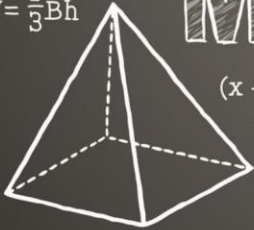




MATHEMATICS

$$V = \frac{1}{3}Bh$$



$$(x - 5)(x + 5) = 0$$

$$f(x) = 2x^3$$

$$2x + 3y = 14$$

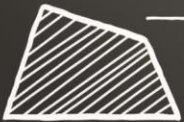
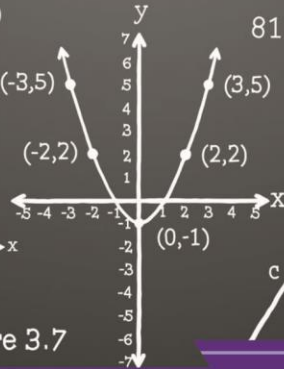
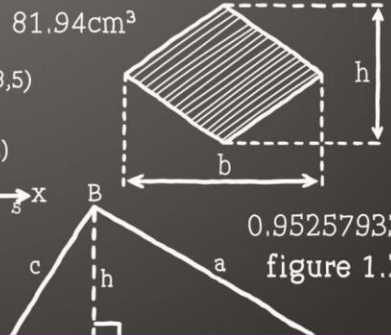


figure 3.7



$$81.94 \text{ cm}^3$$



0.95257933
figure 1.2

№ 1(11)

НАУЧНЫЙ ФОРУМ:
ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ



НАУЧНЫЙ ФОРУМ: ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО- МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

*Сборник статей по материалам XI международной
научно-практической конференции*

№ 1 (11)
Январь 2018 г.

Издается с декабря 2016 года

Москва
2018

УДК 51/53+62

ББК 22+3

НЗ4

Председатель редколлегии:

Лебедева Надежда Анатольевна – доктор философии в области культурологии, профессор философии Международной кадровой академии, г. Киев, член Евразийской Академии Телевидения и Радио.

Редакционная коллегия:

Ахмеднабиев Расул Магомедович – канд. техн. наук, доц. кафедры строительных материалов Полтавского инженерно-строительного института, Украина, г. Полтава;

Данилов Олег Сергеевич – канд. техн. наук, научный сотрудник Дальневосточного федерального университета;

Маршалов Олег Викторович – канд. техн. наук, начальник учебного отдела филиала ФГАОУ ВО "Южно-Уральский государственный университет" (НИУ), Россия, г. Златоуст.

НЗ4 Научный форум: Технические и физико-математические науки: сб. ст. по материалам XI междунар. науч.-практ. конф. – № 1 (11). – М.: Изд. «МЦНО», 2018. – 94 с.

ISSN 2541-8394

Сборник входит в систему РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) на платформе eLIBRARY.RU.

ISSN 2541-8394

ББК 22+3

© «МЦНО», 2018

Оглавление

Раздел 1. Технические науки	6
1.1. Инженерная геометрия и компьютерная графика	6
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ PYROSIM 2017 НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ Дорбышев Максим Георгиевич	6
1.2. Информатика, вычислительная техника и управление	11
РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИОТ-ТЕХНОЛОГИЙ Князев Виктор Николаевич Афанасьев Алексей Игоревич	11
АНАЛИЗ ПОДХОДОВ ОРГАНИЗАЦИИ ДИНАМИЧЕСКОЙ МИГРАЦИИ ВИРТУАЛЬНЫХ МАШИН Блошкин Александр Сергеевич Князев Виктор Николаевич	15
ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ КОМПЛЕКСОМ СРЕДСТВ ВОЗДУШНОЙ РАДИОНАВИГАЦИОННОЙ СЛУЖБЫ В УСЛОВИЯХ ПОМЕХОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В ОТСУТСТВИЕ ВОЗМУЩАЮЩИХ ФАКТОРОВ Вавулов Олег Юрьевич	22
1.3. Машиностроение и машиноведение	29
ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВИБРАЦИОННОГО МЕХАНИЗМА УЗЛА ПРИЕМА ГОТОВОЙ ГАЗЕТНОЙ ПРОДУКЦИИ ОФСЕТНОЙ РУЛОННОЙ МАШИНЫ Новоселов Валерий Павлович Кузнецов Владимир Иванович	29
1.4. Металлургия и материаловедение	34
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО СПЛАВА AL0.5MO0.5NBTA0.5TI1.5ZR Юрченко Никита Юрьевич	34

ВЫБОР РЕЖИМА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДИСКОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ КОЛЕС ИЗ ДОЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА 40

Богданова Татьяна Александровна

Вааг Мария Валерьевна

Меркулова Галина Александровна

Кудрявых Алёна Анатольевна

Федякина Изабелла Константиновна

Горев Анатолий Александрович

Богданов Александр Юрьевич

1.5. Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы 47

МЕТОДИКИ И ОБОРУДОВАНИЕ ИСПЫТАНИЯ РЕЗИНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ НА СЖАТИЕ 47

Беляев Вячеслав Вячеславович

Моделирование биморфного дискового пьезогенератора методом конечных элементов 51

Гончарова Надежда Александровна

Спирина Ольга Андреевна

1.6. Строительство и архитектура 56

ПРЕИМУЩЕСТВА СБОРНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПАРКОВОК В Г. САМАРА 56

Гаврилова Наталья Александровна

Синюгина Елена Александровна

1.7. Технология материалов и изделий текстильной и легкой промышленности 61

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОДЕЖДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНСТРУКТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И АЛГОРИТМ МОДЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ БАЗОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ 61

Темиршиков Кудрат Мамиршикович

Сабырханова Салтанат Шалхарбаевна

Мирзамуратова Роза Шамуратовна

Нурсейтова Миращ Конарбаевна

1.8. Энергетика	66
РАЗВИТИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ. АНАЛИЗ РАБОТ ПО РАЗРАБОТКЕ ВЕТРОВЫХ КОНЦЕНТРАТОРОВ, ДИФфуЗОРОВ, КОНфуЗОРОВ	66
Милютин Алексей Юрьевич Уан Роман Анатольевич Готфрид Павел Андреевич	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕЖОЧИСТНОГО ПЕРИОДА ДЕПАРАФИНИЗАЦИИ СКВАЖИН ПО ПОКАЗАТЕЛЮ ПРЕЛОМЛЕНИЯ НЕФТИ	72
Сметанина Екатерина Владимировна	
Раздел 2. Математика	76
2.1. Дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление	76
ГРАНИЧНОЕ ИНТЕГРАЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПОЛИГАРМОНИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ	76
Казакова Анастасия Олеговна	
Раздел 3. Механика	88
3.1. Механика жидкости, газа и плазмы	88
ИННОВАЦИОННЫЕ СПОСОБЫ УДАЛЕНИЯ ФОСФАТОВ ИЗ СТОЧНЫХ ВОД	88
Ченский Илья Александрович Рыбников Сергей Сергеевич	

РАЗДЕЛ 1.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

1.1. ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОМЕТРИЯ И КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ PYROSIM 2017 НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Дорбышев Максим Георгиевич

*магистрант,
Воронежский институт – филиал Ивановской
пожарно-спасательной Академии ГПС МЧС России,
РФ, г. Иваново*

APPLICATION OF METHODS OF COMPUTER-AIDED DESIGN IN THE SOFTWARE ENVIRONMENT OF PYROSIM 2017 IN AN INDUSTRIAL ENTERPRISE

Maxim Dorbyshev

*Master,
Voronezh Institute - branch of the Ivanovo Fire and Rescue Academy
of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Measures of Russia,
Russia, Ivanovo*

Аннотация. Анализ полученных результатов решения математической модели. Компьютерное проектирование. Проанализировано состояние решаемой модели на каждом этапе развития пожара.

Abstract. Analysis of the results of solving a mathematical model. Computer designing. The state of the solved model is analyzed at each stage of the fire development.

Ключевые слова: модель; FDS; PyroSim; оксид этилена; пожар; уравнение Навье-Стокса.

Keywords: model; FDS; PyroSim; ethylene oxide; fire; Navier-Stokes equation.

При современном развитии программного обеспечения и вычислительных возможностей технических средств математическое моделирование является одним из способов прогнозирования процессов и принятия решений в условиях пожара.

В работе рассмотрено моделирование пожара на складе готовой продукции в программной среде PyroSim 2017.

Актуальность поставленной задачи состоит в необходимости точного определения процессов происходящих на каждом этапе развития пожара, для последующего верного принятия управленческих решений.

Целью является анализ полученных результатов решения математической модели при заданных начальных граничных условиях.

PyroSim позволяет выполнить моделирование распространения опасных факторов пожара по математической модели, построить поля опасных факторов и определить время блокирования путей эвакуации. Математическая модель соответствует «Методике определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности», а также «Методике определения расчетных величин пожарного риска на промышленных объектах» [2, 3, 4].

При моделировании использовались следующие граничные условия:

- время действия 300 секунд;
- основание пола - несгораемые бетонные конструкции;
- наполняемость склада готовой продукцией 100 %;
- состав готовой продукции – картонные коробки заполненные медицинскими изделиями;
- стены корпуса – металлические без утепления;
- внешняя среда – температура 20⁰С, нормальное давление, скорость ветра 4,0 м/с, скорость вытяжки 6,0 м/с, помещение заполнено 10 % оксида этилена C₂H₄O. (Рисунок 1).

Оксид этилена является сильным ядом для большинства известных микроорганизмов поэтому он используется для газовой стерилизации медицинских изделий.

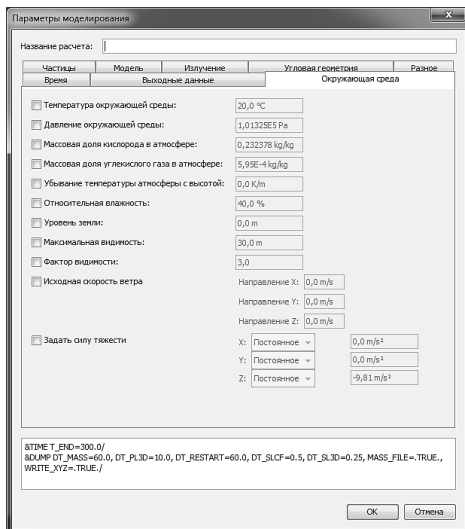


Рисунок 1. Задание граничных условий внешней среды

Оксид этилена - органическое химическое гетероциклическое вещество, химическая формула C_2H_4O . При нормальных условиях — бесцветный газ с характерным сладковатым запахом (Рисунок 2.).

Благодаря особенностям структуры молекулы, оксид этилена легко вступает в реакции присоединения с раскрытием гетероцикла и поэтому даже малая концентрация паров в воздухе является взрывопожароопасной [1].

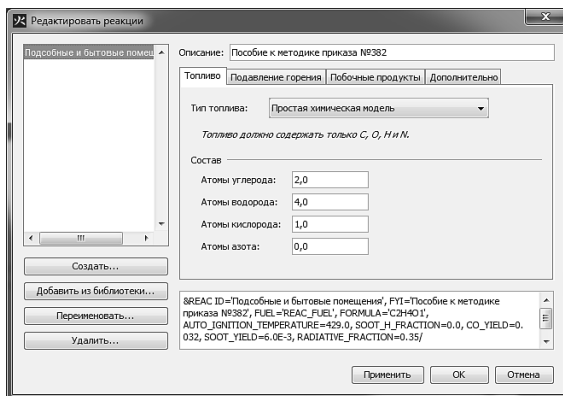


Рисунок 2. Описание граничных условий оксида этилена C_2H_4O

Помещение склада готовой продукции общей площадью 724,0 м², наружные стены, кровля, ворота и двери металлические. Утепление стен отсутствует.

При построении математической модели использовались стандартные средства создания трехмерных объектов PyroSim 2017. (Рисунок 3).

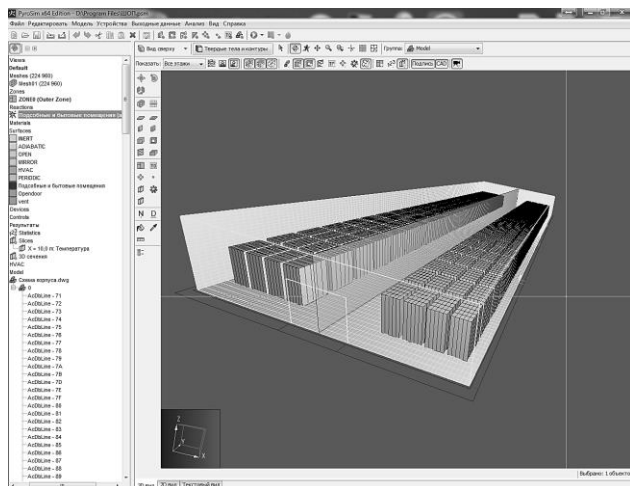


Рисунок 3. Математическая модель склада готовой продукции

При расчете опасных факторов пожара применяется программа FDS (Fire Dynamics Simulator) которая реализует вычислительную гидродинамическую модель теплопереноса при горении. FDS численно решает уравнения Навье-Стокса для низкоскоростных температурно-зависимых потоков, особое внимание уделяется распространению дыма и теплопередаче при пожаре [5] (Рис.4.), которое имеет вид:

$$\rho \left(\frac{d\vec{v}}{dt} + (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} \right) = -\nabla p + \mu \Delta \vec{v} + (\vartheta + \frac{\mu}{3}) \nabla \text{div} \vec{v} \quad (1),$$

где: μ – коэффициент динамической вязкости (сдвиговая вязкость),
 ϑ – объемная вязкость.

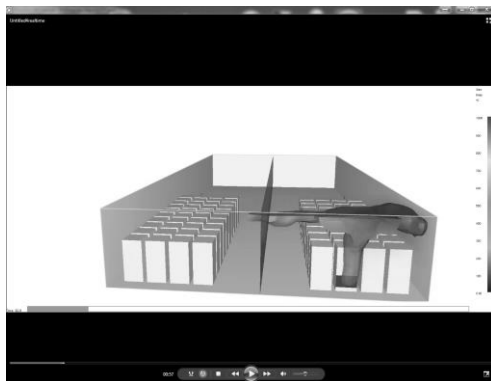


Рисунок 4. Результаты расчета в программной среде PyroSim 2017

Выводы. Получено решение математической модели при заданных граничных условиях результаты математического моделирования проведенные в программной среде PyroSim 2017, показывают, что при наличии оксида этилена на 82 секунде развития пожара происходит резкое увеличение скорости реакции горения и выброса вещества в атмосферу.

Список литературы:

1. Этилена окись // Большая советская энциклопедия: [в 30 т.] / гл. ред. А.М. Прохоров. – 3-е изд. - М.: Советская энциклопедия, 1969-1978.
2. Приказ МЧС России № 382 от 30.09.2009 «Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности».
3. Приказ МЧС России № 404 от 10.07.2009 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах».
4. <https://pyrosim.ru/polevaya-model-pozhara>.
5. <http://fds.sitis.ru>.

1.2. ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИОТ-ТЕХНОЛОГИЙ

Князев Виктор Николаевич

*канд. техн. наук, доцент,
Пензенский государственный университет,
РФ, г. Пенза*

Афанасьев Алексей Игоревич

*магистрант, Пензенский государственный университет,
РФ, г. Пенза*

AUTOMATION CONTROL SYSTEMS DEVELOPMENT ON THE BASIS OF IOT TECHNOLOGIES

Viktor Knyazev

*can. tech. Sci., Associate Professor, Penza State University,
Russia, Penza*

Alexey Afanas'ev

*master student, Penza State University,
Russia, Penza*

Аннотация. В данной статье рассматривается необходимость в использовании дополнительных каналов связи, в беспроводном взаимодействии электронных устройств, в системах «Умный дом», для обеспечения гарантированного информационного обмена.

Abstract. This article discusses the need to use additional communication channels, wireless connection of electronic devices in systems of "Smart house" to guarantee information exchange.

Ключевые слова: умный дом; беспроводное взаимодействие; автоматизация систем управления; Wi-fi; Bluetooth; GSM; GPRS; IoT-технология.

Keywords: smart home; wireless communication; automation control systems; Wi-fi; Bluetooth; GSM; GPRS; IoT-technology.

"Интернет вещей" ("Internet of Things" - IoT) представляет собой научную концепцию, определяющую способы взаимодействия различных физических объектов, устройств и систем между собой и с окружающей внешней средой с применением различных технологий связи и стандартов соединения. В настоящее время все более широкую популярность приобретают решения, основанные на принципах технологии IoT для систем управления различного назначения [1-4].

Такие системы служат для сбора информации с датчиков, обработки данных, управления исполняемыми устройствами, передачи различных сигналов и т. п. Важным и перспективным направлением для IoT-технологий является их применение для систем по типу "Умный дом" [5-6].

Вопрос, касающийся беспроводного взаимодействия электронных устройств, в таких системах как «Умный дом» очень важен. Использование беспроводных технологий упрощает жизнь разработчикам и пользователям. Нет необходимости протягивать провода, и использовать дорогостоящее коммутационное оборудование, при перемещении подсистемы из одного места в другое нет необходимости перекладывать проводные соединения. Реализация проводного соединения остается только там, где требуется очень высокая скорость передачи данных.

Спрос на системы "Умный дом" все более возрастает, поскольку в рамках системы "Умный дом" набор домашних устройств способен выполнять различные действия и решать определенные задачи даже без участия человека. С внедрением в вычислительные устройства интерфейсов беспроводной связи эти полезные приборы становятся еще более удобными и функциональными.

