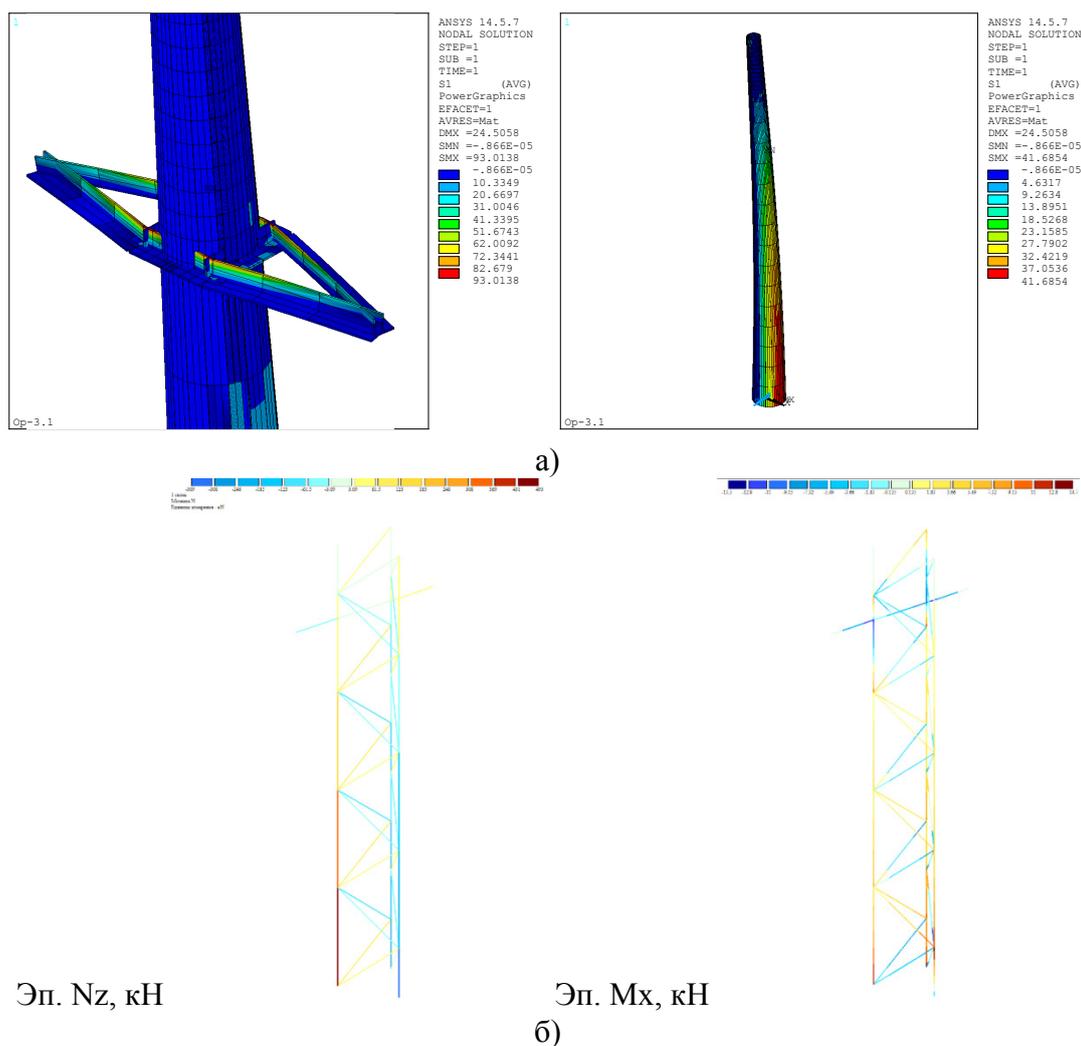


Рис. 2 – Результаты компьютерного моделирования опор из многогранного стержня (а – патент РФ 2556603) и пространственной треугольной решетки (б – патент РФ 2707898)

В качестве закона деформирования для стали была принята билинейная диаграмма кинематического упрочнения. Закон предполагает, что на диаграмме « σ - ϵ » сумма напряжений разного знака в процессе нагрузки-разгрузки всегда равна удвоенной величине предела текучести σ_y , то есть учитывается эффект Баушингера. Модель рекомендуется для упругопластических задач с малыми деформациями материала, подчиняющегося условию текучести Мизеса:

$$\sigma_{eq} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \leq \bar{\sigma}_{yn} \quad (1)$$

где σ_{eq} – эквивалентные напряжения по Мизесу, $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ – главные напряжения, $\bar{\sigma}_{yn}$ – нормативный средний предел пластичности с учетом коэффициента вариации 5%.

Таким образом, физический закон деформирования тонкостенной оболочки описывался четырьмя параметрами: модулем упругости $E=206 \cdot 103$ МПа, касательным модулем $E^t=75 \cdot 103$ МПа, пределом текучести $\bar{\sigma}_{yn} = 355$ МПа и коэффициентом Пуассона $\nu=0,3$.

Выводы:

Анализ расчетов показал, что прочность и устойчивость опор двух типов конструкций сооружений башенного типа обеспечена. Соответствующие коэффициенты использования получились близкими – 0,912 и 0,837. Опора многогранная имеет значительные недоиспользованные резервы прочности в сравнении с опорой решетчатой.

Список литературы

1. Сабитов Л.С., Кузнецов И.Л., Пеньковцев С.А. ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО ТИПА ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ ОПОР Приволжский научный журнал. 2014. № 4 (32). С. 90-94.
2. Сабитов Л.С., Кузнецов И.Л., Богданович А.У. Напряженно-деформированное состояние слабokonического стержня переменного сечения Вестник Иркутского государственного технического университета. 2014. № 7 (90). С. 71-77.
3. Сабитов Л.С., Кузнецов И.Л., Хамидуллин И.Н. СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТАЛЬНОЙ ОПОРЫ МНОГОГРАННОГО СЕЧЕНИЯ Патент на изобретение RU 2556603 С1, 10.07.2015. Заявка № 2014121172/03 от 26.05.2014.
4. Патент на изобретение RU 2707898 С1, 02.12.2019. Заявка № 2019113023 от 26.04.2019. Трехгранная решетчатая опора Бадертдинов И.Р., Сабитов Л.С., Кузнецов И.Л., Ахтямова Л.Ш., Мезиков А.К.
5. Кузнецов И.Л., Сабитов Л.С., Исаев А.В. КОНСТРУКЦИИ С СОЕДИНЕНИЯМИ СТАЛЬНЫХ ТРУБ РАЗНОГО ДИАМЕТРА монография М-во образования и науки Российской Федерации, Казанский гос. архитектурно-строительный ун-т. Казань, 2012.
6. Sabitov L.S., Kashapov N.F., Gilmanshin I.R., Radaikin O.V. The way to improvement of the method of calculation of rigidity of bending reinforced concrete elements from conventional ferro-concrete В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2018. С. 012058.
7. Сабитов Л.С., Кузнецов И.Л., Гатиятов И.З. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УЗЛОВ СОЕДИНЕНИЯ ТРУБ РАЗНОГО ДИАМЕТРА В ОПОРАХ КОНТАКТНЫХ СЕТЕЙ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА Вестник гражданских инженеров. 2014. № 6 (47). С. 90-95.
8. Стрелков Ю.М., Радайкин О.В., Сабитов Л.С., Кузнецов И.Л. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТАТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ СТАЛЬНЫХ ОПОР ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ "ОПОРА - ФУНДАМЕНТ - ГРУНТ ОСНОВАНИЯ" Строительная механика и расчет сооружений. 2019. № 1 (282). С. 71-79.
9. Гатиятов И.З., Сабитов Л.С., Кузнецов И.Л. Анализ результатов, полученных при механических испытаниях фрагментов опор электрического транспорта. В сборнике: Эффективные строительные конструкции: теория и практика сборник статей XIV Международной научно-технической конференции. Под редакцией Н.Н. Ласькова. 2014. С. 42-45.

05.13.18

Т.О. Корепанова канд. физ.-мат. наук, Е.А. Николаева канд. физ.-мат. наук

Пермский военный институт войск национальной гвардии РФ,
кафедра общепрофессиональных дисциплин,
Пермь, ton@icmm.ru

ДАТЧИКИ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ И МАССОВОЙ СКОРОСТИ НА РАЗРЕЗНОМ СТЕРЖНЕ ГОПКИНСОНА-КОЛЬСКОГО

В экспериментальных исследованиях по высокоскоростному деформированию материалов на разрезном стержне Гопкинсона–Кольского вместо тензодатчиков предлагается использовать оптический датчик перемещения и электромагнитный датчик массовой скорости.

Ключевые слова: разрезной стержень Гопкинсона–Кольского, высокоскоростное нагружение, оптический датчик, электромагнитный датчик.

В стандартный комплект экспериментальной установки разрезного стержня Гопкинсона–Кольского [1] входят два стержня (входной и выходной), газовая пушка, ударник и регистрирующая аппаратура. Образец в форме диска небольшой толщины зажимается между входным и выходным стержнями. Ударник сталкивается с входным стержнем и передает в него импульс сжимающего напряжения. Часть импульса проходит в образец, другая часть отражается от него. Диаграмма напряжение–деформация строится по данным, полученным с датчиков.

В качестве таких датчиков обычно применяются тензорезисторы, наклеиваемые на входной и выходной стержни. В литературе можно встретить различные датчики деформации [2–4]. Например в [2] данные для падающей и отраженной волн получены с помощью датчиков деформации, данные для прошедшей волны – с помощью полупроводниковых тензодатчиков.

Однако существующие тензопреобразователи обладают существенными недостатками. Отклик датчика зависит как от электрических параметров тензорезисторов, так и от механических – материала подложки, клея и т.п. В то время как динамические электрические параметры тензорезистора можно скорректировать, поведение клеевой подложки непредсказуемо, и это может привести к неверной интерпретации экспериментальных результатов.

Существуют различные модификации разрезного стержня Гопкинсона–Кольского, в которых может быть затруднено применение клеевых тензодатчиков из-за определенных температурных условий проведения эксперимента [2–4].

Чтобы достичь более высокие номинальные скорости деформации, во многих экспериментальных работах была предложена техника прямого удара «direct-impact» [5, 6], это оборудование широко применяется для испытаний материалов на сжатие, растяжение и кручение. Здесь используется только один стержень Гопкинсона, необходимый для получения информации о поведении материала, вследствие этого нет возможности получить отраженный импульс деформации, и напрямую определить деформацию образца по известным выражениям метода Кольского [1].

В настоящей работе предлагается избежать вышеперечисленных проблем путем использования достаточно простых в изготовлении и надежных в применении датчиков перемещений и массовой скорости.

При высокоскоростном деформировании на разрезном стержне Гопкинсона–Кольского (500–5000 с⁻¹) наряду с высокой скоростью распространения импульсов упругих напряжений в стержнях, массовые скорости частиц стержней близки к скорости ударника

(5–20 м/с), поэтому для измерения импульса в образце могут применяться датчики массовой скорости электромагнитного типа. Оптический датчик перемещений удобно использовать для непосредственного измерения деформационного поведения образца в технике прямого удара [5, 6].

В данной работе предлагается на входном стержне располагать оптический датчик перемещения поперечного сечения стержня, и на выходном стержне – электромагнитный датчик массовой скорости сечения стержня.

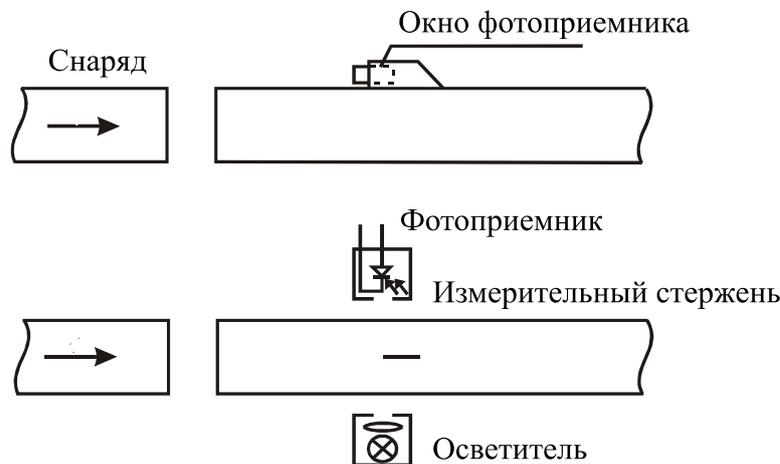


Рис. 1 – Схема экспериментальной установки

На рисунке 1 показана функциональная схема датчика оптического типа. С помощью осветителя в поле чувствительного элемента фотоприёмника создаётся однородная освещённость. Флажок в начальном состоянии перекрывает поле фотоприёмника на 2/3. При нагружении стержня упругая волна вызывает перемещение флажка в соответствии с деформацией стержня. Это же перемещение вызывает увеличение или уменьшение освещённой площади поля фотоприёмника. Таким образом, отклик измерительной системы пропорционален перемещению флажка, и оптический датчик позволяет измерять либо перемещение торца стержня, либо длину образца как функцию времени, как при применении обычного разрезного стержня Гопкинсона–Кольского, так и техники прямого удара. В зависимости от поставленной цели и вида экспериментальной техники, фотоприёмник и осветитель можно располагать либо в срединном сечении по длине стержня, либо в области его торца.

Непосредственно по отклику тензодатчика на входном стержне трудно определить момент торможения стержня реактивной массой и подтвердить однократное нагружение образца [7]. Оптический же датчик хорошо показывает этот момент. Характерный отклик оптической измерительной системы имеет три участка: первый участок – входной импульс с амплитудой, по которой калибруется мерный стержень, второй участок – отражённый импульс, амплитуда которого – деформация, которую испытал образец. На третьем участке – провал – торможение реактивной массы.

Теперь соотношение метода Гопкинсона–Кольского для скорости деформирования [1] можно переписать в терминах перемещений, что значительно упростит обработку экспериментальных данных и избавит от процедуры интегрирования, которая обычно необходима для расчёта деформации образца во времени. Таким образом, при использовании оптической схемы для измерения перемещения стержня во время динамического испытания можно напрямую определить деформацию образца в зависимости от времени.