Ключевое значение для систем "Умный дом" имеет использование Wi-Fi-соединений [7-8]. Однако, существуют причины, негативно влияющие на качество сигнала WiFi, и качество связи между устройствами может ухудшиться или прерваться, например, при ремонте, установке новой техники, неправильной настройке и эксплуатации роутера и т. д.

Чтобы избежать потерю сигнала, и обеспечить гарантированный способ доставки сообщения (данных) требуется иная аппаратная реализация информационного взаимодействия устройств системы.

Представляется целесообразным задействовать и другие способы беспроводной передачи данных, такие, как Bluetooth, GSM/GPRS, радиоканалы [9-10].

С учетом указанных способов передачи данных предлагается следующая структура автоматизированной системы управления, представленная на рисунке 1.

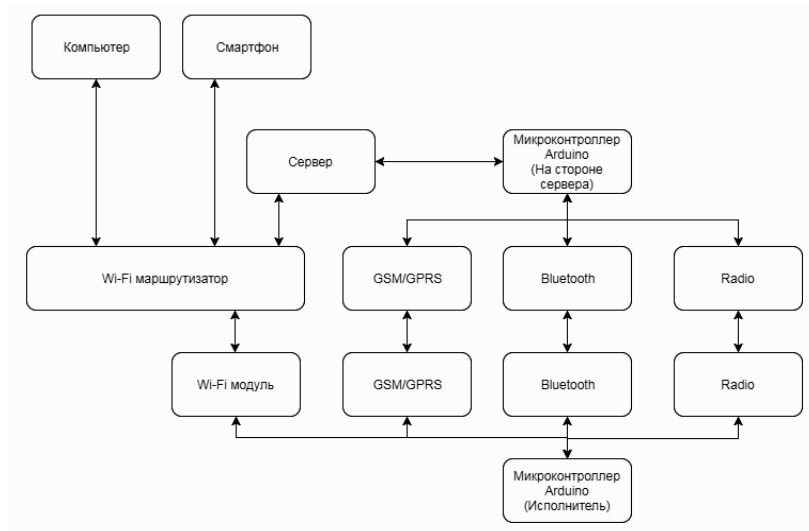


Рисунок 1. Структура автоматизированной системы управления

В процессе работы производится формирование и шифрование данных по улучшенному алгоритму на стороне сервера, после чего зашифрованные данные подаются в один из четырех каналов связи, заранее проранжированных по скорости передачи. Исполнитель (приемник), получив сообщение, дешифрует его и отправляет ответное сообщение. В случае если ответ со стороны приемника не доходит до сервера или время передачи превышает заданное значение, то сервер сформированное зашифрованное сообщение подает в следующий канал связи, и так до тех пор, пока не будут перебраны все возможные каналы связи.

Для реализации сервера будет использоваться настольный персональный компьютер с предустановленной операционной системой Ubuntu Linux [11-12].

В качестве исполнителя команд будет использован микроконтроллер Mega328P обоснованный на отладочной плате Arduino Uno.

Для реализации канала связи по Wi-fi будет использован микроконтроллер ESP-ESP8266 [13-14].

Для реализации канала связи по Bluetooth будет использован микроконтроллер HC-06.

Для реализации канала связи по GSM/GPRS будет использован микроконтроллер SIM800L.

Для реализации канала связи по Radio будет использован беспроводной маломощный приемопередатчик.

В настоящее время на основе предлагаемого подхода организации работы автоматизированной системы управления с применением различных по типу каналов связи для повышения надежности и безопасности передачи данных проводится разработка программного обеспечения сервера и микроконтроллеров.

Список литературы:

1. Грингард С. Интернет вещей: Будущее уже здесь. / С. Грингард. - М.: Издательство "Альпина Паблишер", 2016. - 188 с.
2. Hersent O. The Internet of Things: Key Applications and Protocols / Olivier Hersent, David Boswarthick, Omar Elloumi. - Великобритания: Издательство "Wiley", 2012. - 370 с.
3. Князев В.Н. Разработка автоматизированной беспроводной системы управления IoT- устройствами с использованием модели информационного обмена «Издатель-подписчик» / В.Н.Князев, А.И. Жиганов // Сборник научных работ VI Международного конкурса: Молодежь в науке: Новые аргументы. - Липецк, Научное партнерство "Аргумент", 2017. - с. 85-87.
4. Жиганов А.И. Разработка автоматизированной беспроводной системы управления IoT-устройствами с использованием микроконтроллера ESP8266 и модели информационного обмена «Издатель-подписчик» / А.И. Жиганов, П.В. Кожевников, В.Н. Князев // Сборник научных статей IV Ежегодной межвузовской научно-практической конференции: Информационные технологии в науке и образовании. Проблемы и перспективы. - Пенза, Издательство ПГУ, 2017. – с. 146-148.
5. Тесля Е. "Умный дом" своими руками. Строим интеллектуальную цифровую систему в своей квартире / Е. Тесля. – СПб: Питер, 2008. – 224 с.
6. Танаджян Е.А. Интеллектуальные системы автоматизации "Умный дом" / Е.А. Танаджян, Д.Ю. Холодилин, Д.Е. Кривобоков // Ползуновский альманах Виртуальные и интеллектуальные системы. № 1– Барнаул: Изд-во АГТУ им. И.И. Ползунова, 2014. – с. 195-197.
7. Пролетарский А.В. Беспроводные сети Wi-Fi / А.В. Пролетарский, И.В. Баскаков, Д.Н. Чирков. – М: Изд-во БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 178 с.
8. Пролетарский А.В. Беспроводные сети Wi-Fi / А.В. Пролетарский, И.В. Баскаков, Р.А. Федотов и др. – М: НОУ "ИНТУИТ", 2016. – 285 с.

9. Масич Г.Ф. Сети передачи данных / Г.Ф. Масич. – Пермь: Изд-во ПермИПУ, 2014. – 192 с.
10. Беделл, Пол Сети. Беспроводные технологии / Пол Беделл. – М.: НТ Пресс, 2008. – 448 с.
11. Колесниченко Д. Ubuntu Linux Краткое руководство пользователя / Д. Колесниченко. – М.: БХВ-Петербург, 2007. – 304 с.
12. Колесниченко Д. Linux. От новичка к профессионалу / Д. Колесниченко. – М.: БХВ-Петербург, 2010. – 780 с.
13. Худяков С.В. Использование микроконтроллера ESP8266 01. Программирование с помощью Arduino IDE. / С.В. Худяков, С.Г. Самохвалова. – Постулат, № 12, 2016. - URL: <http://e-postulat.ru/index.php/Postulat/article/view/249> (Дата обращения: 10.01.18).
14. Шварц Марко Электроника. Интернет вещей с ESP8266 / Марко Шварц. – М.: BHV, 2018. – 192 с.

АНАЛИЗ ПОДХОДОВ ОРГАНИЗАЦИИ ДИНАМИЧЕСКОЙ МИГРАЦИИ ВИРТУАЛЬНЫХ МАШИН

Блошкин Александр Сергеевич

*студент,
Пензенский Государственный университет,
РФ, г. Пенза*

Князев Виктор Николаевич

*канд. техн. наук, доцент,
Пензенский Государственный университет,
РФ, г. Пенза*

ANALYSIS OF APPROACHES TO THE ORGANIZATION OF DYNAMIC MIGRATING VIRTUAL MACHINES

Aleksandr Bloshkin

*student of Penza State University,
Russia, Penza*

Viktor Knyazev

*Candidate of Engineering Sciences, assistant professor
in Penza State University,
Russia, Penza*

Аннотация. В настоящий момент большое количество информационных технологий включают в себя технологию виртуализации. Эта достаточно новая технология еще не полностью изучена и не решены некоторые проблемы ее применения. Одна из таких проблем это проблема выбора корректного алгоритма динамической миграции. В данной статье рассматриваются возможные варианты решения этой проблемы.

Abstract. At the moment, a large number of information technologies include virtualization technology. This fairly new technology has not yet been fully studied and some problems of its application have not been solved. One of these problems is the problem of choosing the correct algorithm for dynamic migration. This article looks at possible solutions to this problem.

Ключевые слова: виртуализация; виртуальные машины; динамическая миграция; системы управления виртуальными машинами.

Keywords: virtualization; virtual machines; dynamic migration; virtual machine management systems.

Виртуальные машины в настоящее время демонстрируют интенсивное развитие и широкое применение, что объясняется двумя основными причинами: появлением большого числа разных операционных систем (ОС), предъявляющих специфические требования к параметрам используемых аппаратных компонентов компьютера и большими затратами на администрирование и сложностью обслуживания компьютеров, на которых установлено несколько различных операционных систем (в том числе в плане обеспечения требуемой надежности и безопасности работы) [1].

Виртуализация представляет собой набор вычислительных ресурсов, который отделен от аппаратной реализации и который предоставляет возможность логически изолировать друг от друга вычислительные процессы, выполняемые на одном физическом ресурсе. Чаще всего виртуализация встречается в виде виртуальных машин, которые позволяют осуществить параллельный запуск нескольких операционных систем на одной физической машине в рамках одной родительской операционной системы, называемой

гипервизором [2]. Применение такого рода виртуализации позволяет решать задачи различного рода. Виртуальные машины могут использоваться для защиты или разделения информации, исследования производительности программного обеспечения, оптимизации использования ресурсов мейнфреймов или для упрощения управления кластерами [3].

При виртуализации операционная система внутри виртуальной среды, – гостевая ОС (рис. 1) – будет полагать, что в ее распоряжении имеется вся полнота назначенного ресурса. Но прозрачно для нее виртуализационное программное обеспечение – монитор виртуальной машины или гипервизор (рис. 1) - может изменять объем выделенного ресурса. Этот процесс называется мультиплексированием или виртуализацией ресурса. Хорошей аналогией здесь являются процессы, исполняющиеся в системе. Прозрачно для них ОС распределяет память, вычислительную мощность и пропускную способность сети в соответствии с квотами и фактическими потребностями. Так и гипервизор управляет виртуальными машинами (под виртуальной машиной подразумевается комплекс из гостевой ОС, виртуальной среды исполнения и монитора виртуальной машины, рис. 1), перераспределяя ресурсы в соответствии с их реальным потреблением [4].

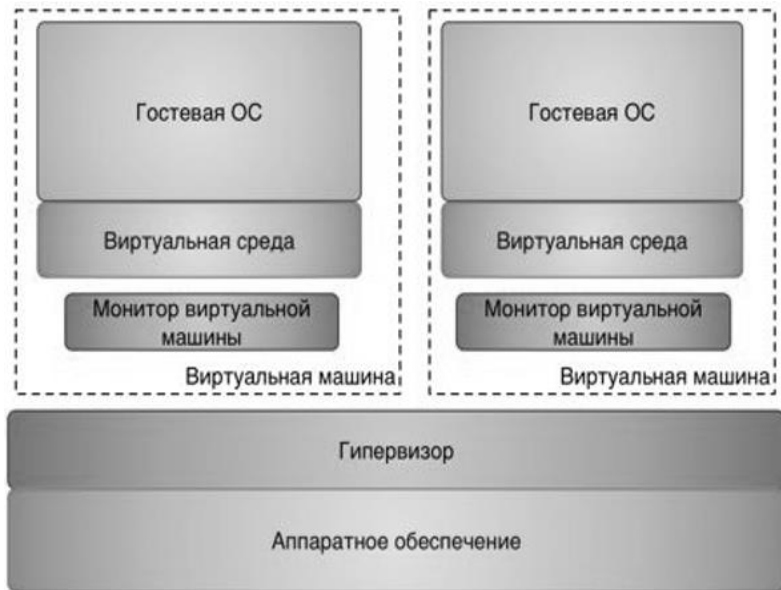


Рисунок 1. Виртуальная машина

Существует ряд программных средств для управления виртуальными машинами [1].

Один из самых популярных продуктов – набор программных средств для виртуализации от компании VMware. Эти средства позволяют осуществлять серверную виртуализацию при помощи различных компонентов, таких как: VMware vSphere - платформа для виртуализации ИТ-инфраструктуры предприятия, VMware Server – это программное обеспечение, позволяющее не только создавать и запускать виртуальные машины, а также использовать возможности создания снимков (snapshot), но и удалённо управлять ими. Также существует набор приложений для персональных компьютеров, в их числе: VMware Workstation - позволяет создавать и запускать одновременно несколько виртуальных машин (x86-архитектуры), в каждой из которых работает своя гостевая операционная система, VMware Player - бесплатный (для личного некоммерческого использования) программный продукт, предназначенный для создания (начиная с версии 3.0) и запуска готовых виртуальных машин.

Virtual Box – программный продукт виртуализации, имеющий ряд существенных отличий от продуктов компании VMware. В число этих отличий можно отнести возможность поддержки USB 2.0, что позволяет устройствам хост-машины быть доступными для гостевых операционных систем, а также поддержка 64-битных гостевых систем даже на 32-битных системах. Базовая версия программного продукта полностью открыта по лицензии GNU GPL, что позволяет использовать данное ПО без каких-либо ограничений.

Первая версия продукта Microsoft Hyper-V была выпущена в 2008 году на замену устаревшему на тот момент Virtual PC. Данный продукт представлял из себя модуль операционной системы Windows Server. Архитектура системы выглядела следующим образом: между операционной системой и оборудованием вводится слой гипервизора, так же имеется отдельная операционная система, предназначенная для управления гипервизором и имеющая больше привилегий по сравнению со всеми остальными [5].

Одним из самых перспективных направлений развития виртуализации является направление так называемой динамической миграции виртуальных машин. Динамическая миграция позволяет в реальном времени осуществить перемещение виртуальной машины между различными физическими машинами, соединенными между собой по сети. Динамическая миграция становится заметной технологией для эффективной балансировки загрузки и оптимизации развертывания виртуальных машин на физических узлах в центрах обработки данных.

До появления динамической миграции использовалась так называемая сетевая миграция, которая требовала для перемещения виртуальной машины полной её остановки во время копирования на другой физический сервер, что приводило к временной недоступности сервиса. Динамическая миграция позволяет решить эту проблему за счет создания снимка виртуальной машины и передачи его на другую физическую машину в фоновом режиме. Благодаря такому способу работы, задержка работы сервиса составляет несколько секунд, требуемых для развертывания снимка [6].

Для эффективного использования метода динамической миграции необходимо решить основные проблемы, связанные с динамической миграцией.

Существуют ситуации, когда текущее местоположение виртуальной машины перестает удовлетворять необходимым требованиям для его использования. При этом необходимо учитывать несколько параметров, таких как физическая топология, потребляемый трафик, продолжительность миграции, непрерывность работы сервиса и т. д.

Процесс динамической миграции потребляет различные виды ресурсов, такие как процессорное время, диск, а так же трафик на пути от исходной до целевой машины.

Основная задача миграции – позволить виртуальным машинам быть перенесёнными в соответствии со спросом на их услуги. Одна из главных проблем заключается в том, как обеспечить постоянную доступность услуг, которые предлагает виртуальная машина. Основным параметром является время миграции, которое в первую очередь зависит от размера виртуальной машины и производительности глобальной сети. Производительность является постоянно меняющимся параметром, ухудшение которого вызывает серьезные опасения относительно возможности осуществления быстрой и надежной динамической миграции на другой узел. Решением в данном случае может являться выделенная линия для динамической миграции. Тем не менее, не всегда можно гарантировать такие линии между удаленными узлами. Считается, что методы динамической миграции должны быть приспособлены для глобальной сети.

Другой вопрос, который возникает из-за миграции – это новые уязвимости безопасности, которые могут использоваться злоумышленниками, что особенно актуально для операционной системы специального назначения. Уязвимости могут быть выявлены на трех различных уровнях: уровень модуля данных, который должен быть защищен от возможности пользователям получать полный доступ к мигрирующей виртуальной машине; уровень планирования данных, когда миграция требует перенос памяти и содержимого дисков через

несколько машин и сетей; уровень планирования управления, когда злоумышленники используют ложные команды, которые вызывают перенос виртуальной машины в нежелательные места.

В ближайшем будущем количество виртуальных машин, размещенных в центрах обработки данных, значительно возрастет, что приведет к увеличению сложности управления. Должны быть учтены многие противоречивые задачи и требования, связанные с производительностью и потреблением энергии. Поиск масштабируемого решения, которое позволит определять эффективные стратегии управления решениями о миграции является проблемой, которая требует дальнейшего изучения. Необходимы автоматизированные методы управления миграцией для устранения сложности и проблем масштабируемости. Кроме того, схемы управления должны также учитывать вопрос о реорганизации элементов сети (например, межсетевые экраны, таблицы маршрутизации) после миграции виртуальных машин [7].

Проблематика динамической миграции виртуальных машин также заключается в выборе подхода к определению необходимости осуществления миграции какой-либо виртуальной машины. Рассмотрим несколько подходов к решению данной проблемы.

Первый подход заключается в том, что управление кластером виртуальных машин и их распределение между машинами-хостами осуществляется администратором кластера, обладающим уникальным правом на осуществление миграции. К преимуществам такого подхода можно отнести централизованность всей системы, а так же её относительная безопасность, так как управление всей системой сосредоточено в руках одного человека. Минусами такого подхода можно назвать неполную информированность о состоянии системы всех её узлов. Вероятна ситуация, когда динамическая миграция между узлами будет осуществлена в момент осуществления какого-либо действия с виртуальной машиной оператором или иным участником системы. В таком случае управление системой становится неэффективным.

Второй способ подразумевает отказ от роли администратора при принятии решения о динамической миграции. Решение в данном случае принимают только источник и приемник миграции. В случае необходимости источник миграции при помощи пользователя или в автоматическом режиме подает запрос на миграцию потенциальному приемнику. Миграция в таком случае будет осуществлена только при согласии обоих участников операции на ее осуществление. Такой подход позволяет устранить минусы предыдущего подхода, так как миграция будет осуществляться только при подтверждении каждого из участников.

Однако подобная децентрализация является также и минусом данного подхода, так как не всегда является необходимым участие в принятии решения о миграции источника и приемника миграции, например, в случаях, когда виртуальные машины работают в автономном режиме, выполняя задачи сервера или подобные.

Одним из вариантов устранения минусов данных подходов является применение комбинированного подхода, который собирает в себе признаки первого и второго подходов. Динамическая миграция при таком подходе осуществляется за счет «голосования» каждого из участников системы о необходимости миграции. Источник миграции может подать запрос на осуществление миграции приемнику, приемник может либо дать согласие, либо отказать в миграции. «Решающим голосом» в данной цепочке обладает администратор кластера виртуальных машин, который может принудительно осуществить динамическую миграцию или дать отказ на ее осуществление. Данный подход может быть широко применим для решения различных задач, в которых используется динамическая миграция, в числе которых как управляемые пользователем системы, так и системы, работающие в полностью автоматическом режиме.

Список литературы:

1. Гулятьев А.К. Виртуальные машины. Несколько компьютеров в одном / А.К. Гулятьев. - СПб: Питер, 2006. – 224 с.
2. Пярн А.В. Разработка и реализация инфраструктуры виртуальных полигонов на базе технологий облачных вычислений: магистерская диссертация / А.В. Пярн. - М: МГУ им М.В.Ломоносова, 2013. – 74 с.
3. Гилев В.М. Использование виртуальных машин в образовательном процессе профессионально-педагогического вуза: магистерская диссертация / В.М. Гилев. - Екатеринбург: РГППУ, 2016. – 117 с.
4. Мелехова А.Л. Управление физической памятью виртуальной машины: диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. / А.Л. Мелехова. - М: МФТИ(ГУ), 2015. – 105 с.
5. Пашенко А.А. Миграция виртуальных машин в вычислительном облаке: дипломная работа / А.А. Пашенко Томск: ТГУ, 2010. – 53 с.
6. Алексанков С.М. Модели динамической миграции с итеративным подходом и сетевой миграции виртуальных машин / С.М. Алексанков // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, 2015, том 15, № 6. – с. 1098-1104.
7. Чернова Е.В. Анализ основных проблем миграции виртуальных машин / Е.В. Чернова, П.Н. Полежаев // Перспективные информационные технологии: труды Международной научно-технической конференции. - Самара, Издательство СВУ, 2017. – с. 484-488.

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ КОМПЛЕКСОМ СРЕДСТВ ВОЗДУШНОЙ РАДИОНАВИГАЦИОННОЙ СЛУЖБЫ В УСЛОВИЯХ ПОМЕХОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В ОТСУТСТВИЕ ВОЗМУЩАЮЩИХ ФАКТОРОВ

Вавулов Олег Юрьевич

*аспирант,
«Российский научно-технический центр
информации по стандартизации, метрологии
и оценке соответствия» – ФГУП «Стандартинформ»,
РФ, г. Москва*

OPTIMAL CONTROL TECHNICAL COMPLEX OF AERONAUTICAL RADIONAVIGATION SERVICE IN CONDITIONS OF DESTRUCTIVE INTERFERENCE IN THE ABSENCE OF DISTURBING FACTORS

Oleg Vavulov

*postgraduate Student,
Russian Scientific-Technical Information Centre
for Standardization, Metrology And Conformity
Assessment – STANDARTINFORM,
Russia, Moscow*

Аннотация. При развёртывании и модернизации перспективных сетей мобильной связи важно обеспечить их электромагнитную совместимость с комплексом средств воздушной радионавигационной службы. В работе проведен анализ решения задачи оптимального управления техническим комплексом в целевой области, основанной на энтропии покрытия.

Abstract. In deploying and upgrading promising mobile communication networks, it is important to ensure their electromagnetic compatibility with the aeronautical radionavigation service complex. The analysis of the solution of the problem of optimal control of a technical complex in the information space is set by means of the covering entropy is carried out.

Ключевые слова: мобильная связь; воздушная радионавигационная служба; электромагнитная совместимость; оптимальное управление; энтропия покрытия.

Keywords: mobile telecommunication; aeronautical radionavigation service; electromagnetic compatibility; optimal control; covering entropy.

Основным руководящим документом в области обеспечения электромагнитной совместимости станций различных служб электро-связи является Регламент радиосвязи, в котором устанавливаются определённые ограничения на использование радиочастотного спектра. Однако, согласно [1] в ряде случаев один и тот же частотный интервал оказывается распределён одновременно как сухопутной подвижной службе (СПС), так и воздушной радионавигационной службе (ВРНС).

Для анализа состояния комплекса средств (КС) ВРНС в условиях помех от СПС можно применить информационный подход [2], основанный на использовании информационной меры – энтропии покрытия (А.В. Сухова). Энтропия покрытия H_{Π} в обобщённой форме характеризует степень соответствия/несоответствия реальных характеристик системы их нормативным значениям [3, 4, 5]. На основе указанного подхода была построена информационная модель сферы отношений ВРНС, для которой был определён алгоритм решения задачи оптимального управления [6].

Приведём результаты применения алгоритма для планирования управления КС ВРНС в условиях умеренного противодействия ВРНС и СПС при незначительном вмешательстве Администрации связи (АС). Параметры информационной модели для описанного сценария приведены в таблице 1.

Начальное значение обобщённого технического показателя несколько ниже уровня, установленного Соглашением. Общий горизонт стратегического планирования разбит на 20 эквидистантных временных отрезков, на которых значения управляющих воздействий можем считать постоянными, то есть каждый шаг происходит пятипроцентная обработка управляемого процесса по времени.

Таблица 1.

Исходные данные, использованные для построения модели

Параметры	ВРНС ($i = 0$)	АС ($i = 1$)	СПС ($i = 2$)
ξ_{ii}	0,5	0,1	0,6
ξ_{iT}	0,4	0,3	0,8
ξ_{Ti}	0,5	0,3	0,8

На рисунках 1-4 приведены результаты моделирования, отражающие динамику состояния различных элементов системы как в целевой, так и в предметной области, а также динамику управляющих воздействий.

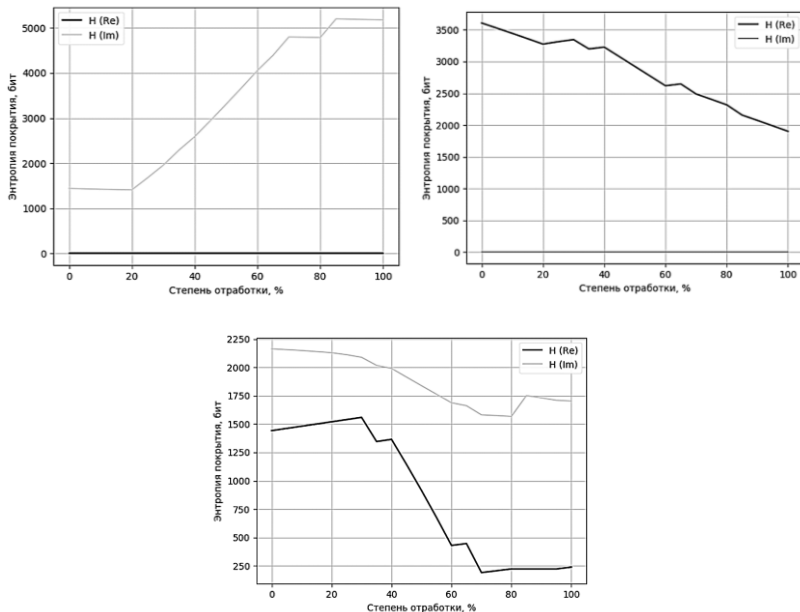
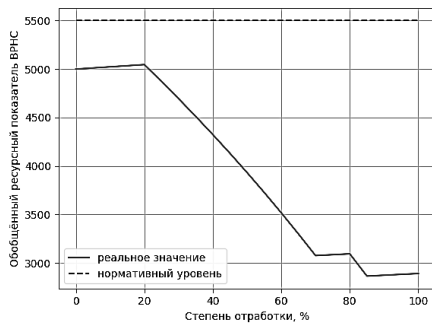
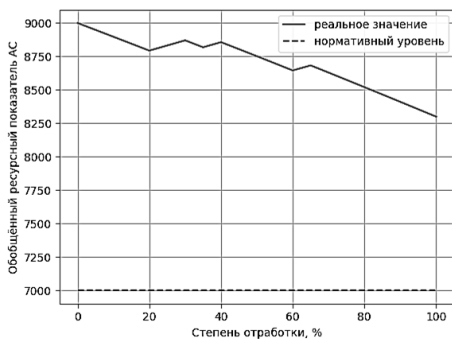


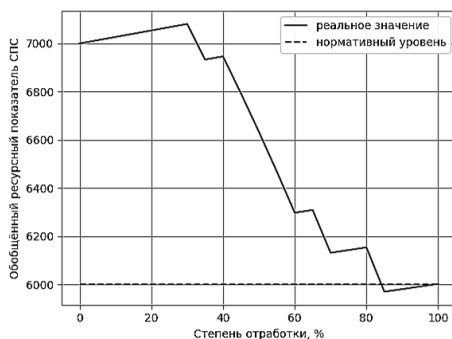
Рисунок 1. Динамика состояния ВРНС (вверху слева), АС (вверху справа), СПС (внизу) в информационном пространстве



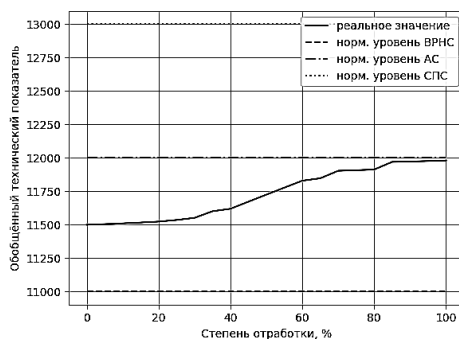
а)



б)



в)



г)

Рисунок 2. Динамика обобщённых ресурсных показателей ВРНС (а), АС (б), СПС (в) в предметной области относительно нормативных уровней, а также обобщённого технического показателя в предметной области относительно нормативных уровней управляющих элементов (г)

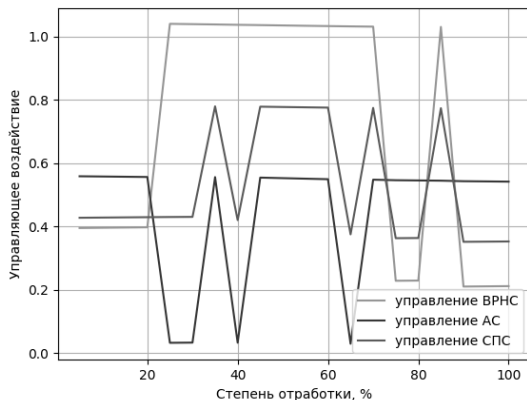
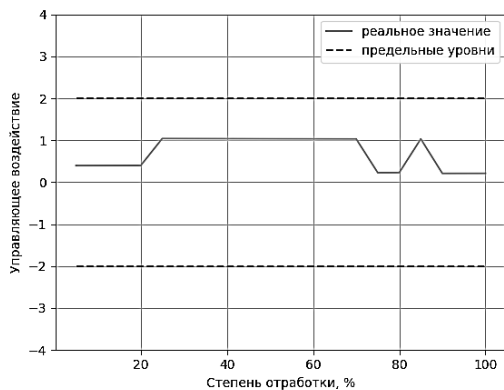
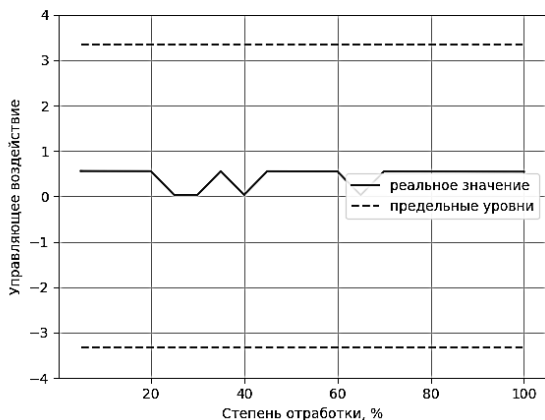


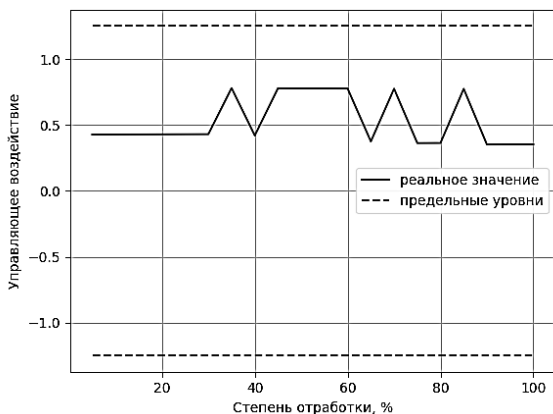
Рисунок 3. Обобщённые графики управляемых процессов ресурсно-показательной конверсии для элементов системы



a)



б)



в)

Рисунок 4. Частные графики управляемых процессов ресурсно-показательной конверсии для ВРНС (а), АС (б), СПС (в) относительно заданных ограничений на управление

На рисунке 3 представлена сравнительная характеристика динамики управляющих воздействий, типичная для ситуации противоборства. В процессе управления ВРНС и СПС испытывают значительную нехватку ресурсной поддержки из внешних по отношению к системе управления источников, которые неспособны компенсировать затраты служб радиосвязи на такое интенсивное воздействие на технический

комплекс (рисунок 2). Роль АС не столь велика, однако поддержка ВРНС со стороны АС позволяет к исходу рассматриваемого отрезка времени удерживать технические показатели от чрезмерного роста, в результате чего они не превышают уровня, установленного Соглашением (рисунок 2).

Графики зависимостей, представленные на рисунках 1-4, подтверждают соответствие выбранной информационной меры критериям специфичности, детерминированности и адекватности при описании динамики состояния системы управления. Это говорит, о правильности выбранного информационного подхода. Однако, приведённое решение не учитывает стохастического характера изменения ресурсов и показателей, что требует дальнейшего углубления информационной модели системы.

Список литературы:

1. Регламент радиосвязи. Статьи. Издание 2012 г.
2. Сухов А.В. Динамика информационных потоков в системе управления сложным техническим комплексом. М.: Теория и системы управления, 2000, № 4.
3. Ломакин М.И., Коровайцев А.А., Сухов А.В. Информационно-энтропийный подход к оценке метрологического ресурса средств измерений. Измерительная техника, 2014, № 12.
4. Бурый А.С., Сухов А.В. Оптимальное управление сложным техническим комплексом в информационном пространстве. М.: Автоматика и телемеханика, 2002.
5. Сухов А.В. Задачи оптимального управления сложным техническим комплексом в информационном пространстве. Труды юбилейной 40-й НТК НТО РЭС им. А.С. Попова. Т. 2. «Проблемы эффективности управления и связи РВСН и применения космических систем военного назначения». М.: ВА РВСН им. Петра Великого, 2003.
6. Вавулов О.Ю. Разработка методики оптимизации информационного ресурса воздушной радионавигационной службы в условиях деструктивного помехового воздействия // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования, 2017, № 40.

1.3. МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВИБРАЦИОННОГО МЕХАНИЗМА УЗЛА ПРИЕМА ГОТОВОЙ ГАЗЕТНОЙ ПРОДУКЦИИ ОФСЕТНОЙ РУЛОННОЙ МАШИНЫ

Новоселов Валерий Павлович

*канд. техн. наук, доцент,
Уральский федеральный университет,
РФ, г. Екатеринбург*

Кузнецов Владимир Иванович

*канд. техн. наук, доцент,
Уральский федеральный университет,
РФ, г. Екатеринбург*

Аннотация. В статье представлена методика и выполнение практического расчета приведения внешней силы трения при гармонических колебаниях массы к эквивалентной диссипативной силе, что позволяет составлять и решать уравнение гармонических колебаний с учетом не только упруго-диссипативных сил, но и реальных сил трения.

Ключевые слова: рулонная машина; газетная продукция.

Одним из важнейших узлов современной полиграфической офсетной рулонной машины является узел приёма и транспортирования готовой газетной продукции. От рациональной конструкции этого узла и эффективности его работы в значительной степени зависит производительность и надёжность печатной машины в целом.

Существующие узлы выдачи и транспортировки готовой продукции современных газетных машин обладают серьёзным производственным недостатком, а именно: в общем потоке готовой газетной продукции отдельные экземпляры выбиваются в стороны из общего ряда. Это приводит к смятию и разрыву отдельных газетных экземпляров, их застреванию на линии транспортирования и нарушению порядка движения всего потока, что требует аварийной остановки машины и влечёт за собой угрозу срыва всего печатного тиража. Поэтому вопрос надежного и эффективного выравнивания и упорядочения движения газетной полосы является важным и актуальным.

В Уральском федеральном университете разработана конструкция вибрационного механизма дебалансного типа, создающего инерционную центробежную силу, циклически меняющуюся по направлению и вызывающую возвратно-поступательное движение массы механизма. Частота и амплитуда возвратно-поступательного движения определяются конструкцией и параметрами механизма и могут изменяться в широком диапазоне. Суммарная движущая сила определяется моментом инерции дебалансов и частотой их вращения.