Датчик электромагнитного типа, предназначенный для измерения массовой скорости сечения стержня, может представлять собой несколько проволочных витков, находящихся в перпендикулярном поверхности стержня постоянном магнитном поле, и некоторой своей частью прикрепленных к выбранному сечению стержня (Рис. 2). Полезным сигналом датчика данного типа является импульс напряжения, возникающий при изменении положения витка в магнитном поле.

На рисунке 2 приведена конструкция электромагнитного датчика, предлагаемого в данной работе. Датчик состоит из постоянного магнита 1, обмотки 2, состоящей из 30 витков медного провода и ферромагнитного сердечника 3. Магнит, сердечник и подвижная часть медной обмотки вклеены в протектор 4 из губчатой резины, с двух краев закрепленный с помощью нитяной обмотки 5 и латексного клея 6 на стержне 7. Для предохранения измерительной обмотки при критических нагрузках, она намотана в паре с шелковой нитью и скреплена в единую обмотку с помощью латексного клея.

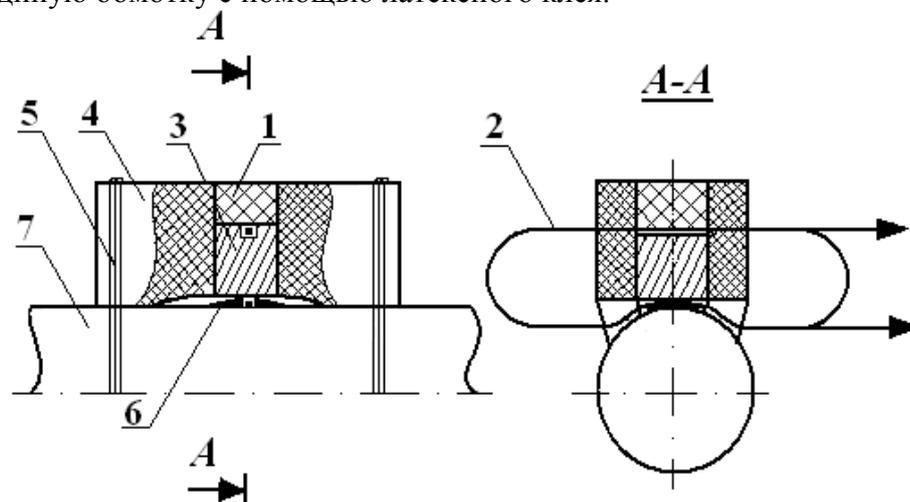


Рис. 2 – Конструкция электромагнитного датчика

Представленные в данной работе датчики перемещений и массовой скорости показали высокую точность и повторяемость результатов во многих работах, в том числе и при определении термодинамических характеристик при высокоскоростном деформировании [8–9].

Список литературы

1. Кольский Г. Исследование механических свойств материалов при больших скоростях нагружения. // *Механика*, Вып.4. – М.: Издательство иностранной литературы, 1950. – С. 108-128.
2. Квин-Юонг Ма. Экспериментальный анализ динамических механических свойств искусственно замороженной почвы с помощью методики разрезного стержня Гопкинсона // *ПМТФ*. – 2010. – Т. 51, №3(301). – С. 178-183.
3. Nemat-Nasser S., Guo W.-G., Kihl D.P. Thermomechanical response of Al-6XN stainless steel over a wide range of strain rates and temperatures // *J. Mech. Phys. Solids*. – 2001. – Vol. 49. – P. 1823-1846.
4. Noble J.P., Harding J. Temperature measurement in the tensile Hopkinson bar test // *J. Meas. Sci. Technol.* – 1994. – Vol. 5. – P. 1163-1171.
5. Nemat-Nasser S., Isaacs J.B., Starrett J.E. Hopkinson techniques for dynamic recovery experiments // *Proc. R. Soc. Lond.* – 1991. – Vol. A435. – P. 371-391.
6. Dharan C.K.H., Hauser F.E. Determination of stress-strain characteristics at very high strain rates // *Exp. Mech.* – 1970. – Vol. 10. – P. 370-376.
7. Корепанова Т.О., Николаева Е.А. Методика динамического нагружения на разрезном стержне Гопкинсона–Кольского // *Научно-технический вестник Поволжья*. – 2020. – № 11. – С. 99-101.
8. Баранников В.А., Николаева Е.А. Роль зеренных границ в формировании энергетического баланса динамически нагруженной меди // *Физическая мезомеханика*. – 2008. – Т. 11, № 5. – С. 71-76.
9. Корепанова Т.О., Николаева Е.А., Оборина И.А. Определение термодинамических характеристик при высокоскоростных испытаниях на разрезном стержне Гопкинсона–Кольского // *Научно-технический вестник Поволжья*. – 2019. – № 12. – С. 200-202.

05.13.18

¹А.В. Лазарева, ²А.В. Дорошенко¹Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени
теплотехнический научно-исследовательский институт,²Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет,
кафедра автоматизации и электроснабжения,
Москва, anyalazareva96@mail.ru, pochta.avd@gmail.com

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДА

Системы теплоснабжения занимают важное место в жизнедеятельности любого населенного пункта. Эффективное управление их функционированием имеет социально-экономическое значения для хозяйственной деятельности. В статье представлены результаты моделирования работы системы теплоснабжения города Южно-Сахалинска и анализ двух теплогидравлических режимов – для существующего и перспективного положения.

Ключевые слова: *математическое моделирование, имитационное моделирование, теплогидравлический режим, система теплоснабжения, оптимизация систем теплоснабжения*

Введение. Системы теплоснабжения занимают важное место в жизнедеятельности любого населенного пункта. Эффективное управление их функционированием имеет социально-экономическое значения для хозяйственной деятельности. В связи с ежегодным ростом плотности застройки населенных пунктов возникает потребность в анализе теплогидравлических режимов работы тепловых сетей для определения возможности обеспечения качественного теплоснабжения.

Поскольку системы теплоснабжения представляют собой гидравлические системы со сложными структурами, то наиболее рациональным способом их изучения будет создание имитационной модели, с помощью которой станет возможным проведение гидравлических расчетов в автоматизированном режиме и прогнозирование возможных аварийных ситуаций.

Обзор литературы. Вопросам расчета гидравлических систем, в частности систем теплоснабжения, посвящены сотни работ, опубликованных в научно-технической литературе. В качестве объекта исследования в этих работах выступает гидравлическая цепь – математическая модель гидравлической системы в виде графа, где вершины графа являются узловыми точками деления потоков, а дуги – участками тепловой сети. Для решения задач по расчету гидравлических цепей исследователями были предложены следующие методы: аналитический, графический.

Графические методы теплогидравлических режимов могут базироваться на двух способах построения графиков, отличающихся используемой системой координат. В первом случае графики строятся в системе координат «напоры-расход». Для этого случая расчеты выполняются путем сопрягания кривых. Этот способ в своих работах освещают В.В. Глухов [1], Е.Я. Соколов [2], Б.Л. Шифринсон [3]. Для второго способа характерно использование системы координат «напоры-длины». Именно этот способ является наиболее применяемым, полученные графики называют пьезометрическими графиками, которые служат иллюстрацией для описания гидравлики тепловых сетей.

Однако, несмотря на показательность графических методов, их применение не всегда возможно. Чем сложнее рассматриваемая схема, тем менее эффективными являются графический и графоаналитический методы. Для схем теплоснабжения городских поселений такие способы могут применяться только для дополнения расчетов иллюстрациями.

Аналитические методы расчета теплогидравлических режимов всесторонне исследовались многими авторами в связи с развитием теплофикации. Ряд исследователей, таких как С.А. Сазонова [4] и Н.В. Долгов [5] изучали гидравлические системы через создание математических моделей. Иные авторы, такие как Ю.Л. Липовка [6,7], В.В. Игнатёнок [8], Т.А. Рафальская [9] и др. [10-15] в своих работах рассматривают классические способы теплогидравлических режимов. Суть изучения аналитических методов заключается в том, чтобы вывести определенный алгоритм для расчета или получить некую формулу, отображающую связь между основными параметрами. Путем преобразования аналитических выражений, учеными был получен ряд формул, позволяющий проводить расчеты по единому алгоритму. Но при увеличении числа независимых контуров в системе полученный результат становился менее объективным, поскольку погрешность результата превышала допусκαемую.

Поскольку системы теплоснабжения представляют собой кольцевые трубопроводы, то ранее рассмотренные методы не давали точный результат, поэтому для их расчета наиболее эффективными методами стали итерационные или «увязочные» методы, предложенные М.М. Андрияшевым [16] и В.Г. Лобачевым [17] и доработанные Х. Кроссом [18]. Цель таких методов – нахождение расходов на каждом участке сети, а также нахождение давлений в узлах путем «увязки» сети с исходными данными: действующими напорами, заданными тепловыми нагрузками на систему теплоснабжения, сопротивлениями трубопровода. При этом для всех узлов и участков должны выполняться два сетевых закона Кирхгофа.

Именно итерационные методы стали широко применяться в отечественной и иностранной практике для анализа переменных теплогидравлических режимов. Впоследствии при создании автоматизированных комплексов для расчетов потокораспределения «увязочные» методы стали базой при написании алгоритма [19-21].

Методы и методология. В настоящий момент существует множество программных комплексов, позволяющих производить расчеты теплогидравлических режимов. Все они работают по единому принципу: пользователь создает имитационную модель реальной системы теплоснабжения, на базе которой и проводятся дальнейшие исследования потокораспределения [22-24]. Такие комплексы дают возможность изучать системы теплоснабжения и оптимизировать их в соответствии с изменяющимися внешними условиями, например, увеличением тепловой нагрузки на сеть [25-26]. С целью выбора программного комплекса для поставленной задачи был проведен сравнительный анализ существующих программ: ПК ZULU, ПК «CityCom, Поток», ПК «АНГАРА», «ТеплоЭксперт», Bentley и Termis.

Обзор программных комплексов показал, что они имеют схожие возможности и отвечают одинаковым задачам в данной сфере. Однако, у каждой из рассмотренных программ есть свои недостатки. Наиболее подходящими программами для решаемой задачи являются ПК «АНГАРА» и ПК ZULU. Но поскольку ПК «АНГАРА» не имеет совместимости с ГИС, что сильно осложняет моделирование реальных систем с привязкой на местности, то для моделирования в данной работе был выбран программный комплекс ZULU.

Результаты исследования. Первый этап работы – построение имитационной модели существующего теплогидравлического режима. В модели отражены следующие элементы: источник теплоснабжения, участки тепловой сети, запорно-регулирующая арматура, задвижки, насосные станции, центральные тепловые пункты, потребители.

Графически участки тепловой сети являются дугами связанного графа математической модели, а прочие элементы – узлами. Каждый объект математической модели относится к определенному типу и имеет режимы работы, соответствующие его функциональному назначению.

Для каждого элемента, внесенного в модель, в его паспорт были внесены существующие характеристики реальной системы теплоснабжения.

В связи с тем, что имитационная модель системы теплоснабжения довольно масштабна, то в данной работе рассмотрим наиболее загруженный участок – от Районной котельной до

потребителя по адресу Пограничная, 78. Для анализа теплогидравлического режима необходимо проложить путь теплоносителя от источника до конечного потребителя – наиболее отдаленного от источника, и провести для него расчет. Рассматриваемый участок состоит из таких элементов, как источник теплоснабжения (Районная котельная), насосная станция, участки теплосети, запорно-регулирующая арматура. На рисунке 1 представлен проложенный путь.

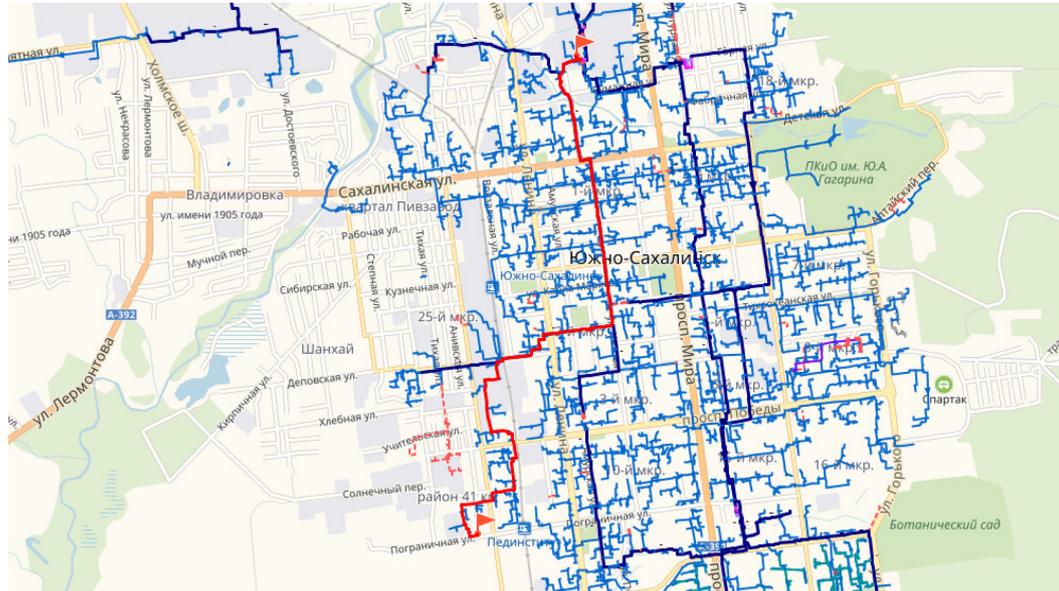


Рис.1 – Путь теплоносителя от Районной котельной до конечного потребителя (существующий)

С помощью программы ZULU был симулирован теплогидравлический режим работы на рассматриваемом участке, в результате чего был получен пьезометрический график – график, показывающий абсолютные значения давлений теплоносителя в подающем и обратном теплопроводах тепловой сети, в каждой его точке, в том числе в точках присоединения абонентских установок потребителя. Получившийся график представлен на рисунке 2.