Величина суммарной движущей силы, создаваемой двумя дебалансами:

$$\Phi_0 = 2\Phi = 2m\omega^2 r \sin(\omega t)$$

где: m – масса дебаланса;

r – радиус инерции дебаланса;

ω – угловая скорость вращения дебаланса.

Знакопеременная циклически изменяющаяся движущая сила Φ вызывает высокочастотное возвратно-поступательное движение механизма, позволяющее целенаправленно формировать газетную стопу.

Для формирования рационального закона движения механизма, определения его амплитудно-частотных и инерционных параметров необходимо решение дифференциального уравнения колебательного движения массы механизма. В уравнении должны быть учтены упругие и диссипативные силы, а также реально существующие силы трения.

Классическое дифференциальное уравнение линейного движения массы при гармонических колебаниях имеет вид:

$$M \ddot{x} = F_{упр} - R + \Phi,$$

где: M – масса движущихся частей механизма,

F – сила упругой деформации пружин, используемых в механизме,

$$F = -c \cdot x,$$

R – сила вязкого трения, пропорциональная первой степени скорости

$$R = -\mu \dot{x},$$

где: μ – коэффициент рассеяния энергии,

Φ – периодическая возмущающая сила.

После подстановки выражений упругих, диссипативных и возмущающих сил получаем:

$$M \ddot{x} = -cx - \mu \dot{x} + 2m\omega^2 \cdot r \cdot \sin \omega t$$

Дифференциальное уравнение гармонических колебаний в таком классическом виде не учитывает реальных сил трения, имеющих величину, сопоставимую и даже превосходящую диссипативные силы. Значительные по величине силы трения существенно изменяют закон колебательного движения массы механизма. Это диктует необходимость введения реальной силы трения в уравнение колебаний. Однако введение этой силы в явном виде в уравнение гармонических колебаний, т. е. введение дополнительного члена уравнения, делает это уравнение аналитически нерешаемым.

Для сохранения уравнения колебаний в решаемом виде введем в это уравнение силу внешнего трения в виде эквивалентной ей диссипативной силы, т. е. выполним приведение силы внешнего трения к эквивалентной диссипативной силе. Приведение состоит в преобразовании постоянной по величине силы трения к эквивалентной, но переменной по величине диссипативной силе, зависящей от линейной скорости колебаний. Условием эквивалентного преобразования является равенство за цикл работы сил трения и работы эквивалентной диссипативной силы.

Мгновенная эквивалентная диссипативная сила $R_{\text{Э}}$ определится равенством:

$$R_{\text{Э}} = \mu_{\text{Э}} \cdot \dot{x}$$

где: $\mu_{\text{Э}}$ – неизвестный (искомый) коэффициент диссипации,

\dot{x} – мгновенная скорость движения колеблющейся массы

$$\dot{x} = \frac{d(B \sin \omega t)}{dt} = B\omega \cdot \cos \omega t$$

где: B – амплитуда колебаний,

ω – частота возмущающей силы, создаваемой дебалансами.

После подстановки получаем:

$$R_{\text{Э}} = \mu_{\text{Э}} B\omega \cdot \cos \omega t$$

Элементарная работа dA переменной диссипативной силы

$$dA = R_{\text{Э}} \cdot dS$$

dS – элементарное перемещение

$$dS = \dot{x} \cdot dt = B \cdot \omega \cdot \cos \omega t \cdot dt$$

Полная работа эквивалентной диссипативной силы на перемещении массы вибрационного механизма из одного крайнего положения в другое, т. е. на перемещении $S=100$ м, определится интегралом:

$$A_R = \int_0^t dA = \int_0^t R_{\text{Э}} \cdot dS = \int_0^t \mu_{\text{Э}} \cdot B^2 \cdot \omega^2 \cdot \cos^2 \omega t \cdot dt;$$

где: t – время поворота дебалансов при перемещении механизма на $S=100$ м при $\omega = 21 \frac{1}{\text{с}}$, $t = 0,15 \text{с}$.

Определяем работу эквивалентной диссипативной силы.

$$\begin{aligned} A_R &= \int_0^{0,15} dA = \int_0^{0,15} \mu_{\text{Э}} \cdot B^2 \cdot \omega^2 \cdot \cos^2 \omega t dt = \mu_{\text{Э}} \cdot B^2 \cdot \omega^2 \cdot \int_0^{0,15} \cos^2 \omega t dt = \\ &= \mu_{\text{Э}} \cdot B^2 \cdot \omega^2 \left(\frac{\omega t}{2} + \frac{1}{4} \sin 2\omega t \right) \Big|_0^{0,15} = \\ &= \mu_{\text{Э}} \cdot B^2 \cdot \omega^2 \left[\left(\frac{21 \cdot 0,15}{2} + \frac{1}{4} \sin 2 \cdot 21 \cdot 0,15 \right) - \left(\frac{21 \cdot 0}{2} + \frac{1}{4} \sin 0 \right) \right] = \\ &= \mu_{\text{Э}} \cdot 0,05^2 \cdot 21^2 \left[1,575 + \frac{1}{4} \sin 6,28 - 0 - 1 \right] = \mu_{\text{Э}} \cdot 0,0696 \text{Нм} \end{aligned}$$

Работа сил трения:

$$A_{\text{тр}} = F_{\text{тр}} \cdot S = 30 \text{Н} \cdot 0,1 \text{м} = 3 \text{Нм}$$

По условию равенства за цикл работ силы трения и эквивалентной диссипативной силы получаем:

$$A_{\text{тр}} = A_R$$

$$3 \text{Нм} = \mu_{\text{Э}} \cdot 0,0696 \text{Нм}$$

Определяем эквивалентный коэффициент диссипации

$$\mu_{\text{э}} = \frac{3}{0,0696} = 43,1 \frac{\text{нС}}{\text{м}}$$

$$b_{\text{э}} = \frac{\mu_{\text{э}}}{2M} = \frac{43,1}{2 \cdot 19,3} = 1,11 \frac{1}{\text{с}}$$

Найденное значение эквивалентного коэффициента диссипации позволяет ввести постоянную по величине реальную силу трения в уравнение гармонических колебаний массы вибрационного механизма в виде переменной по величине эквивалентной диссипативной силы. Это позволяет составлять и решать уравнение гармонических колебаний с учетом не только упруго-диссипативных сил, но и реальных сил трения.

Список литературы:

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин: Учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 640 с.
2. Левитская О.Н., Левитский Н.И. Курс теории механизмов и машин: Учебник для вузов. – М.: Высш. школа, 1978. – 269 с.
3. Никитин Е.Н. Теоретическая механика. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 336 с.

1.4. МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО СПЛАВА $Al_{0.5}Mo_{0.5}NbTa_{0.5}Ti_{1.5}Zr$

Юрченко Никита Юрьевич

*мл. науч. сотрудник НИЛ
«Объемных наноструктурных материалов», НИУ «БелГУ»,
РФ, г. Белгород*

INVESTIGATION OF STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF THE $Al_{0.5}Mo_{0.5}NbTa_{0.5}Ti_{1.5}Zr$ HIGH-ENTROPY ALLOY

Nikita Yurchenko

*Junior researcher
Laboratory of Bulk Nanostructured Materials, NRU BelsU,
Russia, Belgorod*

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в
рамках научного проекта № 16-38-00214 мол_a*

Аннотация. Исследованы структура и механические свойства высокоэнтропийного сплава $Al_{0.5}Mo_{0.5}NbTa_{0.5}Ti_{1.5}Zr$. В литом состоянии и после отжига при $T=1400^{\circ}C$ сплав состоит из оцк и B2 фаз. Отжиг приводит к увеличению прочности при $T=22^{\circ}C$ с 1195 МПа до 1470 МПа и падению пластичности с 11,6 до 0,6 %, но не влияет на высокотемпературную прочность: при $T = 800^{\circ}C$, пределы текучести литого и отожженного состояния равны 600 и 625 МПа, соответственно. Продемонстрировано хорошее соответствие между результатами термодинамического моделирования и экспериментальными данными.

Abstract. Structure and mechanical properties of the $Al_{0.5}Mo_{0.5}NbTa_{0.5}Ti_{1.5}Zr$ high-entropy alloy were studied. In the as-cast state and after annealing at $T=1400^{\circ}C$, the alloy consists of bcc and B2 phases. Annealing increases the strength at $T=22^{\circ}C$ from 1195 MPa to 1470 MPa and decreases the plasticity from 11.6 to 0.6%, but does not affect high-temperature strength: at $T=800^{\circ}C$, yield strengths of the as-cast and

annealed states are equal to 600 and 625 MPa, respectively. A good correlation between results of thermodynamic modeling and experimental data was demonstrated.

Ключевые слова: высокоэнтропийные сплавы; структура; механические свойства; термодинамическое моделирование; фазовые превращения

Keywords: high-entropy alloys; structure; mechanical properties; thermodynamic modeling; phase transformations.

Введение

Концепция высокоэнтропийных сплавов (ВЭСов) – сплавов, состоящих из 5 и более элементов, взятых в эквивалентных концентрациях, – была предложена Yeh [1] в 2004 году и предполагала формирование в таких сплавах неупорядоченных твердых растворов вследствие высокой энтропии смешения. Однако, как было показано позже, высокая энтропия смешения не является ни достаточным, ни необходимым условием фазообразования в данных сплавах [2]. Тем не менее, переход от традиционного подхода к созданию металлических сплавов на основе одного базового компонента к многокомпонентному легированию позволил получить композиции с высокими механическими свойствами [3]. В частности, в 2010 году были представлены ВЭСы на основе тугоплавких элементов, продемонстрировавшие высокую прочность вплоть до 1600°C [4]. Основным недостатком этих сплавов – высокую плотность (>10 г/см³) – было предложено устранить за счет использования более легких элементов с высокими температурами плавления (Cr, Ti, Nb, V, Zr), а также Al. В результате был разработан сплав AlMo_{0,5}NbTa_{0,5}TiZr с плотностью 7,4 г/см³ и структурой, состоящей из упорядоченной B2 матрицы и гомогенно распределенных в ней наноразмерных кубоидов неупорядоченной оцк фазы [5]. Такой микроструктурный дизайн обеспечил экстраординарную высокотемпературную прочность, но ограниченную пластичность в интервале температур 22-800°C. Очевидно, наличие упорядоченной B2 матрицы оказывает определяющее влияние на механические свойства сплава. Недавно было показано, что механическое поведение B2 фазы в ВЭСах на основе тугоплавких элементов сильно зависит от степени упорядочения, которая, свою очередь, меняется от содержания Al [6]. Уменьшение концентрации Al снижает степень упорядочения B2 фазы и, тем самым, повышает низкотемпературную пластичность. Вероятно, рост пластичности в сплаве AlMo_{0,5}NbTa_{0,5}TiZr также может быть достигнут за счет снижения концентрации Al, при этом пропорциональное увеличение Ti позволит сохранить плотность сплава в

диапазоне 7-7,5 г/см³. Поэтому целью настоящего исследования было изучение структуры и механических свойств модифицированной композиции на основе системы Al-Mo-Nb-Ta-Ti-Zr, а именно сплава $Al_{0.5}Mo_{0.5}NbTa_{0.5}Ti_{1.5}Zr$.

Результаты и обсуждение

На рисунке 1 представлена расчетная диаграмма сплава $Al_{0.5}Mo_{0.5}NbTa_{0.5}Ti_{1.5}Zr$, полученная с помощью программного обеспечения Thermo-Calc и базы данных для высокоэнтропийных сплавов TCNEA2. Моделирование показывает, что сплав кристаллизуется через оцк_B2 фазу, обогащенную Ta, Mo и Nb, при $T=1618^{\circ}C$. При $T=1525^{\circ}C$ начинается выделение оцк_B2#2 фазы, обогащенной Zr, Ti и Al, а при $T=925^{\circ}C$ - фазы Zr_5Al_3 . При $T=1400^{\circ}C$ - температуре гомогенизационного отжига сплава $AlMo_{0.5}NbTa_{0.5}TiZr$ - согласно расчетной диаграмме, исследуемый сплав имеет двухфазную структуру с объемной долей фаз оцк_B2 и оцк_B2#2 равной 64 и 35 %, соответственно.

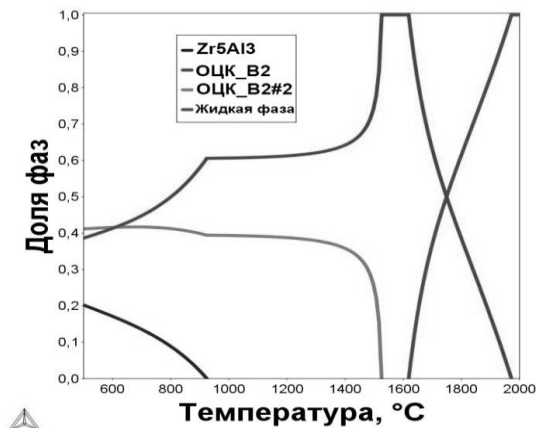


Рисунок 1. Расчетная диаграмма сплава $Al_{0.5}Mo_{0.5}NbTa_{0.5}Ti_{1.5}Zr$

На рисунке 2 приведены рентгенограммы сплава $Al_{0.5}Mo_{0.5}NbTa_{0.5}Ti_{1.5}Zr$ в литом состоянии и после отжига при $T=1400^{\circ}C$ со скоростью нагрева и охлаждения $10^{\circ}C/мин$. Как в литом, так и в отожженном состояниях сплав $Al_{0.5}Mo_{0.5}NbTa_{0.5}Ti_{1.5}Zr$ состоит из оцк и B2 фаз, что хорошо согласуется с данными термодинамического моделирования (рис. 1). Параметры кристаллических решеток оцк и B2 фаз находятся в интервале 0,3280-0,3290 нм и 0,3330-0,3346 нм, соответственно.

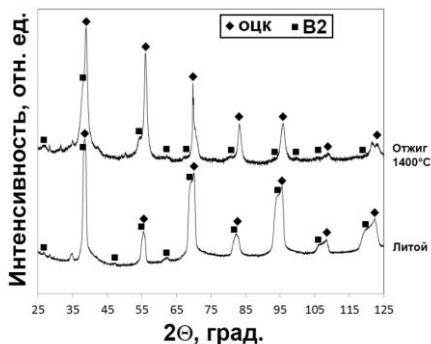


Рисунок 2. Рентгенограммы сплава $Al_{0.5}Mo_{0.5}NbTa_{0.5}Ti_{1.5}Zr$ в литом состоянии и после отжига при $1400^{\circ}C$ со скоростью нагрева и охлаждения $10^{\circ}C/мин$

На рисунке 3 показаны РЭМ-изображения микроструктуры сплава $Al_{0.5}Mo_{0.5}NbTa_{0.5}Ti_{1.5}Zr$ в литом и отожженном состояниях. В литом состоянии наблюдается сильно выраженная дендритная структура. Дендриты (светлые области на рис. 3а) обогащены Ta, Mo и Nb, тогда как междендритные области (темные области на рис. 3а) - Zr, Ti и Al. После отжига при $1400^{\circ}C$ формируется зеренная структура со средним размером 125 ± 65 мкм (рис. 3б). Внутри зерен можно наблюдать субзерна, структура границ которых похожа на структуру корзиночного плетения, обнаруженную ранее в сплаве $AlMo_{0.5}NbTa_{0.5}TiZr$ [5]. Однако, в исследуемом сплаве размеры пластин несколько меньше, чем в сплаве $AlMo_{0.5}NbTa_{0.5}TiZr$, и равны 50 ± 10 нм.

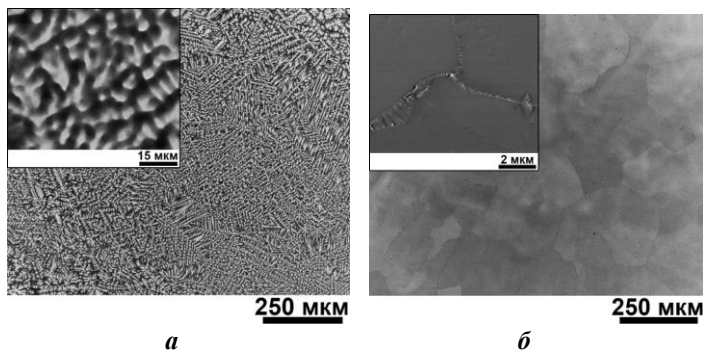


Рисунок 3. РЭМ-изображения микроструктуры сплава $Al_{0.5}Mo_{0.5}NbTa_{0.5}Ti_{1.5}Zr$: а – в литом состоянии; б – после отжига при $1400^{\circ}C$ со скоростью нагрева и охлаждения $10^{\circ}C/мин$

Исследование плотности сплава $Al_{0.5}Mo_{0.5}NbTa_{0.5}Ti_{1.5}Zr$ методом гидростатического взвешивания показало хорошее совпадение экспериментальных ($7,32 \text{ г/см}^3$) и расчетных (по правилу смеси) данных ($7,30 \text{ г/см}^3$). Измерение микротвердости в литом состоянии и после отжига при 1400°C показало, что отжиг повышает микротвердость сплава с 495 HV до 745 HV.