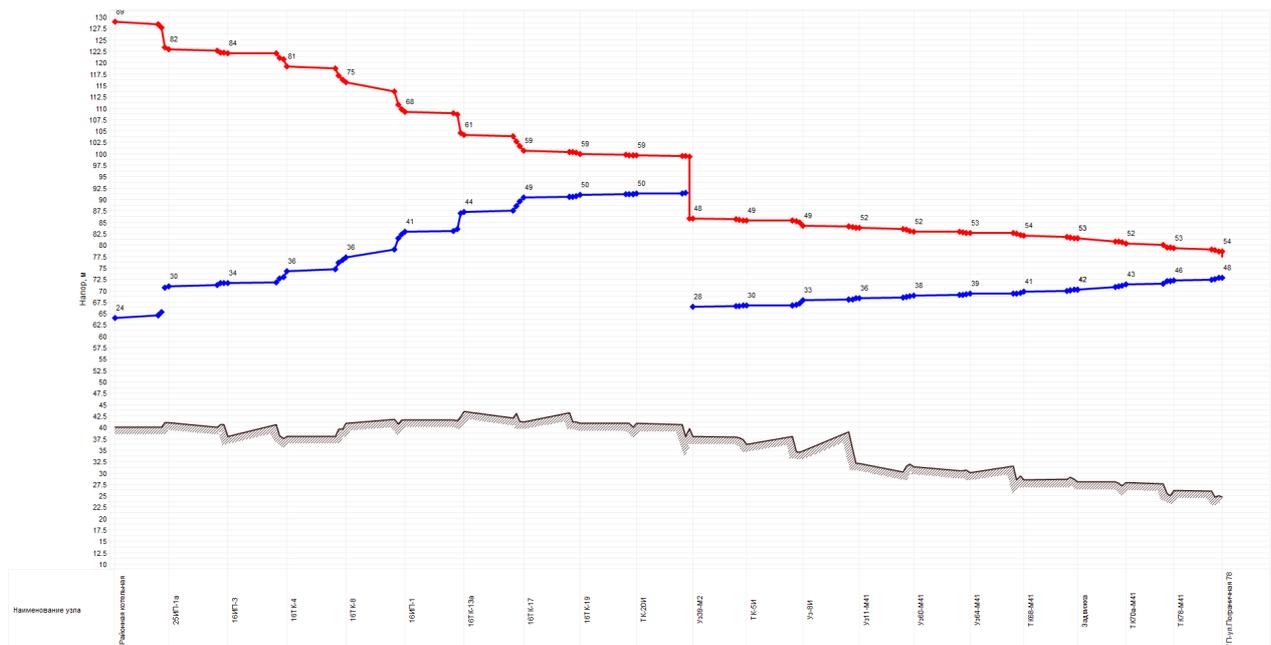


Рис.2 – Пьезометрический график от Районной котельной до конечного потребителя (существующий)

На пьезометрическом графике есть два перепада напора. Первый на участке от камеры ТК-20И до камеры Уз39-2М показывает, что на данном участке установлен откачивающий насос (насосная №5). Второй на участке от источника до камеры 25ИП-1а связан с большими суммарными потерями в трубопроводе по причине высокого процента истощения эксплуатационного ресурса. Но несмотря на это, величина располагаемого напора на конечном потребителе достаточна для осуществления качественного теплоснабжения при существующих нагрузках. Но так как районная котельная обеспечивает тепловой энергией всю центральную часть города, где ведется активное строительство новых жилых и общественных зданий, следовательно увеличение тепловой энергии приведет к недотопам на конечном потребителе. Следовательно, для перспективного развития системы теплоснабжения требуется ее оптимизация.

Далее были предложены следующие варианты улучшения работы системы:

1. Перевод ряда существующих и перспективных потребителей на новый источник теплоснабжения.
2. Модернизация насосной станции с включением дополнительных насосов для поднятия давления.
3. Реконструкция тепловой сети с расширением существующих трубопроводов.

Первые варианты требуют больших материальных затрат, связанных со строительством нового источника или реконструкции насосной станции с покупкой и установкой дополнительных насосов, поэтому был выбран третий вариант оптимизации – расширение трубопровода на выходе из котельной.

Для оптимизированной системы также был построен пьезометрический график. Результаты моделирования показывают, что расширение трубопровода привело к уменьшению падений напоров, что позволило увеличить пропускную способность системы теплоснабжения.

Заключение и выводы. В работе представлена разработанная имитационная модель теплоснабжения города.

Согласно проведенным теплогидравлическим расчетам можно сделать вывод, что Районная котельная может обеспечить достаточный располагаемый напор на конечном потребителе.

Однако, при существующем теплогидравлическом режиме в обратном трубопроводе возникают падения напоров. Замена тепловой сети на трубопровод большего диаметра помогла устранить эту проблему, а также позволила увеличить расход теплоносителя, следовательно, стало возможно подключение новых абонентов в зоне действия котельной.

С использованием полученной модели можно рассмотреть и другие варианты работы системы теплоснабжения, например, аварийные ситуации, такие как протечка или гидроудар.

Список литературы

1. Глухов В.В. Обработка кривой релаксации давление методом регуляризации/Вестник Казанского технологического университета, 2010. – с. 75-81
2. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети – 7-е изд. – М.: Изд-во МЭИ, 2001. – 472 с.
3. Шифринсон Б.Л., Рабинович Е.З., Закс М.Л. Совместная работа насосных станций в конденсаторопроводных сетях. — «Электрические станции», 1942, № 11—12, с. 6—9.
4. Сазонова С.А. Методы технической диагностики и безопасность систем теплоснабжения: математическое моделирование потокораспределения в функционирующих системах теплоснабжения/ Сазонова С.А., Сербулов Ю.С. – Saarbrücken: изд-во LAP LAMBERT, 2014. – 210 с.
5. Долгов Н.В. Математическая модель потокораспределения в индивидуальном тепловом пункте с многоконтурным теплообменным аппаратом (МТА)/Долгов Н.В, Олексюк А.А., Левин В.М., Шайхед О.В.//Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури, вип.5, 2014.- с.40-47

6. Липовка Ю.Л. Гидравлический режим тепловой сети при переходе с открытой на закрытую систему теплоснабжения/Липовка Ю.Л., Венин А.С., Михайлова А.С.// Энергосбережение и водоподготовка, №6, 2019 – с.53-56
7. Липовка Ю.Л. Анализ потоков тепловой энергии в гидравлических цепях: автореф. дис.д-ра техн.наук: 01.04.14/ Липовка Ю.Л.; ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет». – Красноярск, 2002. – 384 с.
8. Игнатёнок В.В., Боровков В.М. Анализ методов регулирования отпуска тепловой энергии потребителям. – «Научно-технические ведомости СПбПУ», 2010, с. 65-71
9. Рафальская Т.А. Исследование переменных режимов работы систем централизованного теплоснабжения при качественно-количественном регулировании. – Новосибирск: Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура, №2, 2019 – с.79-89
10. Самарин О.В. Расчет потерь давления в трубопроводах тепловых сетей. – Самара: Сантехника, отопления, кондиционирование №4, 2014 – с. 59-61
11. Ганжа Н.Г. Тепловое аккумулирование как способ повышения энергетической эффективности систем теплоснабжения/ Ганжа Н.Г., Хименко А.В.//Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. №3, 2012. – с. 16-21
12. Захватова М.А. Необходимость перевода открытых систем теплоснабжения на закрытые/ Захватова М.А., Гришкова А.В.// Современные технологии в строительстве. Практика и теория. – 2016. – Т.1. – с. 414-418
13. Абдулаев Д.А. Гидравлическая устойчивость тепловой сети/ Абдулаев Д.А., Маркелова Е.А., Сабирзянов А.Р., Миронов Н.Ю.// Строительство уникальных зданий и сооружений, №1, 2017. – с.67-85
14. Черненко В.П. Опыт апробации метода расчета гидравлических режимов тепловых сетей/ Черненко В.П., Попов Д.В.//Вологдинские чтения №48, 2005. – с.27-29.
15. Абильдинова С.К., Чичерин С.В. Моделирование системы централизованного теплоснабжения с учетом работы с абонентами и особенностей эксплуатации насосного оборудования / Абильдинова С.К., Чичерин С.В.// Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. Вып. 6. С. 748–755. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.6.748-755
16. Андрияшев М.М. Техника расчета водопроводной сети. М., ОГИЗ — «Советское законодательство», 1949, 62 с.
17. Лобачев В.Г. Новый метод увязки колец при расчете водопроводных сетей.— «Санитарная техника», 1934, № 2, с. 8—12.
18. Cross Hardy. Analysis of flow in networks of conduits or conductors. Bull. № 286, Eng. Exp. Station of Univ. of Illinois, 1936, vol. 34, № 22.32 p.
19. Нуруллин Ж.С, Шешегова И.Г. Гидравлический расчет кольцевых водопроводных сетей с использованием ЭВМ. – Казань: Изд-во Казанск.го.архитект.-строит. ун-та, 2015. – 16 с.
20. Щербаков В.И. Принцип энергетического эквивалентирования для расчета сетей водоснабжения с множеством участков/ Щербаков В.И., Нгуен Х.К.// Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования, 2016. – с. 27
21. Duffy F. L. Gas network analysis program for high-speed computer. GAS (USA), 1998, vol. 34, № 6, p. 47—54.
22. Fowler J. and Rose, O., “Grand challenges in modeling and simulation of complex manufacturing systems,” Simulation, vol. 80, pp. 469–476, 2004.
23. Maria A. Introduction to Modeling and Simulation -Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference, ed. S. Andradóttir, K. J. Healy, D. H. With-ers, and B. L. Nelson, USA, pp 7-13
24. Aumann C.A., “A methodology for developing simulation models of complex systems,” Ecological Modelling, vol. 202, pp. 385–396, 2007.
25. Gritzki R. Modeling of Heating Systems and Radiators in Combined Simulations/ Gritzki R., Perschk A., Rösler M., Richter W.// FINVAC Helsinki, 2007. – pp. 13-18
26. Jančík L. Dynamic behavior of panel radiators – Thermographic investigation and computer modelling of heat-up/ Jančík L., Bašta J// EPJ Web of Conferences 25, 2012.

05.13.18

Ю.И. Фёдоров, В.Д. Павлидис

Оренбургский государственный аграрный университет,
институт управления рисками и комплексной безопасности,
кафедра информатики и прикладной математики,
Оренбург, yurf0023@mail.ru

ОЦЕНКА ПРИРАЩЕНИЯ (ПАДЕНИЯ) СРЕДНЕОБЪЁМНОЙ ПЛОТНОСТИ КИСЛОРОДА В ПОМЕЩЕНИЯХ ЗДАНИЙ В ИНТЕГРАЛЬНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПОЖАРА В НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ

Для интегральной математической модели пожара в здании в начальной стадии найдены формулы приращения среднеобъёмной плотности кислорода в окрестности начального момента времени и его оценки.

Ключевые слова: *опасный фактор пожара, интегральная математическая модель пожара в здании, оценка перепада плотности кислорода.*

В статье в рамках упрощённой интегральной математической модели пожара в помещениях зданий в начальной стадии найдены представления и оценки приращения (падения) такого опасного фактора пожара (ОФП) как понижение концентрации кислорода,

Интегральная математическая модель пожара в помещениях зданий разработана Кошмаровым Ю.А. и его учениками [1], [2]. Поскольку массовая эвакуация людей в случае возникновения пожара происходит в его начальной стадии [1], [2], [3], [4], то нами взята интегральная математическая модель пожара в зданиях в начальной стадии, которая допускает существенное упрощение. Допущения (ограничения) и упрощённая система независимых обыкновенных дифференциальных уравнений (каждая неизвестная функция входит только в одно уравнение), к которой приводятся уравнения пожара в начальной стадии, нами взяты из работы [3] (уравнения (15)-(19) на стр. 407 этой работы). Ранее в [5] для такой модели пожара мы дали оценку перепада ОФП среднеобъёмной плотности газовой среды.

Теперь в упрощённой модели пожара рассмотрено уравнение для среднеобъёмной плотности $\rho(\tau)$ кислорода, кг/м³

$$V \frac{d\rho}{d\tau} = -\eta\psi(\tau)(k + k_1\rho) \quad (1)$$

где V – объём охваченного пожаром помещения (м³); η – коэффициент полноты сгорания; функция $\psi(\tau)$ – скорость выгорания (кг/с); k – стехиометрический коэффициент для кислорода (определяет количество кислорода необходимое для сгорания массы горючего материала), кг/кг; τ – время (с);

$$k_1 = \frac{Q_n^p \cdot (1 - \varphi) + i_s}{c_p \cdot \rho_0 \cdot T_0} \quad (2)$$

[3]. В формуле (2) Q_n^p – теплота сгорания, Дж/кг; φ – коэффициент теплотеря; i_s – энтальпия продуктов газификации горючего материала, Дж/кг; c_p – изобарная теплоемкость идеального газа, Дж/кг К; ρ_0 , T_0 – среднеобъёмная плотность кислорода и температура среды до начала пожара. На этой стадии пожара все перечисленные параметры считаем постоянными.

Для данной модели выведем формулы и оценки $\Delta\rho = \rho(\tau) - \rho(0)$ непрерывного решения $\rho(\tau)$ уравнения (1) с начальным условием

$$\rho(0) = \rho_0 \tag{3}$$

Разделяя переменные в (1) и интегрируя по $s \in [0, \tau]$, получим:

$$\int_0^\tau \frac{d\rho}{k + k_1 \cdot \rho} = -\frac{\eta}{V} \cdot \int_0^\tau \psi(s) \cdot ds \tag{4}$$

В правой части (4) функцию, выражающую закон изменения массы горючих материалов, сгоревших к моменту времени τ , принято обозначать

$$M(\tau) = \int_0^\tau \psi(s) ds \tag{5}$$

Функция $M(\tau)$ дифференцируема и $M'(t) = \psi(t)$. В соответствие с работами [2], [3] мы взяли функцию $M(\tau)$ в виде

$$M(\tau) = A\tau^n, \tag{6}$$

где

$$A = \frac{\pi}{3} \psi_{y0} v_n^2, \quad n = 3 \tag{7}$$

если процесс распространения пожара по поверхности твердого горючего материала (ТГМ) является круговым;

$$A = \frac{b}{2} \psi_{y0} v_n, \quad n = 2 \tag{8}$$

если распространения пожара по поверхности ТГМ является линейным. В формулах (7) и (8) ψ_{y0} – удельная массовая скорость выгорания (кг/м²с), v_n – линейная скорость распространения пламени (м/с), b – ширина фронта пламени (м), причём пламя распространяется в одном направлении.

Вычисляя интеграл в левой части (4) и потенцируя, находим

$$\frac{k + k_1\rho(\tau)}{k + k_1\rho_0} = \exp(-k_1\eta V^{-1}M(\tau)) \tag{9}$$

Функцию $\exp(-k_1\eta V^{-1}M(\tau))$ в (9) разложим в степенной ряд Маклорена

$$\exp(-k_1\eta V^{-1}M(\tau)) = \sum_{m=0}^{\infty} (-1)^m \frac{(k_1\eta V^{-1}M(\tau))^m}{m!} \tag{10}$$

сходящийся абсолютно при всех $k_1\eta V^{-1}M(\tau) \geq 0$ [6]; приведём (10) к виду

$$\exp(-k_1\eta V^{-1}M(\tau)) = 1 - k_1\eta V^{-1}M(\tau) \sum_{j=0}^{\infty} (-1)^j \frac{(k_1\eta V^{-1}M(\tau))^j}{(j+1)!} \tag{11}$$

Вводя $\Phi(\tau)$ – сумму ряда (сходящегося абсолютно при $k_1\eta V^{-1}M(\tau) \geq 0$)

$$\Phi(\tau) = \sum_{j=0}^{\infty} (-1)^j \frac{(k_1\eta V^{-1}M(\tau))^j}{(j+1)!}, \tag{12}$$

преобразуем формулу (11) к виду

$$\exp(-k_1\eta V^{-1}M(\tau)) = 1 - k_1\eta V^{-1}M(\tau)\Phi(\tau) \tag{13}$$

Правую часть уравнения (9) заменим по формуле (13):

$$\frac{k + k_1\rho(\tau)}{k + k_1\rho_0} = 1 - k_1\eta V^{-1}M(\tau)\Phi(\tau) \tag{14}$$

в (14) перенесём единицу в левую часть и упростим полученную разность. В итоге найдём искомое представление приращения $\Delta\rho$ в точке $\tau = 0$

$$\Delta\rho \equiv \rho(\tau) - \rho_0 = -\beta M(\tau)\Phi(\tau), \quad (15)$$

$$\beta = \eta V^{-1}(k + k_1\rho_0). \quad (16)$$

Так как $\Delta\rho < 0$, то удобнее рассматривать $|\Delta\rho|$:

$$|\Delta\rho| = \beta M(\tau)|\Phi(\tau)|. \quad (17)$$

Оценим $|\Delta\rho|$. Вычислив с помощью формул (12) и (17) предел

$$\lim_{\tau \rightarrow 0} \frac{|\Delta\rho|}{\beta M(\tau)} = \lim_{\tau \rightarrow 0} \frac{|\rho(\tau) - \rho_0|}{\beta M(\tau)} = \lim_{\tau \rightarrow 0} |\Phi(\tau)| = \Phi(0) = 1$$

, находим оценки $|\Delta\rho|$ при $\tau \rightarrow 0$

$$|\Delta\rho| \sim \beta M(\tau), \quad |\Delta\rho| \sim \beta A\tau^n \quad \text{при } \tau \rightarrow 0. \quad (18)$$

Знакопередающийся ряд (12) сходится по признаку Лейбница в достаточно малой окрестности точки $\tau = 0$, которая определяется неравенством

$$k_1\eta V^{-1}M(\tau) < 2, \quad \text{т. е. } 0 \leq \tau \leq \tau_1, \quad \text{где } \tau_1 = \sqrt[n]{2V(Ak_1\eta)^{-1}} \quad (19)$$

(последовательность модулей членов ряда (12) бесконечно малая и монотонно убывает) и для его суммы $\Phi(\tau)$ имеет место оценка [6]

$$0 < S_2 \leq \Phi(\tau) \leq S_1, \quad (20)$$

$S_1 = 1$, $S_2 = 1 - k_1\eta M(\tau)(2V)^{-1}$ – первая и вторая частичные суммы ряда (12).

Из (17) и (20) выводим основные формулы и оценки $|\Delta\rho|$ в точке $\tau = 0$ на отрезке времени $[0, \tau]$, по длительности не превосходящим τ_1 ($\tau \leq \tau_1$)

$$|\Phi(\tau)| = \Phi(\tau), \quad |\Delta\rho| = \beta M(\tau)\Phi(\tau) \quad (21)$$

$$\beta M(\tau)(1 - k_1\eta M(\tau)(2V)^{-1}) \leq |\Delta\rho| \leq \beta M(\tau), \quad \beta A\tau^n(1 - k_1\eta A\tau^n(2V)^{-1}) \leq |\Delta\rho| \leq \beta A\tau^n, \quad (22)$$

$$\Delta\rho = O(M(\tau)), \quad \Delta\rho = O(\tau^n) \quad \text{при } \tau \rightarrow 0. \quad (23)$$

Из (22) получим оценки сверху модуля средней скорости изменения плотности кислорода на любом отрезке $[0, \tau]$, где $\tau \in [0, \tau_1]$

$$\frac{|\Delta\rho|}{\tau} \leq \beta \frac{M(\tau)}{\tau}, \quad \frac{|\Delta\rho|}{\tau} \leq \beta A\tau^{n-1}. \quad (24)$$

Применив теорему о среднем для определённых интегралов [6] к интегралу (5) от непрерывной функции $\psi(\tau)$ промежутке $[0, \tau]$ заключаем, что существует «средняя» точка ξ промежутка $[0, \tau]$, $0 < \xi < \tau$ такая, что

$$\tau\psi(\xi) = \int_0^\tau \psi(s)ds. \quad (25)$$

Из (6), (25) и формулы $M'(t) = \psi(t)$ «средняя» точка ξ нами найдена явно и имеет разный

вид в зависимости от n : $\xi = \frac{\tau}{2}$ при $n = 2$; $\xi = \frac{\tau}{\sqrt{3}}$ при $n = 3$.

Средние ξ и $\psi(\xi)$ на $[0, \tau]$, $\tau \leq \tau_1$ позволяют истолковать оценки (24):

$$\frac{|\Delta\rho|}{\tau} \leq \beta\psi(\xi), \quad |\Delta\rho| \leq \beta\psi(\xi)\tau. \quad (26)$$

Итак, в статье для интегральной математической модели пожара в помещениях зданий в начальной стадии для такого ОФП как понижение концентрации кислорода найдены 1) формулы (15), (17), (21) приращения (падения) среднеобъёмной плотности кислорода $\Delta\rho$ в окрестности точки $\tau = 0$; 2) асимптотическое поведение (18) $|\Delta\rho|$ при $\tau \rightarrow 0$ из которого следует, что $\Delta\rho$ – бесконечно малая порядка n по сравнению τ , эквивалентная $\beta A\tau^n$ и вблизи точки $\tau = 0$ ведёт себя как функция $\beta A\tau^n$; 3) на любом промежутке времени $[0, \tau]$, $\tau \leq \tau_1$ (τ_1 указано в (19)) а) оценки (22), (23) $\Delta\rho$, б) оценки (24), (26) средней скорости изменения модуля плотности кислорода, в) среднее значение скорости выгорания $\psi(\xi)$ на $[0, \tau]$.

Найденные в статье формулы и оценки ОФП (концентрации кислорода) выражают следующие закономерности динамики этого ОФП в рассмотренной математической модели пожара: $|\Delta\rho| \leq \beta\psi(\xi)\tau$; особые свойства процесса распространения пожара в окрестности начального момента времени $\tau = 0$ – присутствие в соотношениях и оценках степенных функций от $\tau = 0$ указывает скоротечность такого процесса.

Список литературы

1. Кошмаров Ю.А., Рубцов В.В. Процессы нарастания ОФП в производственных помещениях и расчет критической продолжительности пожара. – М.: МИПБ МВД России, 1998. – 90 с.
2. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: Учебное пособие. – М.: Академия ГПС МВД России, 2000. – 118 с.
3. Колодяжный С.А., Переславцева И.И. Математическое моделирование динамики основных опасных факторов в начальной стадии пожара // Известия КГАСУ, Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (в строительстве), 2014, № 4 (30). – С. 403-412.
4. Переславцева И.И., Яременко С.А. Экспериментальные исследования времени эвакуации групп людей по лестничным клеткам зданий и сооружений // Вестник гражданских инженеров, 2013, Вып. 5 (40). – С. 122-126.
5. Фёдоров Ю.И., Павлидис В.Д., Урбан В.А., Яковлева Е.В. Оценка приращения плотности токсичных газов в интегральной математической модели пожара в зданиях в начальной стадии // Безопасность в техносфере, 2020, № 2 (83). – С. 48-53
6. Кудрявцев Л. Д., Математический анализ, т. 1, Высшая школа, М., 1970, 590 с.

05.13.18

¹А.Г. Шляхова канд. техн. наук, ¹А.Т. Шляхов канд. физ.-мат. наук,
²И.А. Мутугуллина канд. техн. наук, ¹О.А. Шпилова канд. техн. наук,
¹М.Ю. Филимонова канд. педагог. наук

¹Альметьевский государственный нефтяной институт,
²Бугульминский филиал
«Казанский национальный исследовательский технологический университет,
Альметьевск, 9274573382@mail.ru

ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЕЩЕСТВ: ИННОВАЦИИ И ДОСТИЖЕНИЯ

Разработан термический анализ (ТА), основанный на авторской дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК), сочетающей высокую чувствительность порог обнаруживаемой мощности 10^{-7} Вт с уникальным быстродействием 10^{-2} с. В качестве теплового сенсора применена батарея из анизотропных термоэлементов (АТЭ) из висмута. При термическом анализе арсенида галлия $m=1$ мг, приготовленного в виде порошка, зарегистрированы отклики при кристаллизации микровключений галлия на уровне $=0,15$ мкВт, что соответствует абсолютной и относительной чувствительности на уровне 10^{-10} г и $10^{-5}\%$, соответственно. Получен патент на изобретение. Оценена стоимость проекта.

Ключевые слова: *термический анализ веществ (ТА), дифференциально - сканирующая калориметрия (ДСК), анизотропный термоэлемент, микровключения, чувствительность, патент, стоимость.*

Актуальность. К контролю качества и степени чистоты веществ относится физико-химический, в частности, термический анализ (ТА) веществ. Во многих случаях ТА не применим, так как существенным недостатком метода является низкая относительная и абсолютная чувствительность на уровне 1 % и 10^{-3} г, соответственно [1-4].

Для контроля степени чистоты веществ и обнаружения примеси требуются новые теплофизические приборы, сочетающие быстродействие и чувствительность. Промышленные калориметры с такими параметрами отсутствуют, поэтому необходимо предпринять исследования по разработке и созданию быстродействующего высокочувствительного микрокалориметра. Предполагаемое решение этих проблем состоит в применении в калориметрии сенсоров на основе АТЭ из висмута.

Изготовление быстродействующего дифференциального микрокалориметра на анизотропных термоэлементах из висмута.

Традиционно при изготовлении калориметров, в качестве датчиков тепла (сенсоров) используются батареи термопар, термометры сопротивления, обладающие высокой вольтваттной чувствительностью $S_0=10\div 1000$ мВ/Вт и более, но одновременно низким быстродействием 10-1000с. Реализация высокой чувствительности приборов дифференциально-термического анализа (ДТА) требует больших значений термического сопротивления тепловому потоку R. Возможности ДТА существенно ограничивает большая инерционность измерений и, вследствие этого, низкая разрешающая способность. Инерционность определяется постоянной времени калориметрической камеры $\tau = RC_{об}$: чем меньше ее значение, тем точнее регистрируется термическое поведение образца с теплоемкостью $C_{об}$. Однако для высокой чувствительности ДТА требуется большое тепловое сопротивление R, что несовместимо с требованием быстродействия и высокой разрешающей способности [2-4]. Из теоретического рассмотрения изменения энтальпии процесса в методе ДСК, следуют пути оптимизации термического анализа. Во-первых, необходимо максимальное уменьшение массы камеры, т.е. термического сопротивления,

во-вторых, необходимо использовать чрезвычайно малые по массе образцы ≤ 1 мг; что увеличивает разрешающую способность. В-третьих, мгновенно выделяющаяся теплота, может быть зарегистрирована калориметром, если его постоянная времени того же порядка, либо еще меньше времени выделения тепла [2-4].

Анизотропия термоэлектрических свойств известна с конца XIX века, однако, использование анизотропных термоэлементов в качестве сенсоров в микрокалориметрах началась сравнительно недавно [5-20]. В висмуте тензор термо-ЭДС имеет два компонента: один из которых α_{33} направлен вдоль тригональной оси симметрии C_3 и составляет 100 мкВ/К, а перпендикулярный к ней компонент $\alpha_{11} = 50$ мкВ/К (рис.1).

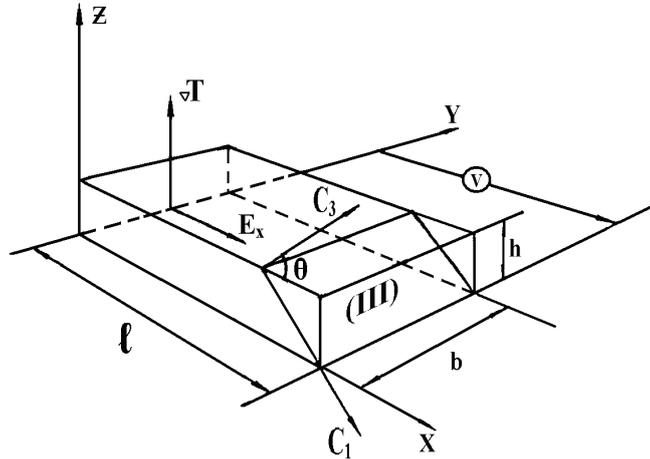


Рис. 1 – Анизотропный термоэлемент

Если в рассматриваемой пластине плоскость (111) направлена к плоскости основания под углом θ , а тепловой поток P пронизывает пластину так, что градиент температуры ∇T направлен по оси Z , то вдоль оси X возникает поперечная ЭДС, обусловленная анизотропией.

$$\varepsilon = \frac{\alpha_{33} - \alpha_{11}}{2e} \cdot \sin 2\theta \cdot \frac{P}{\lambda_{33} \sin^2 \theta + \lambda_{11} \cos^2 \theta} \quad (1)$$

где e - ширина пластины, $\lambda = \lambda_{33} \sin^2 \theta + \lambda_{11} \cos^2 \theta$ - значение теплопроводности.