На рисунке 4 представлены кривые напряжение-деформация, а в таблице 1 приведены данные по механическим свойствам, полученным в ходе испытаний на одноосное сжатие сплава $Al_{0.5}Mo_{0.5}NbTa_{0.5}Ti_{1.5}Zr$. При $T=22^\circ\text{C}$, сплав в литом состоянии показывает предел текучести, $\sigma_{0,2}$, равный 1195 МПа и разрушается при 1545 МПа, достигая 11,6 % относительной деформации. Отожженный сплав при данной температуре показывает более высокий предел текучести ($\sigma_{0,2} = 1470 \text{ МПа}$), но крайне низкую пластичность – $\varepsilon = 0,6\%$. При $T=800^\circ\text{C}$, оба состояния показывают практически одинаковые пределы текучести (~600 МПа) и могут быть продеформированы до заданной степени деформации (50%) без разрушения. Вид кривых напряжение-деформация также схож: в обоих состояниях присутствует стадия упрочнения с отчетливым пиком, сменяющаяся протяженной стадией разупрочнения.

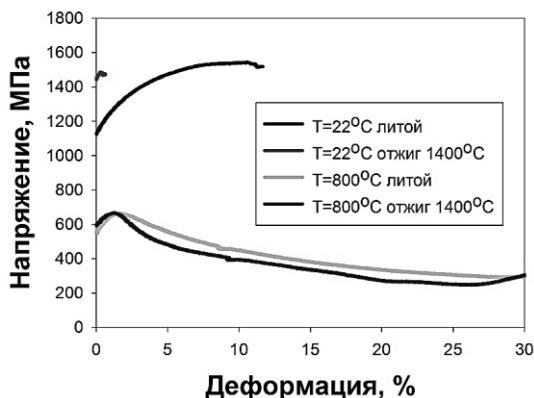


Рисунок 4. Кривые напряжение-деформация сплава $Al_{0.5}Mo_{0.5}NbTa_{0.5}Ti_{1.5}Zr$ в литом состоянии и после отжига 1400°C 10°C/мин

Таблица 1.

Механические свойства сплава $Al_{0.5}Mo_{0.5}NbTa_{0.5}Ti_{1.5}Zr$ в литом состоянии и после отжига 1400°C 10°C/мин

Состояние	$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma_{лик}$, МПа	ϵ , %
T=22°C (литой)	1195	1545	11,6
T=22°C (1400°C 10°C/мин)	1470	1475	0,6
T=800°C (литой)	600	665	>30
T=800°C (1400°C 10°C/мин)	625	665	>30

Список литературы:

1. Yeh J.W. Nanostructured high-entropy alloys with multiple principal elements: Novel alloy design concepts and outcomes / J.W. Yeh [и др.] // Adv. Eng. Mater. 2004. V. 6. P. 299–303.
2. Miracle D.B. A critical review of high entropy alloys and related concepts / D.B. Miracle, O.N. Senkov // Acta Mater. 2017. V. 122. P. 448–511.
3. Gludovatz B. A fracture-resistant high-entropy alloy for cryogenic applications / B. Gludovatz [и др.] // Science. 2014. V. 345 P. 1153–1158.
4. Senkov O.N. Refractory high-entropy alloys / O.N. Senkov [и др.] // Intermetallics. 2010. V. 18. P. 1758–1765.
5. Senkov O.N. Effect of aluminum on the microstructure and properties of two refractory high-entropy alloys / O.N. Senkov, S. V. Senkova, C. Woodward, // Acta Mater. 2014. V. 68. P. 214–228.
6. Yurchenko N.Y. Structure and mechanical properties of B2 ordered refractory $AlNbTiVZr_x$ ($x = 0–1.5$) high-entropy alloys / N.Y. Yurchenko [и др.] // Mater. Sci. Eng. A. 2017. V. 704. P. 82–90.

ВЫБОР РЕЖИМА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДИСКОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ КОЛЕС ИЗ ДОЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА

Богданова Татьяна Александровна

*начальник металлургического отдела, ООО «КиК»,
РФ, г. Красноярск*

Вааг Мария Валерьевна

*инженер-металловед, ООО «КиК»,
РФ, г. Красноярск*

Меркулова Галина Александровна

*канд. техн. наук, доцент, Сибирский федеральный университет,
РФ, г. Красноярск*

Кудрявых Алёна Анатольевна

*студент, Сибирский федеральный университет,
РФ, г. Красноярск*

Федякина Изабелла Константиновна

*студент, Сибирский федеральный университет,
РФ, г. Красноярск*

Горев Анатолий Александрович

*студент, Сибирский федеральный университет,
РФ, г. Красноярск*

Богданов Александр Юрьевич

*студент, Сибирский федеральный университет,
РФ, г. Красноярск*

SELECTION OF THE THERMAL TREATMENT DISKS OF AUTOMOBILE WHEELS FROM OF HYPOEUTECTIC SILUMIN

Tatiana Bogdanova

*Head of the Metallurgical Division, LLC "KiK",
Russia, Krasnoyarsk*

Maria Vaag

*engineer-metalloved, OOO "KiK",
Russia, Krasnoyarsk*

Galina Merkulova

*Candidate of Engineering Sciences, associate professor,
Siberian Federal University,
Russia, Krasnoyarsk*

Alena Kudriavykh

student, Siberian Federal University, Russia, Krasnoyarsk

Isabella Fedyakina

*student, Siberian Federal University,
Russia, Krasnoyarsk*

Anatoly Gorev

*student, Siberian Federal University,
Russia, Krasnoyarsk*

Alexander Bogdanov

*student, Siberian Federal University,
Russia, Krasnoyarsk*

Аннотация. В работе исследовано влияния режимов термообработки на структуру и механические свойства дисков автомобильных колес из сплава АК7. Изучена зона обода после обработки по трем режимам: 1) без термообработки (F); 2) термообработка по сокращенному режиму; 3) термообработка по стандартному режиму Т6. По результатам проведенного исследования предложено термообработку дисков автомобильных колес из сплава АК7 проводить по новому сокращенному режиму, что является более экономным, но не снижает качества, предъявляемого к изделию.

Abstract. The work investigated the influence of thermal treatment regimes on the structure and mechanical properties of automobile wheel disks from alloy AK7. The rim zone was studied after processing in three modes: 1) without thermal treatment (F); 2) thermal treatment by reduced mode; 3) thermal treatment according to the standard T6 regime. Based on the results of the study, it was suggested to thermal treatment the wheels of automobile wheels from AK7 alloy in a new reduced mode, which is more economical, but does not reduce the quality of the product.

Ключевые слова: силумин; диски автомобильных колес; термическая обработка; механические свойства; микроструктура.

Keywords: silumin; automobile wheel disk; thermal treatment; mechanical properties; microstructure.

В настоящее время улицы наших городов заполняются всё большим количеством автомобилей. Поэтому проблема качества дисков автомобильных колес является весьма актуальной.

Цель данной работы: исследование влияния режимов термообработки на структуру и механические свойства дисков автомобильных колес из сплава АК7.

Известны различные технологии изготовления дисков автомобильных колес [1 - 2]. Работа выполнена на предприятии ООО «КиК», г. Красноярск, где диски автомобильных колес изготавливают литьем под низким давлением. Исследована зона обода после обработки по трем режимам: 1) без термообработки (F); 2) термообработка по сокращенному режиму; 3) термообработка по стандартному режиму T6.

Изучены образцы сплава АК7, который является доэвтектическим силумином, содержащим (% по массе): Al – основа, 6,5-7,5 Si, 0,25-0,45 Mg, 0,19 Fe, 0,05 Cu, 0,10 Mn, 0,07 Zn, 0,08-0,25 Ti [3].

Диаграмма состояния системы Al—Si (рис. 1) относится к эвтектическому типу. В равновесии находятся твердый раствор кремния в алюминии и твердый раствор алюминия в кремнии [4].

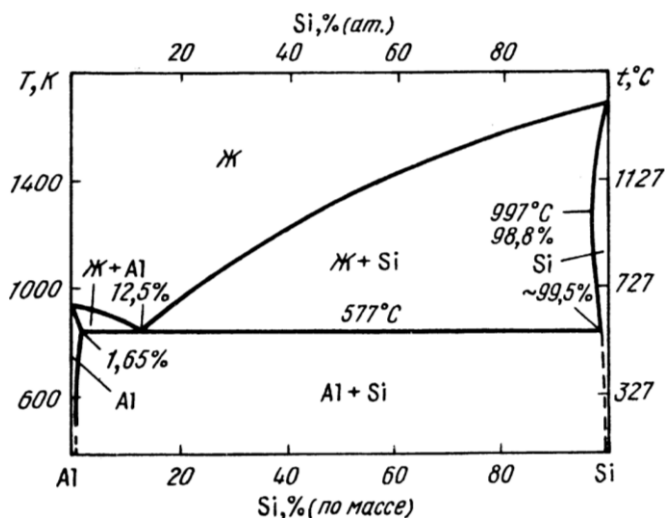


Рисунок 1. Диаграмма состояния системы Al - Si [4]

Сплавы системы Al – Si – Mg закаливают. Для ориентировочного выбора температуры нагрева под закалку можно пользоваться квазибинарным разрезом Al – Mg₂Si, который показан на рисунке 2 [5].

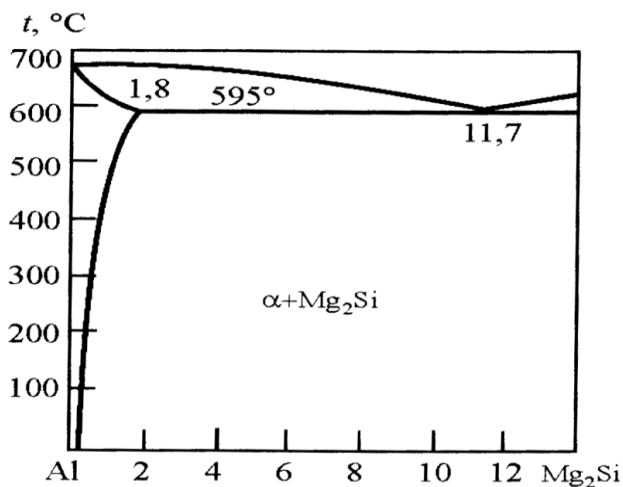


Рисунок 2. Квазибинарный разрез Al – Mg₂Si
в системе Al – Mg – Si [5]

Температуру нагрева под закалку выбрали равной 538 °С.

В данной работе исследованы механические свойства образцов, отобранных из зоны обода. Сделан анализ структуры на металлографическом микроскопе Olympus GX51 с помощью программы SIAMS 700. Полученные результаты приведены в таблице 1 и на рисунках 3-5.

Таблица 1.

Значения механических свойств (АК7, обод)

Термическая обработка	Временное сопротивление разрыву σ_b , МПа	Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Относительное удлинение δ , %
Без термообработки (F)	195	115	12,9
Обработка по сокращенному режиму (закалка в воду + искусственное старение)	295	240	11,2
T6 (закалка в воду + искусственное старение)	300	245	10,2
Требуемые свойства по ГОСТ P50511 – 93	≥ 210	≥ 140	≥ 5

Термообработка по двум режимам позволила получить механические свойства выше требуемых (см. табл. 1). Обработка по стандартному режиму T6 повышает прочностные свойства по сравнению с обработкой по сокращенному режиму: $\Delta \sigma_b = 5$ МПа, $\Delta \sigma_{0,2} = 5$ МПа, но незначительно понижает относительное удлинение ($\Delta \delta = 1$ %).

Структура образцов без термообработки и после термической обработки по сокращенному режиму приведена на рис. 3-4. Выявлена структура типичного доэвтектического силумина, содержащая эвтектику и твердый раствор на основе алюминия. С целью сравнительной оценки эффективности выбранных режимов термической обработки был проведен количественный анализ микроструктуры образцов, отобранных из зоны обода, прошедших термообработку по двум режимам – опытному и стандартному. Оценивали круглый фактор формы для кремния, как показатель изменения частиц кремния после режима термической обработки (рис. 5).

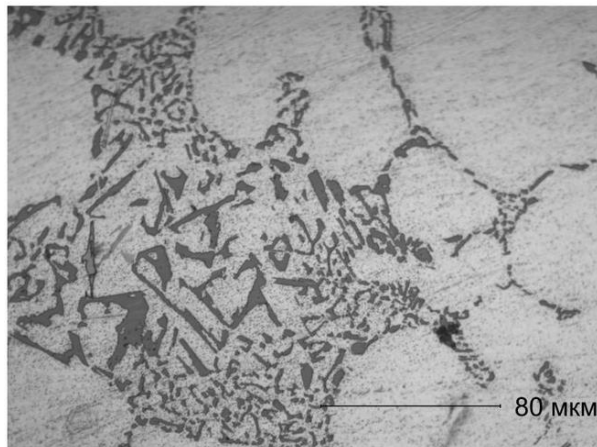


Рисунок 3. Микроструктура диска автомобильного колеса из сплава АК7 без термообработки в зоне обода. x500

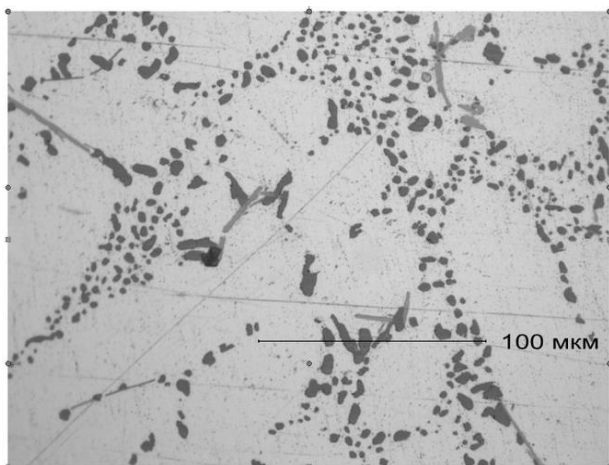


Рисунок 4. Микроструктура диска автомобильного колеса из сплава АК7 после термообработки по сокращенному режиму в зоне обода. x500

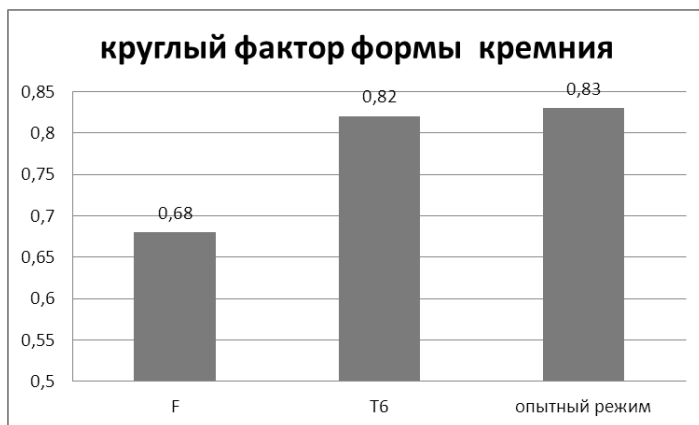


Рисунок 5. Гистограмма распределения значений круглого фактора формы (форм фактор)

Проведение термической обработки способствует увеличению (см. рис. 5) круглого фактора формы (с 0,68 до 0,82 и 0,83), то есть после термообработки частицы кремния становятся более округлыми.

Таким образом, по результатам проведенного исследования предложено термообработку дисков автомобильных колес из сплава АК7 проводить по новому сокращенному режиму, что является более экономным, но не снижает качества, предъявляемого к изделию.

Список литературы:

1. Богданова Т.А., Довженко Н.Н., Гильманшина Т.Р. и др. Современные технологии изготовления дисков автомобильных колес // Современные проблемы науки и образования. 2014. – № 5. – С. 86 // Информация с сайта: <http://www.science-education.ru/119-15005>.
2. Богданова Т.А., Довженко Н.Н., Гильманшина Т.Р. и др. Структурообразование литейных алюминиевых сплавов при литье под низким давлением: монография. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2015. – 164 с.
3. Силумины. Атлас микроструктур и фрактограмм промышленных сплавов: справ. изд. / А.Г. Пригунова, Н.А. Белов, Ю.Н. Таран [и др.]. – Москва: МИСИС, 1996. – 175 с.
4. Мондольфо Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов: Монография / Л.Ф. Мондольфо; пер. с англ. Москва: Металлургия, 1979. – 640 с.
5. Колачев Б.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов: учебник для вузов / Б.А. Колачев, В.И. Елагин, В.А. Ливанов. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва: «МИСИС», 2005. – 432 с.

1.5. ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

МЕТОДИКИ И ОБОРУДОВАНИЕ ИСПЫТАНИЯ РЕЗИНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ НА СЖАТИЕ

Беляев Вячеслав Вячеславович

*магистрант, Московский технологический университет,
РФ, г. Москва*

TECHNIQUES AND EQUIPMENT FOR TESTING RUBBER PRODUCTS ON COMPRESSION

Vyacheslav Belyaev

*student, Moscow technological University,
Russia, Moscow*

Аннотация. Систематизированы стандартные методики оценки свойств РТИ при приложении сжимающих нагрузок. Охарактеризовано испытательное оборудование статического и динамического сжатия. Показана перспективность разработки собственного испытательного стенда и методики.

Abstract. Standard methods for evaluating the properties of rubber goods under application of compressive loads are systematized. The test equipment of static and dynamic compression is characterized. The perspective of developing own test bench and technique is shown.

Ключевые слова: РТИ; сжатие; методика; испытательное оборудование.

Keywords: rubber-technical products; compression; technique; test equipment.

Резино-технические изделия (РТИ) широко используются в различных отраслях промышленности в виде диафрагм, уплотнительных колец, сальников, манжет, муфт, шин и др., что обусловлено особенностями структуры и свойств резин. Высокая гибкость полимерных

цепей и прочная пространственная сетка резин сообщает изделиям высокую эластичность, возможность обратимых деформаций. В этой связи актуальными являются исследования, связанные с оценкой деформационных свойств РТИ, в частности, прочности на сжатие. Многокомпонентность и неоднородность резин влияет на результаты испытаний образцов различных форм и размеров. Целью статьи является систематизация методик оценки свойств РТИ на сжатие и применяемого испытательного оборудования.

Для испытания резин и РТИ могут использоваться стандартные и специально разработанные методы. Испытания резин на кратковременное статическое сжатие по ГОСТ 265-77 проводят с использованием приспособления для разрывной машины, схема которого представлена на рисунке 1 (а).

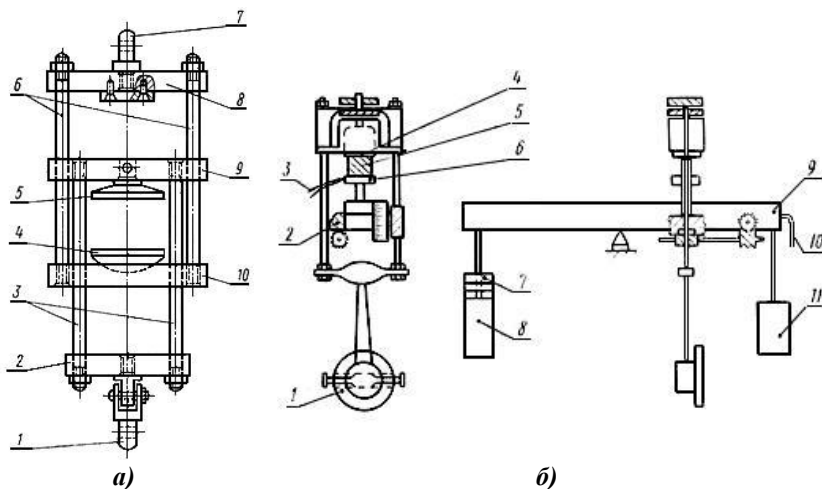


Рисунок 1. Вариант схемы (а) приспособления для испытаний на сжатие [2], (б) флексометра на многократное сжатие [1]

Образец помещают на площадку (4), расположенную на нижней плите (10). Колонка (6) с планкой (8) и верхней плитой (9) формируют жесткую систему, с помощью пальца (7) закрепляемую к разрывной машине в месте верхнего зажима. Плита (9) может перемещаться вдоль колонок (3) и (6) и прикрепляется к зажиму машины с помощью колонок (3), планки (2) и пальца (1). При испытаниях на сжатие плиты (9) и (10), а также площадки (4) и (5) сжимаются.

Испытания могут проводиться по «методу А» (по заданной деформации) и «методу Б» (по заданной силе), образцы для испытаний имеют форму цилиндра ($dxh - 29 \times 12,5$ или 32×38) возможно использовать готовые изделия. Скорость сближения поверхностей задается 12; 25 мм/мин, предпочтительная степень сжатия 25 %. Скорость сближения, степень и сила сжатия задаются согласно указанным данным в нормативных документах на изделие.

Согласно «методу А» РТИ сжимают до расчетной высоты, трехкратно, с возвращением площадок в исходное положение, и замером силы. Также трехкратно в «методе Б» прикладывают заданную силу и отмечают расстояние между площадками (высоту сжатого образца). По стандартным формулам рассчитывают условное напряжение и относительную деформацию сжатия [2]. Методики оценки сжатия пористых резин охарактеризованы в ГОСТ 20014-83. Варианты испытательных машин и технические требования к ним изложены в ГОСТ 28840-90.

Последний стандарт ИСО 7743:2017 по определению деформации сжатия вулканизованных и термопластичных резин подчеркивает важность изучения процесса одноосного и двухосного сжатия для мостовых подшипников, уплотнительных колец и антивибрационных креплений. Стандарт включает четыре методики (А-Д), отличающиеся видом образца и способом его крепления к подвижным пластинам [3], но сохраняющих общие принципы проведения испытаний, аналогичные ГОСТ 265-77.

Для испытаний усталостной выносливости резин при многократном сжатии используют ГОСТ 20418-75 и флексометры типа Гудрича (рисунок 1 (б)). Оборудование должно обеспечивать многократное сжатие РТИ с частотами до 30 Гц, статическую силу 0,6-2,0 ГПа, измерение торцевой температуры. В составе оборудования коромысло (9) имеет постоянные подвешенные грузы ((8) и (11) – по 24 кг), а также сменный груз (7), для статического сжатия изделия (5), и находятся на плите с призмой, где также имеются стойки для крепления термокамеры и арретира (стопора-ловителя). Коромысло (9) имеет микрометр (9) для контроля равновесия. Многократное сжатие выполняет верхняя площадка (4). На шайбе (1) имеется шкала хода эксцентрика, в нижней площадке (6) вмонтирована термопара (3).

При проведении испытаний устанавливают смещение и нагрузку на рычаг, температуру испытаний, частоту, согласно стандарту, измеряя после испытаний высоту образца. «Метод А» в данном случае состоит в многократном сжатии РТИ в заданных условиях до условного равновесия температуры (скорость ее роста не выше 0,5 °С/мин) и измерении через час после «отдыха» образцов их температуры и

остаточной деформации. «Метод Б» состоит в многократном сжатии РТИ в течение 25 мин и также измерении через час температуры и остаточной деформации. «Метод В» заключается в многократном сжатии РТИ до разрушения [1].

ГОСТ 20418-75 включает методики проведения испытаний и формулы расчета изменения температуры, усталостной выносливости, остаточной деформации и динамической ползучести резин и РТИ [6]. Необходимо учитывать, что использование различных стандартов на сжатие резин и изделий РТИ (ГОСТ, ISO, ASTM) может давать разброс данных, как в зависимости от свойств резин, так и в зависимости от испытательного оборудования, что было экспериментально установлено на примере стеклопластиков [5].

В этой связи, существует достаточное число патентов и научных исследований по разработке испытательных стендов и методик оценки результатов испытаний. Так, на примере полиуретанового амортизатора, предложено оборудование (разработан испытательный стенд) и ход эксперимента по оценке деформации в режиме динамического нагружения [4]. Аналогично, резиновые амортизаторы также при динамических сжимающих нагрузках испытывают физико-химические изменения, снижающие механическую стойкость к сжатию, следовательно, предлагаемый стенд и методика могут быть применены к оценке последствий воздействия динамического сжатия на РТИ.

Таким образом, систематизированы требования стандартных методик испытания РТИ на сжатие, охарактеризованы оборудование и приспособления проведения статических и динамических испытаний. Перспективными являются собственные разработки испытательных стендов и методик в зависимости от свойств сырья и конфигурации РТИ.

Список литературы:

1. ГОСТ 20418-75 Резина. Методы определения теплообразования, остаточной деформации и усталостной выносливости при многократном сжатии. М.: Издательство стандартов, 1981.
2. ГОСТ 265-77 Резина. Методы испытаний на кратковременное статическое сжатие (с Изменениями N 1, 2). М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.
3. ISO 7743:2017(en) Rubber, vulcanized or thermoplastic — Determination of compression stress-strain properties. Technical Committee ISO/TC 45, Rubber and rubber products, Subcommittee SC 2, Testing and analysis. ISO, 2017.
4. Мазурин В.Л., Приемышев А.В., Яковлев С.Н. Об остаточной деформации конструкционных полиуретанов, работающих в режиме динамического нагружения. Вестник КузГТУ. 2017. №2. С. 109-114.

5. Мельников Д.А., Ильичев А.В., Вавилова М.И. сравнение стандартов для проведения механических испытаний стеклопластиков на сжатие. Труды ВИАМ. 2017. № 3(51). С. 55-64.
6. Шилов И.Б., Агалакова Н.В., Фомин С.В., Козулин Д.А. Изучение физико-механических испытаний резин. Киров, 2005. 24 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ БИМОРФНОГО ДИСКОВОГО ПЬЕЗОГЕНЕРАТОРА МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Гончарова Надежда Александровна

*студент, Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет “ЛЭТИ”,
Кафедра электроакустики и ультразвуковой техники,
РФ, г. Санкт-Петербург*

Спирина Ольга Андреевна

*студент, Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет “ЛЭТИ”,
Кафедра электроакустики и ультразвуковой техники,
РФ, г. Санкт-Петербург*

MODELING OF A DISK BIMORPH PIEZOGENERATOR BY FINITE-ELEMENT METHOD

Nadezhda Goncharova

*student. Saint-Petersburg State Electrotechnical University “LETI”,
Department of Electroacoustics and Ultrasonic Engineering,
Russia, Saint Petersburg*

Olga Spirina

*student. Saint-Petersburg State Electrotechnical University “LETI”,
Department of Electroacoustics and Ultrasonic Engineering,
Russia, Saint Petersburg*

Аннотация. Работа посвящена моделированию биморфного дискового пьезоэлектрического генератора методом конечных элементов. Цель проводимого моделирования – выявление наиболее эффективного расположения пьезоэлементов, а также установление зависимости между выходным напряжением и частотой при различных толщинах пьезоэлементов. В результате была разработана модель пьезогенератора и показана возможность выработки напряжения до 120 В.

Abstract. Work is devoted to modeling of disk bimorph piezoelectric generator using finite element method. The purpose of the modeling is identifying the most effective location of piezoelectric elements, and the dependence between the output voltage and frequency for various thicknesses of piezoelectric elements. In result, a model of piezogenerator was developed and the possibility of generating voltages up to 120 V is shown.

Ключевые слова: пьезоэлектрический эффект; пьезоэлектрический преобразователь; математическое моделирование; выходное электрическое напряжение.

Keywords: piezoeffect; piezoelectric transducer; mathematical modeling; output voltage.

Введение

Разработка, исследование и создание пьезоэлектрических генераторов является весьма актуальной и важной проблемой. Интерес к этой проблеме обусловлен перспективой создания малогабаритных независимых и практически неисчерпаемых источников питания различных маломощных устройств. Такие источники преобразуют даровую энергию вибраций, присутствующих практически везде, в электрическую энергию и не требуют наличия внешних источников питания или необходимости периодической замены батарей. Анализ многочисленных работ по получению электрической энергии из вибраций для питания микроэлектронных устройств показывает существенное преимущество пьезоэлектрического способа по сравнению с электромагнитным или электростатическим [1].

Моделирование работы пьезогенератора

Задачей проводимой работы является построение численной модели пьезогенератора конкретного конструктивного исполнения, а также выявление наиболее эффективного расположения пьезоэлементов и установление зависимости между выходным напряжением и частотой при различных толщинах пьезоэлементов.

Пьезоэлектрический способ преобразования энергии предполагает: переработку даровой энергии вибрации окружающей среды, присутствующих практически везде, в постоянный электрический ток для питания маломощного электронного устройства.

Для разрабатываемого генератора была выбрана дисковая биморфная конструкция, т. к. она обладает рядом преимуществ перед традиционной балочной конструкцией. Это, прежде всего, возможность совмещения как толщинных, так и изгибных колебаний пьезоэлемента, что способствует увеличению амплитуды вырабатываемой электрической мощности [2].

Модель биморфного дискового генератора была создана в программе для моделирования – COMSOL с помощью метода конечных элементов.

Метод конечных элементов (МКЭ) — это численный метод решения дифференциальных уравнений с частными производными, а также интегральных уравнений, возникающих при решении задач прикладной физики. Суть метода заключается в том, что область, занимаемая конструкцией, разбивается на некоторое число малых, но конечных по размерам подобластей (конечных элементов), внутри которых решаются системы алгебраических уравнения, которые заменяют дифференциальные уравнения, описывающие исследуемые характеристики.

Программное обеспечение COMSOL Multiphysics запускает конечноэлементный анализ вместе с сеткой, учитывающей геометрическую конфигурацию тел и контролем ошибок с использованием разнообразных численных решателей.

По своему конструктивному исполнению разрабатываемый пьезогенератор (рисунок 1) состоит из консольно закрепленной бронзовой пластины; кольцевой массы из стали по окружности пластины; и 2-х встречно поляризованных пьезоэлементов на обеих поверхностях пластины.

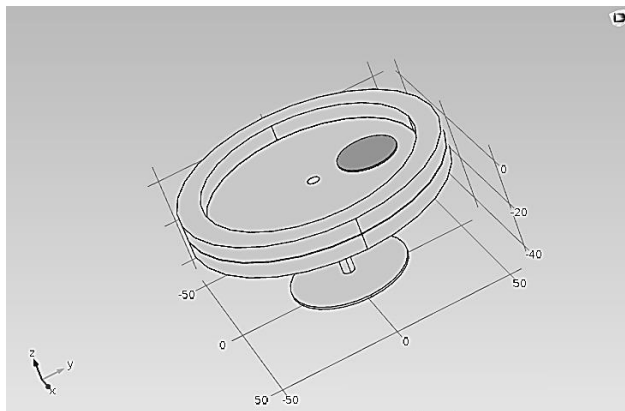


Рисунок 1. Модель биморфного дискового пьезогенератора

Для определения наиболее эффективной работы генератора было проведено моделирование при разном расположении пьезоэлектриков: с краю, посередине и ближе к центру базовой пластины. Результаты моделирования показали, что максимум напряжения, равный 120 В, может быть достигнут на частоте 535 Гц и при расположении пьезопластины толщиной 0,5 мм посередине базовой пластины (рисунок 2). Другие модели показали меньшие значения максимума напряжения (56 В и 40 В соответственно) на частотах близких к 535 Гц.

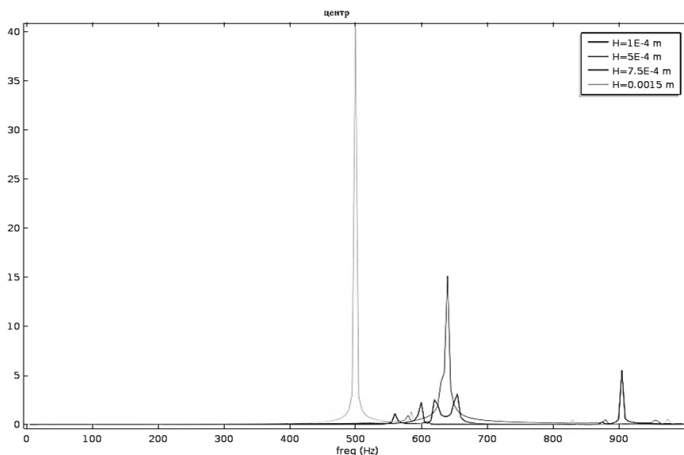


Рисунок 2. График выходного электрического напряжения при расположении пьезоэлементов посередине базовой пластины

Заключение

Полученные результаты показывают, что наилучшим расположением пьезоэлектриков на пластине является положение посередине, при толщине пьезоэлектриков 0,5 мм. Дальнейшая работа будет направлена на создание модели пьезогенератора с более широкой полосой пропускания и экспериментальное подтверждение полученных результатов.

Список литературы:

1. Erturk A., Inman D.J. Piezoelectric Energy Harvesting. N.-Y.: Wiley, 2011. – 392 p.
2. V. Tsaplev, R. Konovalov, K. Abbakumov. Disk Bimorph-Type Piezoelectric Energy Harvester // Journal of Power and Energy Engineering, The 7-th Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APEEC 2015), Scientific Research Publishing, Vol. 3, № 4, p. 63-68.

1.6. СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

ПРЕИМУЩЕСТВА СБОРНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПАРКОВОК В Г. САМАРА

Гаврилова Наталья Александровна

*студент, Академия строительства и архитектуры
Самарского государственного технического университета –
АСА СамГТУ,
РФ, г. Самара*

Синюгина Елена Александровна

*студент,
Академия строительства и архитектуры
Самарского государственного технического университета –
АСА СамГТУ,
РФ, г. Самара*

THE ADVANTAGES OF REDY-MADE METAL PARKING LOTS IN SAMARA

Natal'ya Gavrilova

*student of Academy of Construction and Architecture
Samara State Technical University,
Russia, Samara*

Elena Sinyugina

*student of Academy of Construction and Architecture
Samara State Technical University,
Russia, Samara*

Аннотация. В данной работе мы проанализировали сборные металлические парковки, как альтернативу тяжелым конструкциям из железобетона. Они имеют ряд преимуществ: низкая стоимость, простота монтажа, минимальные затраты оборудования, высокая скорость строительства. Оптимальным решением проблемы крупных городов с парковками является строительство централизованных многоуровневых сборных парковок.

Abstract. We analyzed prefabricated metal parking lots as an alternative to heavy reinforced concrete structures. They have a number of advantages: low cost, easy installation, minimal equipment costs, high construction speed. The optimal solution to the problem of large cities with parking is the construction of centralized multi-level redy-made parking lots.

Ключевые слова: сборные парковки; автотранспорт; паркинг из металла; проблемы автомобилистов.

Keywords: redy-made parking lots; automobile transport; metal parking; problems of road-users.

С каждым днем на дорогах количество машин только увеличивается, поэтому вопрос парковок в крупных городах приобретает все большую значимость. Каждый день, уезжая на работу, автомобилисты задаются вопросом, смогут ли вечером найти свободное место для своего средства передвижения. Припаркованные вдоль проезжей части или во дворах вдоль домов транспортные средства уменьшают пропускную способность городских трасс. Решение проблемы автостоянок легковых автомобилей решается устройством подземных паркингов в жилых зданиях, но, как правило, они не удовлетворяют потребности в парковочных местах на 40-60 %, так как устраиваются всего в один или два этажа. Площадки для автотранспорта в жилой застройке являются наиболее простым типом парковок, но машины подвергаются воздействию внешних факторов, что негативно сказывается на автомобилях, и не обеспечивают сохранность и наблюдение за транспортными средствами. На наш взгляд, оптимальным решением проблемы является строительство централизованных сборных парковок.