Вольтваттная чувствительность анизотропного термоэлемента: $S_0 = \frac{(\alpha_{33} - \alpha_{11}) \sin 2\theta}{(\lambda_{33} \sin^2 \theta + \lambda_{11} \cos^2 \theta) 2b}$

(2) достигает максимума при условии $\theta = \arctg \sqrt{\frac{\lambda_{33}}{\lambda_{11}}}$ (3), что следует из условия $\frac{\partial S_0}{\partial \theta} = 0$.

Значение оптимального угла $\theta = 41^\circ$. Кроме выбора оптимального угла θ , исходя из формулы (2) S_0 можно еще увеличить, применяя узкие термоэлементы.

Исходя из реальных условий сборки, резки, полировки при изготовлении термоэлектрического контура следует принять оптимальную ширину АТЭ из висмута порядка $0,25 \div 0,3$ мм. Для оценки расчета S_0 , можно положить $\theta = 45^\circ$, тогда соотношение

(2) упрощается и принимает вид: $S_0 = \frac{\alpha_{33} - \alpha_{11}}{\lambda_{33} + \lambda_{11}} \cdot \frac{1}{b}$, (4) Для расчета: $\Delta\alpha = 5 \cdot 10^{-5}$ В/К,

$\lambda_{33} + \lambda_{11} = 13$ Вт/м·К и получим $S_0 = 15$ мВ/Вт. Постоянная времени АТЭ при толщине термоэлемента (h), равной 0,25 мм составит $3 \cdot 10^{-2}$ с.

Из качественно выращенного монокристалла висмута с наклоном оси $\langle 111 \rangle \sim 40^\circ$, по отношению к продольной оси слитка, электроискровой резкой были изготовлены пластины размером $(15 \times 20 \times 0,3)$ мм³. Далее полученные пластины были подвергнуты химической полировке в растворе азотной и уксусной кислоты, с последующей промывкой в кипящей дистиллированной воде. Затем под микроскопом пластины спаивались в пакет по совпадающим размерам и препарировались на электроискровой резке на одиночные АТЭ с размерами $(15 \times 0,25 \times 0,25)$ мм³.

Несущая конструкция сенсора - контейнер. Было изготовлено два одинаковых контейнера, в форме полого прямоугольного параллелепипеда из медного стержня электроискровой резкой. Внутренние геометрические размеры контейнеров составили $(10 \times 3 \times 3)$ мм³ с толщиной стенок 0,15 мм. После химической доводки контейнеров до равной массы 100 мг, их внешняя поверхность была изолирована 50 мкм слюдой. Вся сборка производилась под микроскопом МБС-9 при увеличении 28^{\times} . Приклеивание одиночных АТЭ с учетом термоэлектрической полярности, определяемой оптическим методом, на внешнюю поверхность контейнеров и склеивание между собой производилось клеем БФ-6. Изоляция АТЭ друг от друга осуществлялась полосками конденсаторной бумаги толщиной 5 мкм. Плотность упаковки АТЭ на каждой грани параллелепипеда составила 12 элементов. Торцы одиночных АТЭ спаивались между собой последовательно, чтобы образующиеся ЭДС суммировалась. Для этого используется факт зеркального чередования тригональных плоскостей двух соседних пластин [7].

Конструкция дифференциального микрокалориметра, методики определения удельной теплоемкости и теплового потока рассмотрены в монографии [13]. Компьютерные технологии обеспечивают сбор данных с электроизмерительных приборов и устройств и управление ими.

Используя дифференциальный микрокалориметр на АТЭ из висмута с быстродействием $\sim 10^{-2}$ с и чувствительностью $S_0 = 15$ мВ/Вт, исследовалась температурная зависимость теплоемкости арсенида галлия

Исследования теплоемкости проводились в области температур плавления галлиевых включений, которая составляет $29,78^{\circ}\text{C}$. При наличии галлиевых включений в арсениде галлия, в момент плавления этих включений, дополнительно поглощается теплота, фиксируя это приращение теплоты можно определить их объемное содержание с абсолютной и относительной чувствительностью 10^{-5} г и $10^{-2}\%$ [5].

Более перспективной методикой определения содержания галлиевых включений является дифференциально-сканирующая калориметрия (ДСК). Данный метод включает измерение дифференциального теплового потока при непрерывном уменьшении температуры, при этом измерение дифференциального теплового потока осуществляется при условии $\tau_{\text{яч}} \leq \tau_{\text{крист}}$, где $\tau_{\text{яч}}$ - быстродействие калориметра (ячейки), $\tau_{\text{крист}}$ - время кристаллизации включений [6]. Это условие достигается, во-первых, тем, что минимально возможная толщина отдельных сенсоров на основе АТЭ из висмута выбирается в пределах 250 мкм, что приводит к быстродействию ячейки калориметра в границах 10^{-2} с. Во-вторых, использованы медные контейнеры малой массы ≈ 100 мг.

На рис. 2 показано фазовое превращение в α -галлии при изменении температуры образца. При плавлении и кристаллизации на температурной зависимости потока тепловой мощности наблюдаются характерные аномалии, а именно, при температуре $+30^{\circ}\text{C}$ наблюдается плавление галлия (а), а взрывной кристаллизации соответствует пик $+23,5^{\circ}\text{C}$ (б).

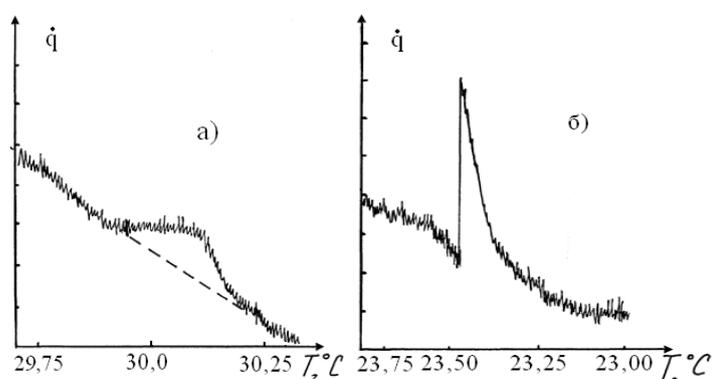


Рис. 2 – Теплограмма GaAs:Te. Кривые ДСК соответствуют плавлению (а) и кристаллизации (б) микровключений галлия. Условия эксперимента: масса образца ≈ 50 мг; скорость нагревания (охлаждения) $v = 0,5$ град/мин.

Недостатком способа [6] является то, что, использованы объемные калориметрические камеры размерами $(1 \times 0,3 \times 0,3) \text{ см}^3$, поэтому по этим же параметрам готовились образец и эталон в виде цельного параллелепипеда, вследствие этого их масса составляет значительную величину $\approx 400 \text{ мг}$.

Целью изобретения [16] является повышение чувствительности и упрощение способа при определении содержания металлических микровключений в арсениде галлия, имеющего галлиевые включения.

Галлий может существовать в нескольких метастабильных модификациях, устойчивая α -модификация, образующаяся при 30°C , и β -модификация, в которую кристаллизуется переохлажденный расплав.

В предлагаемом способе переход включений галлия из стабильной α -фазы в метастабильную β -фазу осуществляется воздействием инфракрасного лазера с длиной волны $10,6 \text{ мкм}$. Основную роль при образовании β -фазы играет высокая скорость закалки расплава галлия. Температура плавления галлия в β -фазе составила -16°C (рис.3а). Температура кристаллизации β -модификации -25°C (рис.3б). Кроме этих пиков, обнаружена низкотемпературная аномалия при -90°C , сопровождающаяся выделением теплоты и обусловленная обратным превращением галлия из β - в α -модификацию (рис.3в).

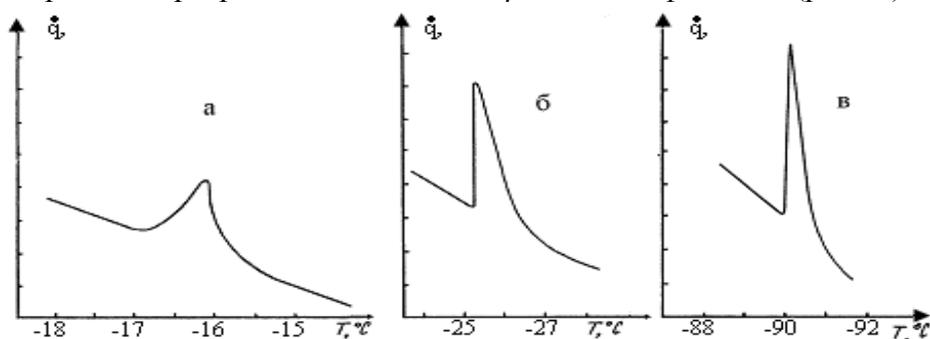


Рис. 3 – Теплограммы в β – Ga: а) плавление, б) кристаллизация, в) β – Ga- α – Ga переход

Так как, чувствительность и разрешение анализа выше при массах анализируемого вещества $\leq 1 \text{ мг}$, т.е. нет необходимости иметь объемную калориметрическую ячейку. Поэтому необходимо применение быстродействующего ($\tau=10^{-2} \text{ с}$) микрокалориметра на основе АТЭ из висмута с термоэлектрическим охлаждением рис.4.

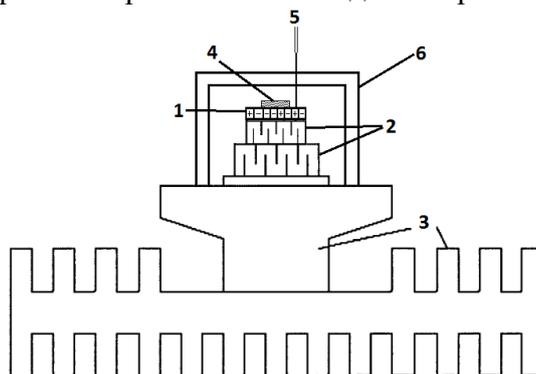


Рис.4 – Микрокалориметр с термоэлектрическим охлаждением

Прибор состоит из сенсорной (тепломерной) площадки $6 \times 10 \text{ мм}^2$ на основе последовательно включенных АТЭ из висмута. Сенсоры 1 размещены на рабочей поверхности ($S=10 \times 30 \text{ мм}^2$) многокаскадного микрохолодильника 2, вторая поверхность которого размещена на термостате 3. Микрохолодильник обеспечивает охлаждение-нагрев исследуемого объекта 4, от -100°C . до $+100^\circ\text{C}$.

Впервые экспериментально показано, что разрешение теплового спектра при термическом анализе сравнимо по чувствительности с результатами спектрального анализа. Для GaAs $\approx 1 \text{ мг}$, приготовленного в виде порошка, зарегистрированы отклики при кристаллизации микровключений β -галлия (рис.5) на уровне $\approx 0,15 \text{ мкВт}$, что соответствует массе галлия 10^{-10} г при относительной чувствительности $10^{-5}\%$ [13-19].

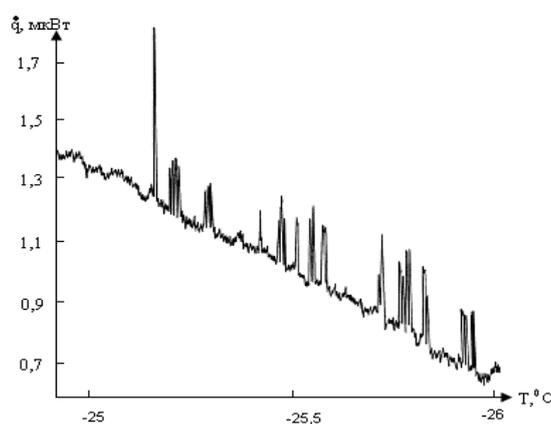


Рис. 5 – Термограмма GaAs: Te (пики на кривой ДСК соответствуют кристаллизации микровключений галлия). Масса пробы, приготовленной в виде порошка равна ≈ 1 мг; скорость охлаждения $v = 0,2$ град/мин.

Стоимость быстродействующего микрокалориметра и исследования по термическому анализу веществ составляет 502589 рублей [20].

Выводы

Разработан и изготовлен дифференциальный микрокалориметр на АТЭ из висмута, с параметрами, сочетающими чувствительность (порог 10^{-7} Вт) с быстродействием (10^{-2} с). Установлено, что оптимальным методом для термического анализа веществ с высокой разрешающей способностью является ДСК с использованием малых навесок ($m \approx 0,01$ мг.) и малых скоростей нагрева (0,1 - 1) град/мин. При пробе вещества ≈ 1 мг достигнута относительная чувствительность определения галлиевых включений на уровне 10^{-5} % при абсолютной чувствительности 10^{-10} г. Оценена стоимость проекта. Получен патент на изобретение.

Благодарности

Авторы выражают благодарность другу и учителю Дивину Николаю Петровичу профессору Санкт-Петербургского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена за помощь при изготовлении микрокалориметра.

Список литературы

1. Уэндланд У. Термические методы анализа. - М.: Мир, -1978. - 526 с.
2. Топор Н.Д., Огородова Л.П., Мельчакова Л.В. Термический анализ минералов и неорганических соединений. - М.: МГУ, -1987. – 190 с.
3. Берштейн В.А., Егоров В.М. Дифференциальная сканирующая калориметрия в физикохимии полимеров. - Л.: Химия, -1990. - 256 с.
4. Хеммингер В., Хене Г. Теория и практика. - М.: Химия, -1990. - 176 с.
5. Балагурова Е.А., Прудникова И.А., Семиколонова Н.А., Греков Ю.Б., Шляхов А.Т. Природа фазового перехода в арсениде галлия, легированного элементами VI группы. // Известия АН СССР. Неорганические материалы. 1986. т.22 №4. С.540-543.
6. Греков Ю.Б., Дивин Н.П., Шляхов А.Т., Ярославцев Н.П. Способ определения содержания примеси в веществах. // Авторское свидетельство SU 1704050 A1, 07.01.1992. Заявка 4701526 от 06.06.1989.
7. Дивин Н.П. Физические основы управляемого выращивания монокристаллов висмута для анизотропных термоэлементов и их применение. // Автореф. дисс. к.ф.-м.н., Ленинград, 1982г.-14с.
8. Шляхов А.Т., Шляхова А.Г. Быстродействующий калориметрический метод контроля примеси в полупроводниковых материалах. // Ученые записки Альметьевского государственного нефтяного института. 2009.т.7.С.436-452.