Рисунок 1. Пример многоуровневой сборной парковки из металлоконструкций

Модульные быстровозводимые парковки - выигрышная альтернатива капитальным сооружениям из железобетона. Возведение такого варианта не требует проведения затратных земляных работ и устройства тяжелого фундамента глубокого заложения. Конструкции данного типа устанавливают на ленточные, столбчатые фундаменты или на бетонную площадку. Это достигается преимущественно низким весом сооружений по сравнению с традиционными железобетонными постройками. Еще одним плюсом является высокая скорость строительства, простота монтажа, малое число единиц техники, необходимой для сборки. Такую конструкцию можно создать за пару месяцев, что экономит время и затраты заказчика. Строительство конструкций для стоянки автомобилей из металла имеет и еще не малые существенные преимущества: низкая стоимость, короткие сроки строительства в любое время года, технологичность и простота монтажа, меньшие сроки окупаемости проекта.

Такая парковка состоит из готовых модулей, которые легко можно собрать как конструктор. Их легко смонтировать, демонтировать, перевезти и собрать снова на новой площадке. При сборке в местах крепления применяют соединение с помощью болтов, что упрощает монтаж. Затраты на оборудование состоят в минимальной работе крана, а в некоторых случаях можно полностью отказаться от него. Себестоимость паркинга из металлоконструкций на 30 % меньше железобетонного.

Проектирование многоуровневых сборных паркингов состоит из следующих этапов:

- разработка рабочей и проектной документации;
- разработка схемы проездов автомобильного транспорта и передвижения людей;
- проектирование схем расположения машин на территории паркинга.



Рисунок .2 Внутренний вид Авто-башни в Вольфсбурге

Прекрасным примером для нас являются сооружения, построенные в Германии. В Вольфсбурге есть две авто-башни, сделанные из стали и стекла. Они предназначены для хранения 400 новых автомобилей. Автомобиль доставляется на площадку со скоростью 2 метра в секунду запатентованной технологией подъема и транспортировки. Вокруг главного стального стержня башни вращаются платформы, на которых поднимаются автомобили. Такая система очень современная, но и дорогостоящая, однако даже она находит довольно широкое применение. Поэтому упрощенный, а следовательно, более дешевый и для застройщика, и для клиентов, вариант с заездом на парковочное место водителем самостоятельно был бы несомненно востребован.

Устройство централизованных парковок является отличным решением для крупного города. Установить их можно в центральной части города, в микрорайонах, вблизи авто- и железнодорожных вокзалов, аэропортов, развлекательно-торговых центров.

В Самаре значительная часть города располагается на заболоченной местности (Куйбышевский район) или на карстовых породах. Поэтому желательно при увеличении количества построек, тем не менее, по возможности искать альтернативу тяжелым конструкциям. Именно металлические сборные парковки подходят для этой задачи. Еще одной особенностью города являются внезапное выпадение осадков в зимний период, которое причиняет массу неудобств автовладельцам: на узких улицах мимо припаркованных автомобилей и так тяжело проехать, после снегопада владельцу очистить машину тяжело, а проехать остальным – порой и вовсе невозможно.

В связи с этим предлагаем в каждом микрорайоне установить хотя бы по одной парковке. Наиболее оптимальный вариант: многоуровневая конструкция из металлического каркаса (покрытого антикоррозийными составами) с перекрытиями из специальных железобетонных плит со встроенными креплениями к основной конструкции и навесными облегченными сэндвич-панелями для защиты от непогоды. Крыша – неэксплуатируемая, покрытая кровельными сэндвич-панелями.

В такой парковочный комплекс можно ввести систему оплаты проездными картами, по которой водитель автомобиля может заезжать на парковку такого же типа по всему городу и области. Карту предлагается ввести специальную по всему городу, по типу единой транспортной с пополнением счета. Эта карта с уникальным кодом для каждого владельца будет являться пропуском на въезд и на выезд. Списание оплаты будет производиться автоматически на выезде мимо контрольно-пропускного пункта. Цены предлагается ввести по возможности минимальные, делая ставку на поток клиентов.

Для обеспечения комфорта можно ввести дополнительные функции и услуги:

- осуществлять зарядку электрических автомобилей, которые приобретают с целью улучшения экологической ситуации в городе;
- поставить автоматы с водой, закусками, горячими напитками;
- оборудовать рядом с пунктом охраны на въезде маленький магазинчик с разными необходимыми мелочами для авто.

Таким образом, мы считаем, что при введении такого проекта в г. Самара ситуация с парковками изменилась бы в лучшую сторону, а водители могли бы всегда иметь свободное место в закрытом, охраняемом и надежном паркинге.

Список литературы:

1. Игнатъев Ю.В. Возведение автомобильных стоянок и парковок в крупных городах [Электронный ресурс]//Строительство и архитектура: сайт.- URL:<https://cyberleninka.ru/article/n/vozvedenie-avtomobilnyh-stoyanok-i-parkovok-v-krupnyh-gorodah> (Дата обращения: 10.01.2017)
2. Строительство паркингов и многоэтажных гаражей из ЛСТК, ЛМК [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://lstkclub.ru/stroitelstvo-parkingov-i-mnogoetazhnih-garazhei-lstk-lmk/> (Дата обращения: 08.01.2017).

1.7. ТЕХНОЛОГИЯ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ ТЕКСТИЛЬНОЙ И ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОДЕЖДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНСТРУКТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И АЛГОРИТМ МОДЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ БАЗОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Темиршиков Кудрат Мамиршикович

*магистр, старший преподаватель, кафедры
«Технология и конструирование изделий легкой промышленности»,
Южно-Казахстанский Государственный Университет им. М. Ауэзова
Республика Казахстан, г. Шымкент*

Сабырханова Салтанат Шалхарбаевна

*магистр, старший преподаватель, кафедры
«Технология и конструирование изделий легкой промышленности»,
Южно-Казахстанский Государственный Университет им. М. Ауэзова
Республика Казахстан, г. Шымкент*

Мирзамуратова Роза Шамуратовна

*магистр, старший преподаватель, кафедры
«Технология и конструирование изделий легкой промышленности»,
Южно-Казахстанский Государственный Университет им. М. Ауэзова
Республика Казахстан, г. Шымкент*

Нурсейтова Мираш Конарбаевна

*магистр, преподаватель, кафедры
«Технология и конструирование изделий легкой промышленности»,
Южно-Казахстанский Государственный Университет им. М. Ауэзова
Республика Казахстан, г. Шымкент*

DESIGNING CLOTHES WITH USE OF CONSTRUCTIVE MODELLING AND ALGORITHM OF MODEL TRANSFORMATIONS OF BASIC CONSTRUCTIONS

Kudrat Temirshikov

*Master, Senior Lecturer of the Department
"Technology and construction of light industry products",
M. Auezov South Kazakhstan State University
Republic of Kazakhstan, Shymkent city*

Saltanat Sabyrkhanova

*Master, Senior Lecturer of the Department
"Technology and construction of light industry products",
M. Auezov South Kazakhstan State University
Republic of Kazakhstan, Shymkent*

Roza Mirzamuratova

*Master, Senior Lecturer of the Department
"Technology and construction of light industry products",
M. Auezov South Kazakhstan State University
Republic of Kazakhstan, Shymkent*

Mirash Nurseytova

*Master, Senior Lecturer of the Department
"Technology and construction of light industry products",
M. Auezov South Kazakhstan State University
Republic of Kazakhstan, Shymkent*

Аннотация. В статье рассматриваются этапы преобразования базовых конструкций и проектирование одежды с использованием конструктивного моделирования. Используя модельные преобразования по различными алгоритмам, работая с базовой конструкций или шаблонами делалей.

Abstract. The article deals with the stages of transformation of basic designs and designing clothes using constructive modeling. Using model transformations for various algorithms, working with basic constructs or templates of delays.

Ключевые слова: одежда; конструирования; проектирования; модельных преобразования; моделирования; алгоритм; баланс изделия.

Keywords: clothing; construction; design; model transformation; modelling; algorithm; balance of production.

При проектировании одежды широко применяются новые информационные технологии при проектировании и конструировании швейных изделий и поиск наиболее рациональных вариантов решений основных формообразующих и отделочных материалов и деталей внешнего оформления.

Модельные преобразования можно выполнять по различным алгоритмам: работая с базовой конструкцией, с исходной модельной конструкцией или пользуясь шаблонами деталей. Выбор того или иного пути зависит от мастерства и опыта конструктора.

Процесс внесения модельных преобразований может заключаться в некоторых уточнениях базовой основы или в ее более или менее значительном преобразовании. В зависимости от степени изменения базовой конструкции можно условно выделить четыре вида конструктивного моделирования.

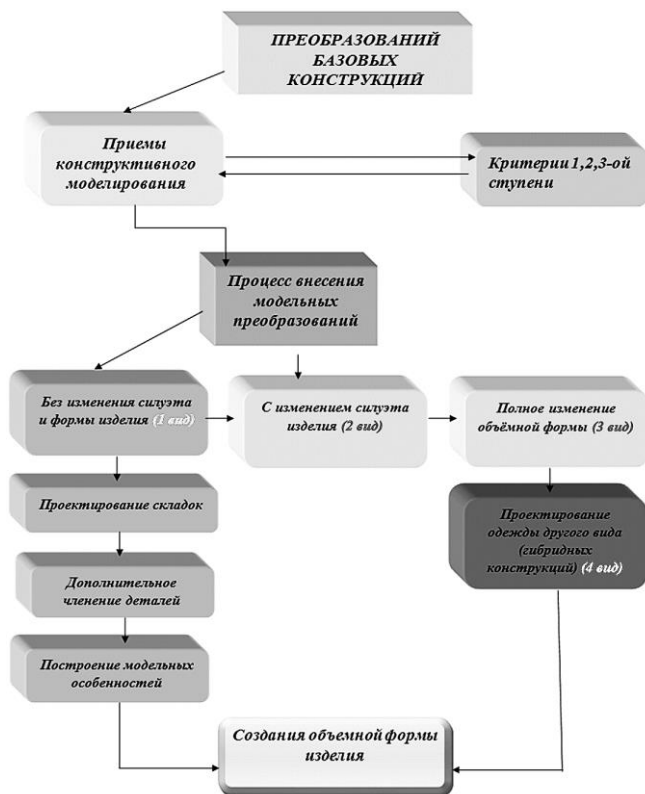


Схема 1. Алгоритм этапов модельных преобразований

При выборе подходящей исходной конструкции (ИК) необходимо руководствоваться следующими критериями:

Критерии 1-ой ступени характеризуют вид и ассортимент одежды и ткани, покрой, силуэт, размер, рост и полнотную группу;

Критерии 2-ой ступени оценки ИК характеризуют степень её сходства с разрабатываемой моделью по основным габаритным размерам;

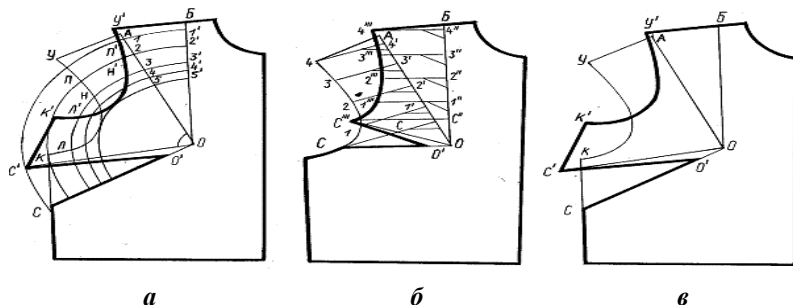
Критерии 3-ой ступени связаны с членением основных деталей конструкции. Для разработки моделей классического стиля при выборе базовой основы следует отдавать предпочтение типовым конструкциям [1, с. 13] [1, с. 57]. [1, с. 57]. [1, с. 57].

В процессе преобразований лекал могут возникать погрешности, связанные с нарушением сопряженности срезов и утратой конструктивных достоинств базовой конструкции в части формообразования и сохранения балансовых соотношений.

Во вновь разработанной конструкции проверяются соединяемые друг с другом срезы по длине с учетом запрокинутой посадки, растяжения и сопряженности соседних с ними участков контуров деталей. Как правило, сумма конструктивных углов в концевых точках каждого среза должна составлять 180° . Проверка условий формообразования деталей заключается в сопоставлении растворов старых и новых выточек, углов сутюживания, кривизны срезов рельефных швов различного направления. Допускается обоснованное изменение формы изделия, вызванное новым направлением моды.

В своей работе конструктор воспроизводит модели одежды, руководствуясь различными источниками. Однако даже самый лёгкий случай – выполнение модели по готовому изделию требует большого внимания и сноровки. Поэтому начинающим конструкторам рекомендуется выполнять моделирование на готовой базовой конструкции, строго следуя за соблюдением конструктивных параметров: сохранением баланса изделия, расположением монтажных надсечек и сопряжённостью монтируемых срезов [2, с. 119], [1, с. 57], [1, с. 57], [1, с. 57].

Имея достаточный опыт и сноровку, конструктор может вносить модельные особенности в шаблоны лекал. Шаблоны лекал основных деталей изготавливают, копируя их контуры резцом или шилом или с помощью инженерных методов развёртывания на плоскости [1, с. 57].



**Рисунок 1. Перевод верхней вытачки способом:
а – дуг и засечек; б – перпендикуляров; в – шаблонов**

Однако не зависимо от того, какой вид конструктивного моделирования использован для создания конструкции новой модели главное то, что она должна обеспечивать хорошее качество посадки изделия на фигуре. Желаемый результат достигается только в том случае, когда соблюдаются следующие условия:

- использование апробированной исходной конструкции;
- сохранение монтажных связей между смежными деталями по изменяемым и новым линиям членения;
- сохранение или обоснованное изменение балансовой характеристики конструкции.

В силу специфики особенностей проектирования одежды, такие стадии как предпроектные исследования, испытания и внедрения образца не характерны для предприятий швейной отрасли.

Коротко охарактеризуем основные работы выполняемые при проектировании новых моделей одежды.

Важно отметить, что методы конструктивного моделирования без изменения силуэта позволяют сохранить качество посадки, обеспечиваемое базовой конструкцией.

Список литературы:

1. Герасименко М.С. «Конструктивное моделирование одежды». Учебное пособие для вузов. / Герасименко М.С. – Ростов на Дону: РАС, ЮРГУЭС, 2010. – 148 с.
2. Коблякова Е.Б., Ивлева Г.С., Романов Б.Е. и др. Конструирование одежды с элементами САПР: Учебник для вузов/ 4-е изд., Е.Б. Кобляковой. - М.: КДУ, 2007 г. - 408 с.

1.8. ЭНЕРГЕТИКА

РАЗВИТИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ. АНАЛИЗ РАБОТ ПО РАЗРАБОТКЕ ВЕТРОВЫХ КОНЦЕНТРАТОРОВ, ДИФФУЗОРОВ, КОНФУЗОРОВ

Милютин Алексей Юрьевич

*магистрант, Омский государственный технический университет,
РФ, г. Омск*

Уан Роман Анатольевич

*магистрант, Омский государственный технический университет,
РФ, г. Омск*

Готфрид Павел Андреевич

*бакалавр, Омский государственный технический университет,
РФ, г. Омск*

DEVELOPMENT OF WIND POWER. ANALYSIS OF WORKS ON DEVELOPMENT OF WIND CONCENTRATORS, DIFFUSERS, CONFUSERS

Aleksey Milyutin

*master student, Omsk State Technical University,
Russia, Omsk*

Roman Uan

*master student, Omsk State Technical University,
Russia., Omsk*

Pavel Gotfried

*bachelor, Omsk State Technical University,
Russia, Omsk*

Аннотация. В данной статье рассмотрено перспективное направление в энергетике и его развитие в настоящее время. Затронуты основные проблемы ветроэнергетики и пути их решения. Были изучены и проанализированы труды великих ученых по модернизации конструкций и улучшению выходного параметра ветроэнергетических установок (ВЭУ). На основе проведенного анализа сделан вывод на дальнейшие перспективы ветроэнергетики.

Abstract. In this article, a perspective direction in the energy industry and its development at present is considered. The main problems of wind energy and ways of their solution are touched upon. The works of great scientists on the modernization of structures and improvement of the output parameter of wind power plants were studied and analyzed (Wind turbine). Based on the analysis, a conclusion is drawn on the further prospects of wind energy.

Ключевые слова: ветроэнергетика; диффузор; конфузор; ветровой концентратор; ветроэнергетическая установка.

Keywords: wind energy; diffuser; confuser; wind concentrator; wind power plant.

В настоящее время перспективным направлением дальнейшего развития энергетики является получение энергии из возобновляемых источников в частности из энергии ветра.

Однако в современных реалиях существует ряд причин, препятствующих широкому использованию энергоустановок, работающих на основе возобновляемых источников энергии, и в частности ВЭУ. К этим причинам можно отнести: низкую удельную плотность воздушного потока; существенную зависимость величины энергии ветрового потока от природных условий, что обусловлено периодами ветровых затиший различной продолжительности; недостаточную разработанность методов по обоснованию эффективности энергоустановок подобного рода, оптимизации и выбора их основных параметров.