9. *Шляхова А.Г., Дивин Н.П., Шляхов А.Т.* Быстродействующий дифференциальный микрокалориметр // Ученые записки Альметьевского государственного нефтяного института. - 2005. - т.3. - С.225-235.
10. *Шляхова А.Г., Шляхов А.Т., Галимов Э.Р.* Калориметрическое исследование включений матричного металла в GaAs: Те. // Ученые записки Альметьевского государственного нефтяного института. - 2006. - т.4. - С.423-432.
11. *Шляхова А.Г.* Дифференциально-сканирующая калориметрия для контроля качества арсенида галлия. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. - 2006. - №11-12. - С.104-107.
12. *Шляхова А.Г., Галимов Э.Р., Шляхов А.Т.* Разработка высокочувствительных и быстродействующих калориметрических устройств для изучения тепловых процессов. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики -2007.- №3-4. -С. 125-129.
13. *Шляхова А.Г.* Быстродействующий калориметрический метод контроля примеси в полупроводниковых материалах // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Казань 2007, 124с.
14. *Семиколенова Н.А., Чернуха О.Е., Шляхова А.Г., Шляхов А.Т.* Оптимизация термического анализа веществ.// Вестник Омского университета. 2004. №3(33). С54-56.
15. *Шляхова А.Г., Шляхов А.Т.* Экстремум электрофизических свойств от уровня легирования в арсениде галлия.// Научно-технический вестник Поволжья. 2018. №2.С.42-45.
16. *Шляхов А.Т., Шляхова А.Г.* Способ определения содержания металлических микровключений в полупроводниковых материалах // Патент на изобретение RU 2561335 С1, 27.08.15. Заявка №2014111215/28 от 24.03.2014.
17. *Шляхов А.Т., Шляхова А.Г.* Термический анализ веществ: история разработок авторских изобретений. //Ученые записки Альметьевского государственного нефтяного института. - 2015.том.14. -С. 292-311.
18. *Шляхова А.Г., Шляхов А.Т.* Термический анализ веществ: идеи, реализации, результаты.//Научно-технический вестник Поволжья. -2018.-№3.-С. 33-36.
19. *Шляхова А.Г., Шляхов А.Т., Гайнулова Л.А.* Анализ быстродействия и чувствительности термоэлементов для термического анализа веществ.// Научно-технический вестник Поволжья.- 2019.-№3.-С. 91-94.
20. *Шляхова А.Г., Шляхов А.Т., Биктимирова Х.С., Магдеева М.Р.* // Техничко-экономическое обоснование патента на изобретение № 2561335. Научно-технический вестник Поволжья.- 2018- №11- С.178-181.

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

05.13.19

А.А. Воробьева канд. техн. наук, И.Ю. Попов канд. техн. наукНациональный исследовательский университет ИТМО,
Санкт-Петербург, vorobeva@itmo.ru, ilyaropov27@gmail.com**ГЛОБАЛЬНЫЕ УГРОЗЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И МОДЕЛЬ МЕЖДУНАРОДНОЙ КИБЕР ПРЕСТУПНОСТИ**

В статье предложена концептуальная модель международной кибер преступности, позволяющая учитывать, как индивидуальные особенности субъекта атаки, так и его национальные особенности. Она позволяет оценить риски и степень угрозы для государства в целом и для определённых государственных информационных систем. Также в статье определены основные факторы, оказывающие влияние на вероятность возникновения атаки на государство и государственные информационные системы.

Ключевые слова: информационная безопасность, международная информационная безопасность, кибер преступность, кибер терроризм, кибер шпионаж, кибер война.

Сегодня Интернет несет в себе реальные угрозы, как для каждого человека, так и для государства. Некоторая атака может производиться злоумышленниками из одной страны, тогда как ее целью являются объекты или люди, находящиеся в другой стране. Основным вопросом является то, как подобные атаки можно прогнозировать, предупреждать, предпринимать ответные меры в зависимости от типа атаки и источника атаки [1].

Выработку предупредительных и ответных мер необходимо производить, основываясь на анализе рисков и угроз государственной информационной безопасности. Именно по этой причине необходима разработка концептуальной модели международной кибер преступности, включающей анализ глобальных угроз безопасности в информационном пространстве, анализ типов атак, факторов, влияющих на государственную информационную безопасность. В работе [2] приводится схема глобальных кибер войн и кибер преступности, составленная с учетом теории мотивации преступников, однако в ней не учитывается ряд технических и правовых факторов.

Разработанная концептуальная модель глобальной или международной кибер преступности представлена на рисунке 1. Она учитывает ряд характеристик атакующей стороны и цели атаки, субъекта и объекта атаки.

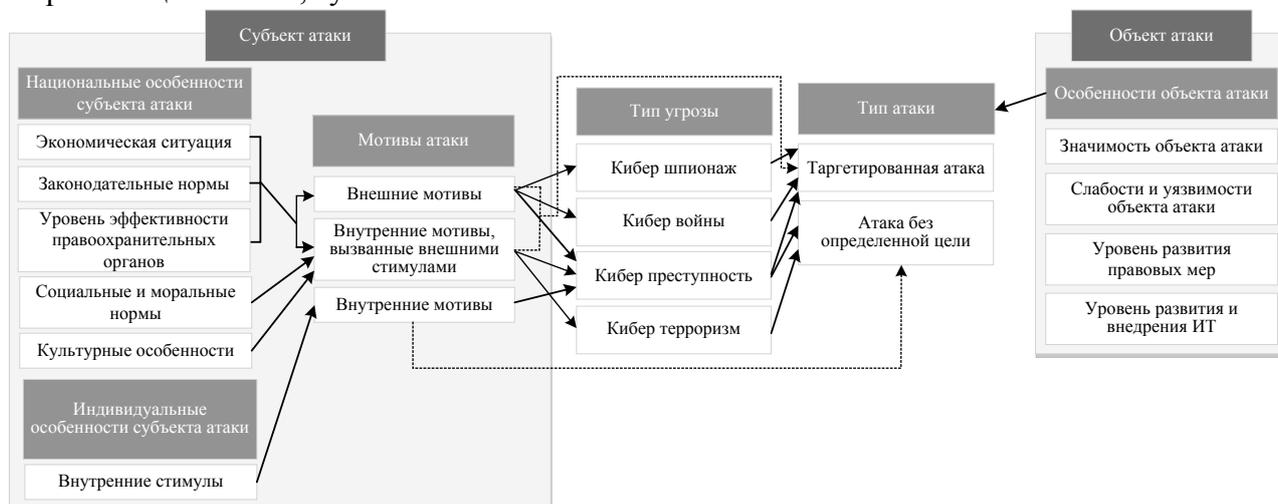


Рис. 1 – Концептуальная модель международной кибер преступности

На уровень компьютерной преступности в определенной стране, и на то, как часто субъекты из данного государства совершают компьютерные преступления влияет ряд особенностей и характеристик самого государства – национальные особенности субъекта атаки. К этой группе характеристик относятся: экономическая ситуация, законодательные нормы [3], уровень эффективности правоохранительных органов, социальные и моральные нормы, культурные особенности.

Индивидуальные особенности субъекта атаки. Безусловно, компьютерные преступления – это один из типов мотивированного девиантного поведения [5]. Такое поведение определяют внутренние стимулы, именно они побуждают субъекта атаки к преступному поведению. Внутренние стимулы определяются потребностями субъекта атаки или недостатком в чем-либо. Основываясь на теории иерархии потребностей А. Маслоу к подобным стимулам можно отнести удовлетворение потребностей самого верхнего уровня – потребности в саморазвитии, самосовершенствовании, удовлетворении любопытства.

Мотивы атаки определяются как национальными, так и индивидуальными особенностями субъекта атаки. Выделяют три основных типа мотивов атаки: внешние, внутренние, вызванные внешними стимулами, и внутренние. Соотношение мотивов атаки, основных стимулов, индивидуальных потребностей и причин, обуславливающих появление того или иного мотива представлено в таблице 1. Большая часть стимулов формируется именно на уровне государства и общества.

Таблица 1 – Мотивы атаки относительно особенностей субъекта атаки

Особенности субъекта атаки	Мотивы атаки	Потребности
Индивидуальные особенности субъекта атаки	Внутренние стимулы: самосовершенствование, повышение мастерства, любопытство	Потребность в саморазвитии
Национальные особенности субъекта атаки	Смешанные стимулы: статус, обязательства, идеология, чувство патриотизма	Потребность в уважении
		Социальные потребности
	Внешние стимулы: деньги, наказание	Потребность в безопасности Физиологические потребности

Внешние стимулы – это, как правило, некоторая материальная награда. На их появление влияют такие особенности как экономическая ситуация (желание получить вознаграждение), законодательные нормы и уровень эффективности правоохранительных органов (отсутствие наказания). Смешанные стимулы также в большей степени формируются национальными особенностями (социальные, моральные нормы и культурные особенности), примером могут служить обязательства перед страной или социальной группой, стимулы, вызванные идеологией или чувствами патриотизма.

Индивидуальные особенности субъекта атаки формируют внутренние стимулы. Движущими или побуждающими чувствами в этом случае является гордость, самоудовлетворение, любопытство, желание самосовершенствоваться. Основные мотивы – это изучение устройства новой сложной системы, получение новых навыков, понимание устройства сложной системы для контроля над ней.

Мотивация атакующего во многом определяет то, какой тип атак он производит. Таргетированные атаки более тщательно спланированы, продуманы, следы более тщательно скрываются. Преступники мотивированы из вне (внешние мотивы), ими руководит желание получить деньги, славу, получить определенный статус. Атаки без конкретной цели совершаются для самовыражения, самопрезентации, испытания своих сил. Как правило, в этом случае компьютерные преступники действуют по внутренним мотивам.

Особенности объекта атаки также влияют на тип проводимой атаки, в особенности если преступником движут внешние или смешанные стимулы, и он преследует корыстные цели: значимость объекта атаки, слабости и уязвимости объекта атаки, уровень развития правовых мер, уровень развития и внедрения ИТ.

Значимость объекта атаки – уровень критической важности объекта атаки, масштаб ущерба. Влияет на выбор объекта атаки в случае, если преступником движут внешние или смешанные стимулы, идеологические или политические мотивы. Слабости и уязвимости объекта атаки – уязвимости в механизмах защиты (характеризует сложность реализации атаки). Низкий уровень квалификации ИТ-персонала и осведомленности об угрозах информационной безопасности и существующих защитных мерах также приводит к возникновению большого числа уязвимостей, через которые может быть реализована атака. К этой группе характеристик объекта атаки относится также и развитие государственных стандартов информационной безопасности. Уровень развития правовых мер – уровень эффективности правовых органов по расследованию компьютерных преступлений, уровень развития правовой базы, участие государства в международных договорах и организациях обеспечения информационной безопасности (договоры об экстрадиции, взаимопомощи и пр.). Уровень развития и внедрения ИТ – развитие ИТ и доступность Интернета для населения, распространённость ИТ в органах государственного управления.

Можно выделить основные факторы, оказывающие влияние на вероятность возникновения атаки. К росту числа компьютерных преступлений приводят плохие экономические условия. Пробелы в законодательстве и низкая квалификация следователей, прокуроров, судей в сфере кибер преступности приводят к тому, что большая часть преступлений остается безнаказанной. В государствах, где компьютерные преступления или хакерство не криминализированы и не относятся к негативному поведению, такого рода правила и нормы отсутствуют, что также ведет к возникновению ощущения безнаказанности и к повышению уровня компьютерной преступности. Мотивы атаки определяются как национальными, так и индивидуальными (психологическими и психофизическими) особенностями субъекта атаки. Мотивация атакующего во многом определяет то, какой тип атак он производит (таргетированная атака или атака без конкретной цели, совершаемая для самовыражения, самопрезентации, испытания своих сил). Чем выше значимость объекта атаки, тем выше вероятность реализации угрозы. Чем выше слабости и уязвимости объекта атаки, тем выше вероятность реализации угрозы. Чем ниже уровень развития правовых мер, тем выше вероятность совершения кибер преступления на территории государства либо через оборудование на его территории. Чем выше в государстве уровень развития и внедрения ИТ, доступности Интернета для населения, тем выше вероятность проведения атаки на объекты на его территории.

Список литературы

1. Всестороннее исследование проблемы киберпреступности // УНП ООН Управление Организации Объединенных Наций по наркотикам и преступности.- 2013.- URL: https://www.unodc.org/documents/organized-crime/cybercrime/Cybercrime_Study_Russian.pdf (дата обращения: 12.10.2019).
2. Всестороннее исследование проблемы киберпреступности 2013. URL: https://www.unodc.org/documents/organized-crime/cybercrime/Cybercrime_Study_Russian.pdf (дата обращения: 12.09.2019).
3. *Зиновьева Е.С.* Международная информационная безопасность. М. : МГИМО-Университет.– 2013.– 194 с.
4. *Майсак Н.В.* Матрица социальных девиаций: классификация типов и видов девиантного поведения // *Современные проблемы науки и образования*, № 4, 2010.– С. 78-86.

АННОТАЦИИ
ABSTRACTSС.С. Акимов, В.А. Трипкош
ПРИМЕНЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВАРИАЦИИ В ВОПРОСЕ
РАЗЛИЧЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ДИСКРЕТНЫХ ЗАКОНОВ
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Ключевые слова: коэффициент вариации, параметры распределения, критические значения, закон распределения вероятности.

Рассматривается проблема совершенствования процесса восстановления дискретного закона распределения вероятности по коэффициенту вариации данных в массиве. Проверено влияние параметров закона распределения на коэффициент вариации данных, рассчитаны критические значения коэффициента для данных различной размерности, позволяющих идентифицировать некоторые дискретные законы распределения.

S.S. Akimov, V.A. Tripkosh
APPLICATION OF THE COEFFICIENT OF VARIATION IN
THE ISSUE OF DISTINGUISHING SOME DISCRETE
DISTRIBUTION LAWS

Keywords: coefficient of variation, distribution parameters, critical values, probability distribution law.

The problem of improving the process of recovering a discrete law of probability distribution from the coefficient of variation of data in an array is considered. The influence of the parameters of the distribution law on the coefficient of variation of the data is checked, the critical values of the coefficient are calculated for data of various dimensions, allowing to identify some discrete distribution laws.

В.С. Вилков, В.И. Мельников
ОБЗОР ДАТЧИКОВ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ДЛЯ
РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК С ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИМ
ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ

Ключевые слова: датчик контроля уровня,

жидкометаллический теплоноситель, быстрые реакторы.

В статье выполнен краткий обзор датчиков уровня различной конструкции, которые могут быть применены для измерения уровня жидкометаллического теплоносителя ЯЭУ. В результате сделан вывод, что в настоящее время выбор приборов для контроля уровня жидкометаллического теплоносителя в ЯЭУ типа БН весьма ограничен и необходимо развитие этого важного направления техники и технологии на основе прогрессивных разработок в области новых материалов и электроники.

V.S. Vilkov, V.I. Melnikov
OVERVIEW OF SENSITIVE ELEMENTS OF
PROSPECTIVE LEVEL SENSORS FOR REACTOR
PLANTS WITH LIQUID METAL COOLANT

Keywords: level control sensor, liquid metal coolant, fast reactors.

The article provides a brief overview of level sensors of various designs that can be used to measure the level of liquid metal coolant of nuclear power plant. It was concluded that currently the selection of devices for monitoring the level of liquid metal coolant in nuclear power plants of BN type is limited and it is necessary to develop this important area of technology and technology based on progressive developments in the field of new materials and electronics.

Р.М. Галиев, З.А. Аюкин, А.Ю. Барыкин, Д.И. Нуретдинов
АНАЛИЗ И МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ
ОТРЕМОНТИРОВАННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ КАМАЗ-740.10

Ключевые слова: грузовой автомобиль, двигатель внутреннего сгорания, шатун, шатунный болт.

В статье рассматриваются конструкция шатуна в сборе и методика обеспечения надежности отремонтированных двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Так же приведены результаты изменения конструкции при текущем или капитальном ремонте ДВС. На основании исследований, предложено применение измененной конструкции шатуна в сборе при ремонте двигателя КАМАЗ-740.10

R.M. Galiev, Z.A. Ayukin, A.Yu. Barykin, D.I. Nuretdinov
ANALYSIS AND METHOD OF INCREASING THE
RELIABILITY OF REPAIRED KAMAZ-740.10 ENGINES

Keywords: truck, internal combustion engine, connecting rod, connecting rod bolt.

The article discusses the design of the connecting rod assembly and the method of the repaired internal combustion engines (ICE) ensuring the reliability. The results of design changes during the current or overhaul of the internal combustion engine are also shown. Based on the research, it is proposed to use the modified design of the connecting rod assembly during the repair of the KAMAZ-740.10 engine.

Г.С. Малышев, И.В. Друмов, И.А. Иляхинский, М.А. Камнев,
О.В. Андреева, А.А. Абрамов
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕДОБУЧЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ
ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ НА ИЗДЕЛИЯХ ИЗ СИЛИЦИ-
РОВАННОГО ГРАФИТА В АО «ОКБМ АФРИКАНТОВ»

Ключевые слова: свёрточные нейронные сети, предобученные нейронные сети, распознавание изображений, дефекты на изделиях, силицированный графит.

В настоящей статье исследуются возможности предобученных свёрточных нейронных сетей в задаче распознавания и классификации дефектов на изделиях силицированного графита. Демонстрируется эффективность обучения нейронной сети при малой обучающей выборке для случая распознавания дефектов. Делается попытка объяснения данного эффекта. Указываются предсказательные вероятности, ниже которых результат работы сети можно считать сомнительным.

G.S. Malyshev, I.V. Drumov, I.A. Ilyakhinsky, M.A. Kamnev,
O.V. Andreeva, A.A. Abramov
USE OF A PRETRAINED NEURAL NETWORK FOR
DETECTING DEFECTS ON PRODUCTS FROM
SILICATED GRAPHITE IN JSC «OKBM AFRICANTS»

Keywords: convolutional neural networks, pretrained neural networks, image recognition, defects on products, silicicated graphite.

This article examines the capabilities of pretrained convolutional neural networks in the problem of recognition and classification of defects on silicicated graphite products. With regard to defects, the effectiveness of training a neural network in the case of a small training sample is demonstrated. An attempt is made to explain this effect. The article indicates the predictive probabilities below which the result of the network operation can be considered doubtful.

Н.М. Чиганова
ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПЫТАНИЯ ИЗДЕЛИЙ НА
НАДЕЖНОСТЬ В ПЕРЕМЕННОМ РЕЖИМЕ

Ключевые слова: выборка, надежность, закон распределения, математическое ожидание, дисперсия.

При проведении разрушающих экспериментов интерес представляет решение о том, как определить время работы некоторого изделия, если меняется условие проведения испытания. Фактически это означает, что надо проверить реализацию некоторой гипотезы. В данной работе с помощью метода математического моделирования оценивается возможность применения оценки надежности изделия, если одновременно невозможно наблюдать исследуемые параметры.

N.M. Chiganova
POSSIBILITY OF PRODUCTS TESTING FOR
RELIABILITY IN VARIABLE MODE

Keywords: sampling, reliability, distribution law, mathematical expectation, variance.

When conducting destructive experiments, it is of interest to decide how to determine the operating time of a certain product if the test condition changes. In fact, this means that it is necessary to check the implementation of some hypothesis. In this work, using the method of mathematical modeling, the possibility of applying an assessment of the reliability of a product is assessed if it is impossible to simultaneously observe the studied parameters

М.М. Аль Окаби, Ю.Н. Матвеев
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ГЛУБОКОГО
ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ В
ВИДЕОПОТОКЕ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТЕКЛОДРОТОВ

Ключевые слова: нейронные сети, глубокое обучение, сегментация, техническое зрение.

В работе рассмотрены вопросы автоматизации контроля качества производства стеклодротов на основе технологии машинного зрения и нейронных сетей глубокого обучения. Описана структура нейронной сети и алгоритм ее обучения. Предложен подход к формированию набора классификационных признаков, использующий статистические методы описания текстуры изображений.

M.M. Alaqabi, Y.N. Matveev
USING A DEEP LEARNING NEURAL NETWORK TO
DETECT DEFECTS IN THE VIDEO STREAM IN THE
PRODUCTION OF GLASSWORMS

Keywords: neural networks, deep learning, segmentation, technical vision.

The paper discusses the issues of automation of quality control of the glassworms production based on machine vision technology and deep learning neural networks. The structure of a neural network and an algorithm for its training are described. An approach to the formation of a set of classification features is proposed using statistical methods for describing the texture of images.

Т.Н. Караневская, А.Г. Шумихин
ОЦЕНКА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОБЪЕКТОВ
ПРОМЫСЛОВОЙ ПОДГОТОВКИ НЕФТИ КАЧЕСТВА
РЕГУЛИРОВАНИЯ ОБВОДНЕННОСТИ ТИПОВЫМИ
АВТОМАТИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Ключевые слова: промышленная подготовка нефти, технологический процесс обезвоживания, аналитическая и экспериментальная модели, автоматическое регулирование обводненности, проектирование.

В работе представлены результаты моделирования переходных процессов в системе регулирования обводненности с экспериментальной и аналитической передаточными функциями объекта промышленной подготовки нефти. Показана возможность конфигурирования системы управления подготовкой нефти аналитическим методом на базе принятых на этапе проектирования типовых средств автоматизации.

T.N. Karanevskaja, A.G. Shumikhin
ASSESSMENT OF THE QUALITY OF WATER CUT
CONTROL BY STANDARD AUTOMATIC SYSTEMS IN
THE DESIGN OF FIELD OIL TREATMENT FACILITIES

Keywords: oil field preparation, technological process of dehydration, analytical and experimental models, automatic adjustment of water content, design

The paper presents the results of modeling transients in the water cut control system with experimental and analytical transfer functions of the field oil treatment facility. The possibility of configuring the oil treatment management system by the analytical method on the basis of standard automation tools adopted at the design stage is shown.

О.Ю. Снегирев, И.Ж. Козенко, В.В. Попов
РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОГО ВИРТУАЛЬНОГО
АНАЛИЗАТОРА ДЛЯ МАССООБМЕННОГО
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Ключевые слова: адаптивный виртуальный анализатор, прогнозирование, массообменный технологический процесс.

Представлен метод разработки адаптивного виртуального анализатора показателя качества с использованием приращений входных переменных на примере установок первичной переработки нефти. Проведено сравнение разрабатываемого виртуального анализатора с адаптивным виртуальным анализатором по методу «движущегося окна» на основе фактических значений переменных. Показано преимущество адаптивного виртуального анализатора на основе приращений переменных по значению средней абсолютной ошибки.

O.Yu. Snegirev, I.Zh. Kozenko, V.V. Popov
DEVELOPMENT OF AN ADAPTIVE SOFT SENSOR FOR
MASS TRANSFER TECHNOLOGICAL PROCESS

Keywords: adaptive soft sensor, forecasting, mass exchange process.

A method for developing an adaptive soft sensor using increments of input variables on the example of primary oil refining plants is presented. The developed soft sensor is compared with an adaptive soft sensor using the "moving window" method based on the actual values of the variables. The advantage of an adaptive soft sensor based on the increments of variables by the value of the mean absolute error is shown.

О.Ю. Снегирев, И.Ж. Козенко, В.В. Попов
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ КЛАСТЕРИЗАЦИИ В
РАЗРАБОТКЕ АДАПТИВНЫХ ВИРТУАЛЬНЫХ
АНАЛИЗАТОРОВ ДЛЯ УСТАНОВКИ ПЕРВИЧНОЙ
ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ

Ключевые слова: виртуальный анализатор, адаптация, кластеризация, массообменный технологический процесс, оценка модели.

O.Yu. Snegirev, I.Zh. Kozenko, V.V. Popov
APPLICATION OF CLUSTERING METHODS IN THE
DEVELOPMENT OF ADAPTIVE SOFT SENSORS FOR A
PRIMARY OIL REFINING UNIT

Keywords: virtual analyzer, adaptation, clustering, mass exchange process, model evaluation.

This article presents a method for developing adaptive soft sensors using clustering methods to evaluate the output

В данной статье представлен метод разработки адаптивных виртуальных анализаторов с использованием методов кластеризации для оценки выходной переменной на примере установок первичной переработки нефти. В статье предложен и опробован на промышленных данных ансамблевый метод с использованием различных весовых функций.

А.Р. Фардеев, Ф.Д. Байрамов, Б.Ф. Байрамов, А.А. Фардеев
ВЫВОД УРАВНЕНИЯ, ОПИСЫВАЮЩЕГО РАБОТУ
НАСОСА МАНИПУЛЯТОРА ПРИ УПРАВЛЕНИИ ЕГО
РАБОЧИМ ОБЪЕМОМ

Ключевые слова: автоматизация технологических процессов, манипулятор, математическая модель, мощность, коэффициент полезного действия, давление, рабочий объем.

В данной статье составлена математическая модель работы манипулятора, используемого при автоматизации технологических процессов машиностроительных предприятий. Была прослежена цепочка преобразования полезной мощности, вырабатываемой насосом в полезную мощность гидродвигателей, а также учтены потери, возникающие при этом путём введения коэффициентов полезного действия. Полученное уравнение, описывающее работу манипулятора, было преобразовано в уравнение в относительных переменных и содержит относительные изменения давления и рабочего объёма насоса.

А.Р. Фардеев, Л.А. Феоктистова, Т.В. Рзаева, Р.Г. Марданшин
ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕАКЦИЙ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА
ПОДВИЖНЫЕ ЧАСТИ МОДУЛЕЙ ПОДВИЖНОСТИ СО
СТОРОНЫ НЕПОДВИЖНЫХ ЧАСТЕЙ МАНИПУЛЯТОРА

Ключевые слова: манипулятор, модуль подвижности, принцип Даламбера, реакция, математическая модель, объект управления.

В данной статье определены реакции, действующие на подвижные части модулей подвижности со стороны неподвижных частей манипулятора. Для этого использован принцип Даламбера: составлены уравнения равновесия для подвижных частей каждого из модулей подвижности с учетом сил инерции. Из полученных уравнений выражены реакции, которые понадобятся при составлении математической модели объекта управления автоматизированной системы регулирования рабочего объёма насоса манипулятора.

Т.В. Хрипко
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ
ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В
СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ КНР

Ключевые слова: технологии информационного моделирования, строительство, жизненный цикл объекта капитального строительства.

В работе представлены аналитический обзор применения технологий информационного моделирования объектов капитального строительства на примере КНР. В стране активно развивается применение технологий информационного моделирования, разрабатываются национальные стандарты и цифровые платформы для поддержки пилотных проектов. Пилотный проект по применению технологии BIM поможет продвижению этих технологий в изыскательских и проектных организациях, а также повысит конкурентоспособность всей строительной отрасли на мировом уровне.

С.Л. Сьянов, А.А. Антонов, И.В. Дорогина
СТРУКТУРИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОИСКА И РАССЫЛКИ
ИНФОРМАЦИИ С ИНТЕГРАЦИЕЙ В МЕССЕНДЖЕР

Ключевые слова: мессенджер, чат-бот, Telegram, BeautifulSoup4, AiogramFramework, парсинг.

В работе исследованы и описаны методы структуризации поиска, сбора и рассылки информации. А именно, методы реализации BeautifulSoup4, Aiogram framework, inline клавиатур

variable on the example of primary oil refining plants. In the article, an ensemble method using various weight functions is proposed and tested on industrial data.

A.R. Fardeev, F.D. Bairamov, B.F. Bairamov, A.A. Fardeev
THE DERIVATION OF AN EQUATION DESCRIBING THE
OPERATION OF A MANIPULATOR PUMP WHEN
CONTROLLING ITS WORKING VOLUME

Keywords: automation of technological processes, manipulator, mathematical model, power, efficiency, pressure, working volume.

This article focuses on the mathematical model of the work of manipulator, used in the automation of technological processes of machine-building enterprises, was made. The chain of transformation of the useful power generated by the pump into the useful power of hydraulic motors has been traced and the losses arising by introducing the coefficients of efficiency have been taken into account. The resulting equation describing the work of the manipulator has been transformed into an equation in relative variables and contains the relative changes of pressure and working volume of the pump.

A.R. Fardeev, L.A. Feoktistova, T.V. Rzaeva, R.G. Mardanshin
THE DETERMINATION OF REACTIONS ACTING ON
THE MOVING PARTS OF MOBILITY MODULES ON THE
SIDE OF THE STATIONARY PARTS OF THE
MANIPULATOR

Keywords: manipulator, mobility module, D'alambert principle, reaction, mathematical model, control object.

This paper focuses on the reactions acting on the moving parts of the mobility modules on the side of the stationary parts of the manipulator are determined. For this purpose, the D'alambert principle is used: equations of equilibrium for the moving parts of each of the sliding parts of each sliding module are made, taking into account the forces of inertia. From the obtained equations the reactions, which will be necessary when making a mathematical model of the control object of the automatic control system of the working volume of the manipulator's pump are expressed.

T.V. Khripko
RESEARCH OF APPLICATION OF INFORMATION
MODELING TECHNOLOGIES IN THE CONSTRUCTION
INDUSTRY OF KNR

Keywords: information modeling technologies, construction, life cycle of a capital construction object.

This paper presents an analytical review of the application of information modeling technologies for capital construction objects on the example of the PRC. The BIM Technology Pilot Project will help advance these technologies to survey and design organizations, as well as enhance the global competitiveness of the survey and design industry.

S.L. Syanov, A.A. Antonov, I.V. Dorogina
STRUCTURING THE PROCESS OF SEARCHING AND
SENDING INFORMATION WITH INTEGRATION INTO
THE MESSENGER

Keywords: messenger, chatbot, Telegram, BeautifulSoup4, Aiogram framework, parsing.

The paper considers and describes methods for structuring the search, collection and distribution of information. Namely,

и алгоритмы парсинга и формирования информации. Разработаны информационные Telegram боты по направлениям: музыка, книги, игры, новости.

methods for implementing BeautifulSoup4, Aiogram framework, inline keyboards, and algorithms for parsing and organization information. Information Telegram bots have been developed in the following areas: music, books, computer games, news.

С.В. Ерохин, С. В. Шашкин

ПРИМЕНЕНИЕ ЧИСЛЕННО-АНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В МОДЕЛИРОВАНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Ключевые слова: математическое моделирование, численный метод, строительные конструкции.

В работе приведен обзор и сравнение численно-аналитических методов, используемых при расчете строительных конструкций на прочность и устойчивость. Особое внимание уделено возможности реализации методов в программных комплексах.

S.V. Erokhin, S.V. Shashkin

APPLICATION OF NUMERICAL AND ANALYTICAL METHODS IN MODELING OF BUILDING STRUCTURES

Keywords: mathematical modeling, numerical method, building structures

The paper gives a review and comparison of numerical and analytical methods used in the calculation of building structures for strength and stability. Particular attention is paid to the possibility of implementing the methods in software packages.

А.Д. Зиганшин, Л.Ш. Ахтямова, И.З. Гатиятов,
Л.С. Сабитов, И.К. Киямов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ СООРУЖЕНИЙ БАШЕННОГО ТИПА

Ключевые слова: сооружение башенного типа, опора линии электропередачи, метод конечных элементов, компьютерное моделирование, теория прочности по Мизесу.

В данной статье рассматривается новая эффективная конструкция сооружения башенного типа (опоры линий электропередачи (ЛЭП), опоры ветроэлектрических установок (ВЭУ) и т.д.). Проводятся расчеты в программном комплексе, реализующие метод конечных элементов ANSYS с целью определения напряженно-деформированного состояния (НДС) и верификации результатов исследования с экспериментальными данными.

A.D. Ziganshin, L.Sh. Akhtyamova, I.G. Gatyatov,
L.S. Sabitov, I.K. Kyamov

DETERMINATION OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE STRUCTURE OF A TOWER-TYPE STRUCTURE

Keywords: tower-type structure, power line support, finite element method, computer modeling, Mises strength theory.

This article discusses a new efficient design of a tower-type structure (power transmission line supports, wind power plant supports, etc.). Calculations are performed in a software package that implements the ANSYS finite element method in order to determine the stress-strain state (VAT) and verify the results of the study with experimental data.

А.Д. Зиганшин, Л.Ш. Ахтямова, Л.С. Сабитов,
О.В. Радайкин, И.К. Киямов

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ СООРУЖЕНИЙ БАШЕННОГО ТИПА В ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСАХ ANSYS И ЛИРА-САПР

Ключевые слова: сооружение башенного типа, опора линии электропередачи, метод конечных элементов, компьютерное моделирование, теория прочности по Мизесу.

В данной статье рассматриваются новые эффективные конструкции сооружений башенного типа, к ним относятся башни сотовой связи, опоры линий электропередачи (ЛЭП), опоры ветроэлектрических установок (ВЭУ) и т.д. В зависимости от высоты и действующих нагрузок они изготавливаются из многогранных стержней, пространственных решеток. Проводятся расчеты в программных комплексах, реализующие метод конечных элементов (ANSYS и Лира-САПР) с целью определения напряженно-деформированного состояния (НДС) и сравнения этих двух типов конструкций для рационального их использования в зависимости от действующих нагрузок и условий эксплуатации [1].

A.D. Ziganshin, L.Sh. Akhtyamova, L.S. Sabitov,
O.V. Radaykin, I.K. Kyamov

NUMERICAL SIMULATION OF TOWER-TYPE STRUCTURES IN ANSYS AND LIRA-CAD SOFTWARE SYSTEMS

Keywords: tower-type structure, power line support, finite element method, computer modeling, Mises strength theory.

This article discusses new efficient structures of tower-type structures, including cellular communication towers, power transmission line supports, wind power plant supports, etc. Depending on the height and the operating loads, they are made of polyhedral rods, spatial lattices. Calculations are carried out in software packages that implement the finite element method (ANSYS and Lira-CAD) in order to determine the stress-strain state (VAT) and compare these two types of structures for their rational use, depending on the current loads and operating conditions [1].

Т.О. Корепапова, Е.А. Николаева

ДАТЧИКИ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ И МАССОВОЙ СКОРОСТИ НА РАЗРЕЗНОМ СТЕРЖНЕ ГОПКИНСОНА-КОЛЬСКОГО

Ключевые слова: разрезной стержень Гопкинсона-Кольского, высокоскоростное нагружение, оптический датчик, электромагнитный датчик.

В экспериментальных исследованиях по высокоскоростному деформированию материалов на разрезном стержне Гопкинсона-Кольского вместо тензодатчиков предлагается использовать оптический датчик перемещения и электромагнитный датчик массовой скорости.

T.O. Korepanova, E.A. Nikolaeva

OPTICAL DISPLACEMENT GAUGE AND ELECTROMAGNETIC MASS VELOCITY SPEED GAUGE ON A SPLIT HOPKINSON-KOLSKY PRESSURE BAR

Keywords: split Hopkinson-Kolsky pressure bar; high speed loading; optical displacement gage; electromagnetic mass velocity gage.

In experimental studies on high-rate deformation of materials on a split Hopkinson-Kolsky pressure bar, it is proposed to use an optical displacement gauge and an electromagnetic mass velocity gauge instead of strain gauges.

А.В. Лазарева, А.В. Дорошенко
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ
СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДА

Ключевые слова: математическое моделирование, имитационное моделирование, теплогидравлический режим, система теплоснабжения, оптимизация систем теплоснабжения.

Системы теплоснабжения занимают важное место в жизнедеятельности любого населенного пункта. Эффективное управление их функционированием имеет социально-экономическое значения для хозяйственной деятельности. В статье представлены результаты моделирования работы системы теплоснабжения города Южно-Сахалинска и анализ двух теплогидравлических режимов – для существующего и перспективного положения.

Ю.И. Фёдоров, В.Д. Павлидис
ОЦЕНКА ПРИРАЩЕНИЯ (ПАДЕНИЯ) СРЕДНЕОБЪЁМНОЙ
ПЛОТНОСТИ КИСЛОРОДА В ПОМЕЩЕНИЯХ ЗДАНИЙ В
ИНТЕГРАЛЬНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПОЖАРА
В НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ

Ключевые слова: опасный фактор пожара, интегральная математическая модель пожара в здании, оценка перепада плотности кислорода.

Для интегральной математической модели пожара в здании в начальной стадии найдены формулы приращения среднееобъемной плотности кислорода в окрестности начального момента времени и его оценки.

А.Г. Шляхова, А.Т. Шляхов, И.А. Мутугуллина,
О.А. Шипилова, М.Ю. Филимонова
ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЕЩЕСТВ:
ИННОВАЦИИ И ДОСТИЖЕНИЯ

Ключевые слова: термический анализ веществ (ТА), дифференциально - сканирующая калориметрия (ДСК), анизотропный термоэлемент, микровключения, чувствительность, патент, стоимость.

Разработан термический анализ (ТА), основанный на авторской дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК), сочетающей высокую чувствительность порог обнаруживаемой мощности 10^{-7} Вт с уникальным быстродействием 10^{-2} с. В качестве теплового сенсора применена батарея из анизотропных термоэлементов (АТЭ) из висмута. При термическом анализе арсенида галлия $m=1$ мг, приготовленного в виде порошка, зарегистрированы отклики при кристаллизации микровключений галлия на уровне $=0,15$ мкВт, что соответствует абсолютной и относительной чувствительности на уровне 10^{-10} г и 10^{-5} %, соответственно. Получен патент на изобретение. Оценена стоимость проекта.

А.А. Воробьева, И.Ю. Попов
ГЛОБАЛЬНЫЕ УГРОЗЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ И МОДЕЛЬ МЕЖДУНАРОДНОЙ КИБЕР
ПРЕСТУПНОСТИ

Ключевые слова: информационная безопасность, международная информационная безопасность, кибер преступность, кибер терроризм, кибер шпионаж, кибер война. В статье предложена концептуальная модель международной кибер преступности, позволяющая учитывать, как индивидуальные особенности субъекта атаки, так и его национальные особенности. Она позволяет оценить риски и степень угрозы для государства в целом и для определённых государственных информационных систем. Также в статье определены основные факторы, оказывающие влияние на вероятность возникновения атаки на государство и государственные информационные системы.

A.V. Lazareva A.V. Doroshenko
MODELING OF HEAT AND HYDRAULIC MODES OF
THE CITY HEAT SUPPLY SYSTEM

Keywords: mathematical modeling, simulation, thermal-hydraulic regime, heat supply system, optimization of heat supply systems.

Heat supply systems occupy an important place in the life of any settlement. Effective management of their functioning is of socio-economic importance for economic activity. The article presents the results of modeling the operation of the heat supply system of the city of Yuzhno-Sakhalinsk and an analysis of two thermohydraulic modes - for the current and future situation.

Y.I. Fedorov, V.D. Pavlidis
ESTIMATION OF THE INCREASE (DROP) OF THE
AVERAGE VOLUME DENSITY OF OXYGEN IN
BUILDING INDUSTRIES IN THE INTEGRAL
MATHEMATICAL MODEL OF A FIRE IN THE INITIAL
STAGE

Keywords: fire hazard factor, integral mathematical model of a fire in a building, estimation of the oxygen density difference For an integral mathematical model of a fire in a building at the initial stage, formulas for the increment of the average volume density of oxygen in the vicinity of the initial moment of time and its estimation are found.

A.G. Shlyakhova, A.T. Shlyakhov, I.A. Mutygullina,
O.A. Shipilova, M.Y. Filimonova
THERMAL ANALYSIS OF SUBSTANCES:
INNOVATIONS AND ACHIEVEMENTS

Keywords: thermal substance analysis (TA), differential-scanning calorimetry (DSC), anisotropic thermoelements (ATE), microinclusions, sensitivity, patent, cost.

There has been developed a thermal analysis (TA) based on deferentially – scanning calorimetry (DSC) combining high sensitivity of power detection threshold of 10^{-7} W with unique response speed 10^{-2} s. In the capacity of thermal sensors a battery from anisotropic thermal elements (ATE) of bismuth is used. While thermal analysis of gallium arsenide $m=1$ mg, prepared in powered form the dispersivity of which is 0,1mg there recorded feedbacks during solidification of gallium microinclusion on the level of $0,15$ μ W that is corresponding to absolute and relative sensitivity on the level of 10^{-10} g and 10^{-5} % consequently. Received a patent for the invention. Estimated project cost.

A.A. Vorobeveva, I.U. Popov
DETECTION OF NETWORK DISTRIBUTED ATTACKS
BASED ON THE GRADIENT BOOTING ALGORITHM

Keywords: information security, international information security, cyber crime, cyber terrorism, cyber espionage, cyber war.

The article provides an overview of the main threats to information security that are relevant to the entire world community: cyber crime, cyber terrorism, cyber wars and cyber espionage. A general model of international cyber crime is proposed, which makes it possible to take into account both the individual characteristics of the attacker and his national characteristics. Model allows to assess the risks and the level of threat for the state as a whole and for certain state information systems. The article also identifies the main factors that affect the probability of an attack on the state and state information systems.

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

№2 2021

Направления:

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

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

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

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

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

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

www.ntvp.ru

Реестровая запись от 08.05.2019 серия ПИ № ФС 77 -75732

Подписано в печать 27.02.2021 Формат А4. Печать цифровая.

Дата выхода в свет 27.02.2021

6,8 усл.печ.л. 8,9 уч.изд.л. Тираж 500 экз. Заказ 3250.

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»