Во многом эффективность работы ветровых энергоустановок зависит от их конструкции и параметров основных элементов. Общей характерной особенностью энергоустановок работающих на основе возобновляемых источников энергии является то, что для организованного подвода и отвода водного (воздушного) потока к рабочему колесу и от него используются различного типа потоконаправляющие устройства или концентраторы потока. Концентраторы потока представляют собой конфузорные или диффузорные устройства, устанавливаемые в непосредственной близости от рабочего колеса энергоустановки.

В данное время направление ветроэнергетики широко развивается и претерпевает положительные изменения в конструкции. Учёные разных стран стараются внести свою лепту в совершенствовании ветрового концентратора. Рассмотрим зарубежный опыт ускорителей потока [1].

Например, рассмотрим Chuanzong Sun, Guangkun Shan, Lidong Yang сотрудники Шеньянского технологического университета в Китае написали статью «Анализ силы 3 МВт ветровой турбины с концентратором» [4]. В своей работе товарищи учёные рассматривали ветровой концентратор, как ключевой компонент в ветровой турбине. Во-первых, были описаны преимущественные характеристики шестигранного элемента, а затем на основе программного обеспечения, провели стресс-анализ ступицы. На основе программного обеспечения HYPERMESH был сделан анализ, как модель концентратора входит в зацепление с шестигранным элементом. Для экспериментальных исследований использовалась платформа анализа Patran / Nastran. В результате проделанной работы учёные пришли к выводу, что при использовании шестигранных элементов можно получить более плавное распределение нагрузки. Также понадобится меньшее время анализа процессора, в отличие от четырехгранных элементов.

Ученые из отдела машиностроения Benha University, Инженерного факультета города Каира в Египте Hossam M. Elbakry, Ahmed A.A. Attia, Osama Ezzat Abdelatif занимались моделированием диффузора для дополнительной производительности ветродвигателя [5].

В частности, данное исследование посвящено изучению влияния разработки различных форм диффузоров для повышения мощности ветровой турбины. Для этой цели, были выбраны два диффузора в качестве эффективных по дизайну для повышения скорости ветра. Использовалась проверенная модель небольших коммерческих ветровых турбин AMPAIR-300 для моделирования и анализа с помощью программного проектирования в Solid-Works и вычислительной гидродинамики (CFD), а также программного комплекса ANSYS-15.

Следующие Michał Kulak, Maciej Karczewski и Krzysztof Olasek из Института Турбомашин, факультета машиностроения, технический университет Лодзи, Лодзь Польша провели работу: «Анализ динамики диффузора, дополненная модель ветровой турбины для исследования ветровых тоннелей» [7].

В статье рассматриваются результаты внедрения экспериментальной небольшой ветровой турбины размещенной внутри испытательной секции аэродинамической трубы. Исследование включало в себя определение влияния размера диффузора на блокирование воздействия потока. Также были спрогнозированы нагрузки, которые могут

воздействовать на модель, тем самым помогая понять необходимые меры в предстоящем исследовании аэромеханики. Исследование касается ветровых турбин, размещенных внутри канала диффузора. Совсем недавно данного типа преобразователи энергии ветра были объектом многочисленных исследований в Институте Турбомашин политехнического университета. Численное исследование было проведено с помощью программного комплекса ANSYS cfx 15.0.

Университет Ирана, факультет электротехники и вычислительной техники, ученые Amirhossein Dolatabadi, Behnam Mohammadi-ivatloo, Mehdi Abarouei написали статью на тему: «Оптимальный стохастический дизайн интегрированного энергетического ветроконцентратора» [2].

Это исследование представляет собой стохастический подход к дизайну интегрированного ветроэнергетического концентратора с несколькими энергетическими системами. Для дизайна ветроэнергетического интегрированного концентратора необходимо было определение оптимально соответствующих характеристик, размер системы компонентов, которые удовлетворяют электрический и тепловой спрос и параметры системы. Для эксплуатации, показателей надежности, такие как потери нагрузки и энергии ожидания. В итоге предложенная модель иллюстрирует эффективность применения предполагаемого подхода.

Ещё один из известных Университетов науки и технологий Египет- Япония, факультет энергетических ресурсов и окружающей среды, ученые Ashraf Amer, Ahmed Hamza H. Ali, Yehia ElMahgary, написали статью на тему: «Влияние конфигурации диффузора на поле потока внутри ветроконцентратора» [3].

С помощью моделирования вычислительной гидродинамики исследован в данной работе эффект рассеивания потока ветра внутри ветроконцентратора. Чтобы достичь минимальных потерь, диффузоры с различным соотношением диаметра длины рассматриваются для оценки оптимального расположения ротора внутри концентратора ветра. Полученные результаты показывают, что соотношение оптимального диаметра D , расширяются к диаметру $8D$. Оптимальная форма диффузора является выпуклой с радиусом кривизны. Провели исследование коэффициента ускорения, с максимальным расстоянием от входа. Определили оптимальное расположение ротора ветроустановки.

Военно-технологический университет Варшавы, Польша, кафедра механики и прикладной информатики, ученые Krzysztof Damaziak, Jerzy Małachowski, Michał Tomaszewski, провели работу на тему: «Численный анализ диффузоров малых ветровых турбин с помощью взаимодействия жидкой структуры» [6].

В данной статье описан численный анализ прототипа легкого диффузора. Анализ использует метод конечных элементов и конечных объемов. В работе представлены методика и процесс построения численной модели, которая позволит совмещать анализ турбинного расходомера жидкости и структурный анализ. Были исследованы два случая нагрузки турбины – турбина работает при скорости ветра и в случае, когда лопадки турбины блокируются.

Mouldi KARDOUS, Rym CHAKER, Fethi ALOUI and Ichrak ABIDI. Лаборатория ветра и рационального использования энергии – LMEEVED. Научно-технический центр энергетики, Тунис. Провели работу на тему: «Направления воздействия ветровых потоков на аэродинамические характеристики диффузора и установки» [8].

В данной работе рассматриваются геометрические характеристики диффузора дополненного ветровой турбиной, основные параметры которого аэродинамическая характеристика энергии ветра. Результаты экспериментов, полученные в аэродинамической трубе и численное моделирование, показывают, что скорость ветра воздушного потока в диффузоре увеличивается при приближении к турбине. Она достигает максимального значения при рассеивании, где и должна быть установлена ветровая турбина, и затем скорость ветра уменьшается. Увеличение скорости ветра, в основном зависит от позиции двух вращающихся вихрей, сформированных из-за неустойчивого рассеивания. В лучших аэродинамических характеристиках диффузора получается, что вихри находятся слишком близко к фланцу, который введен в зону, где расположено выходное сечение диффузора. В то же время высота фланца, открытый угол и длина диффузора достигают оптимальных значений. Помимо этих значений, один из двух вихрей, как правило, погружается в область, ограниченную выходным сечением диффузора. В результате отрыв пограничного слоя происходит возле диффузора во внутренних стенах, и геометрические характеристики перестали значительно влиять на увеличение скорости ветра. На практике это означает, что диффузор может быть более эффективным, если имеется система управления, способная удерживать вихри слишком близко от его кромки.

В заключении данной статьи можно сказать, что совокупность исследований в области ветроэнергетики поможет добиться результатов в дальнейшем продвижении ветряных энергоустановок и их реализации в промышленных масштабах. Рассмотренные проблемы, связанные с низкой удельной плотностью потока воздуха, зависимостью его от природных условий и оптимизацией эффективности установок могут решиться усовершенствованием форм концентраторов, расчетом

оптимальных размеров диффузоров, в том числе применении их управляемых форм. Подводя итог можно сказать, что активные исследования в сфере альтернативных источников энергии приведут в скором времени к широкому распространению мощной ветроэнергетики.

Список литературы:

1. Попель О.С. Возобновляемые источники энергии: роль и место в современной и перспективной энергетике / О.С. Попель // Российский химический журнал (Журнал Российского химического общества им. Д.И. Менделеева). – 2008. – № 6. – С. 95-106.
2. Amirhossein Dolatabadi, Behnam Mohammadi-ivatloo, Mehdi Abapour. Optimal Stochastic Design of Wind Integrated Energy Hub. // IEEE Transactions on Industrial Informatics. 2017. Vol. 13. № 5. P. 2379 – 2388.
3. Ashraf Amer, Ahmed Hamza H. Ali, Yehia EIMahgary. Effect of diffuser configuration on the flow field pattern inside wind concentrator. // Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC), 2013 International. – Ouarzazate, Morocco, 2013. – P. 212 – 217.
4. Chuanzong Sun, Guangkun Shan, Lidong Yang. The strength analysis of 3MW wind turbine hub. // Mechanic Automation and Control Engineering (MACE), 2010 International Conference on. – Wuhan, China, 2010. – P.6095 – 6098.
5. Hossam M. Elbakry, Ahmed A.A. Attia, Osama Ezzat Abdelatif. Simulation of Diffuser Augmented Wind Turbine performance. // Sustainable Technologies (WCST), 2016 World Congress on. – London, UK, 2016. – P.40 – 48.
6. Krzysztof Damaziak, Jerzy Małachowski, Michał Tomaszewski. Numerical analysis of small wind turbine diffuser using fluid structure interaction. // Industrial Electronics Society, IECON 2016 - 42nd Annual Conference of the IEEE. – Florence, Italy, 2016. – P. 5556 – 5561.
7. Michał Kulak, Maciej Karczewski и Krzysztof Olasek. CFD Analysis of Diffuser Augmented Wind Turbine Model for Wind Tunnel Investigation. // Industrial Electronics Society, IECON 2016 - 42nd Annual Conference of the IEEE. – Florence, Italy, 2016. – P.5538 – 5543.
8. Mouldi KARDOUS, Rym CHAKER, Fethi ALOUI and Ichrak ABIDI. Locations of vortices and their impacts on the aerodynamic performances of a diffuser and a DAWT. // Renewable Energies for Developing Countries (REDEC), 2016 3rd International Conference on. – Zouk Mosbeh, Lebanon, 2016. – P. 1-8.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕЖОЧИСТНОГО ПЕРИОДА ДЕПАРАФИНИЗАЦИИ СКВАЖИН ПО ПОКАЗАТЕЛЮ ПРЕЛОМЛЕНИЯ НЕФТИ

Сметанина Екатерина Владимировна

*студент, Тюменский индустриальный университет,
РФ, г. Сургут*

Аннотация. В статье описана проблема определения точного межочистного периода депарафинизации нефтяных скважин и предложен способ ее решения. Интенсивность парафиноотложения коррелирует с одним из оптических свойств нефти – показателем преломления. Выявлена зависимость между показателем преломления и межочистным периодом.

Ключевые слова: депарафинизация скважин, показатель преломления, рефрактометр, обводненность, критическое количество прокаченной нефти, оптические свойства нефти.

Важность точного определения межочистного периода депарафинизации скважин (МОП) обусловлена потерями в добыче при запапарафинивании скважин вследствие уменьшения проходного сечения НКТ, а также дополнительными экономическими затратами, возникающими при просрочке или раннем подходе к очистке скважины от асфальтосмолопарафиновых отложения (АСПО).

Целью работы является создание способа расчета МОПа скважин для месторождений Западной Сибири, который, предположительно, позволит более точно определять МОП и, тем самым, избегать неоправданных экономических затрат.

Задачи:

- Выявить зависимость между показателем преломления нефти и критическим количеством прокаченной нефти (ККПН – объем прокаченной через скважину нефти, за период между двумя профилактическими обработками)
- По установленной зависимости определить теоретический МОП для конкретной скважины и сравнить его с промысловым (эмпирическим)
- Сделать выводы о целесообразности использования полученной зависимости для определения МОП

Состояние нефтяной скважины в условиях интенсивного парафинообразования может быть охарактеризовано рядом стандартных

технических показателей, используемых в качестве контрольных. К ним можно отнести следующие:

- механический показатель, отражающий изменение максимальной нагрузки на головку балансира станка-качалки (в случае эксплуатации скважины ШГН);
- энергетический показатель, характеризующий величину силы тока на ЭД СК (тоже ШГН);
- технологический показатель, учитывающий изменение текущего дебита скважины.

По мере выпадения и роста объема отложений АСПО на поверхности глубинно-насосного оборудования происходит изменение этих контрольных показателей, достигающих своего максимального (минимального) значения в период полного запарафинивания скважины. Величины контрольных показателей, снятых в этот период, являются критическими. Когда указанные параметры достигают своих критических значений, наступает период очистки скважины от АСПО [1].

Однако не всегда достижение контрольными показателями критических значений указывает на запарафиненность скважины. Например, в случае с изменением дебита причин может быть множество, начиная с негерметичности ЭК, заканчивая изменением энергетического состояния залежи.

В качестве еще одного критерия, характеризующего состояние скважины, в данной работе предлагается использовать показатель преломления пробы добываемой нефти.

В данной работе для определения преломления использовался оптический рефрактометр. Выбор скважин-кандидатов желательно осуществлять в шахматном порядке для повышения вероятности получения минимального и максимального значений.

Для исследования были отобраны пробы с 17 скважин: 12 с Конитлорского месторождения, 3 с Рускинского и 2 с Родникового преимущественно с юрских пластов. Стоит отметить, что определялся показатель преломления чистой нефти. Кроме того, было отобрано 4 контрольных пробы, на которых в дальнейшем опробовалась методика.

По эксплуатационным сводкам 17-ти выбранных скважин определялся объем добытой жидкости в периоды между обработками и, с учетом обводненности, рассчитывалось критическое количество прокаченной нефти.

По полученным значениям строится зависимость ККПН от показателя преломления нефти (Рис.3). Коэффициент достоверности аппроксимации составляет 85 %, т. е. данная модель объясняет 85 % вариации или колеблемости зависимой переменной.

Методика определения МОП предельно проста. В общем виде она выглядит так:

- По показателю преломления определяется ККПН
- С учетом обводненности определяется соответствующее количество жидкости $V_{ж}$ (m^3)
- Определяется теоретическая производительность насоса Q ($m^3/сут$)
- $МОП = V_{ж} / Q$

Как уже говорилось выше, помимо 17 проб для установления зависимости, были отобраны еще 4 пробы для проверки теории и, соответственно, определены их показатели преломления (ПП). Методика подробно описана на примере скважины Русскинского месторождения. ПП нефти скважины равен 1,5122, что соответствует трем ста семидесяти пяти m^3 нефти, добытым за период между обработками (Рис. 3).

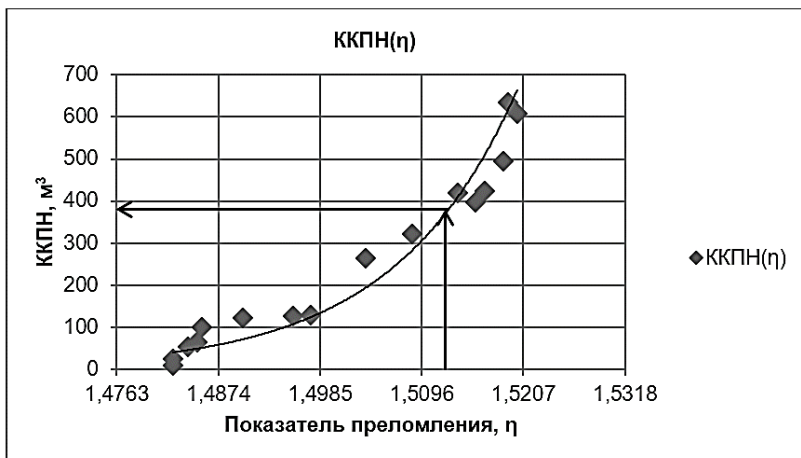


Рисунок Зависимость ККПН от ПП

С учетом обводненности это составляет 1072,6 m^3 жидкости ($V_{ж}$). Объем жидкости делится на производительность насоса, но не на номинальную, а на фактическую ($Q_{факт.}$), поскольку номинальная производительность не отражает реальный режим работы скважины. В итоге получаем МОП для данной скважины, равный 55 суток против 35 планового.

- $\eta = 1,5122$
- $\text{ККПН} = 375,4 \text{ м}^3$
- $V_{\text{ж}} = 375,4/0,35 = 1072,6 \text{ м}^3$
- $\text{МОП} = V_{\text{ж}}/Q_{\text{факт.}} = 1072,6/19,5 = 55 \text{ сут}$

Отбор проб нефти из скважин и построение зависимости между показателем преломления и ККПН периодически повторяют, поскольку свойства нефти меняются в процессе разработки. Найденная зависимость может служить для прогноза МОП всего фонда скважин при дальнейшей разработке.

Выводы:

- Определены показатели преломления 21 пробы нефти с месторождений НГДУ «Комсомольскнефть»
- Получена зависимость между показателем преломления нефти и критическим количеством прокаченной нефти (ККПН)
- На основании выявленной зависимости определено значение межочистного периода для четырех скважин

Таким образом, описанная методика претендует на роль теоретического обоснования подбора межочистного периода скважин. С вероятностью 85 % можно утверждать, что МОП, подобранный таким образом, будет корректным, что позволит сократить расходы за счет уменьшения числа обработок.

Не исключено, что теоретический МОП получится меньше промыслового. Тогда экономия будет состоять в предупреждении непроходов, устранение которых потребует более дорогостоящих обработок.

Список литературы:

1. Каменщиков Ф.А. Тепловая депарафинизация скважин / Ф.А. Каменщиков. – М. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2005. – 254 с.
2. Пат. 2158354 РФ, МКИ Е В 37/00. Способ оценки межочистного периода скважин, осложняющихся асфальтосмолопарафиновыми отложениями / И.Ф. Глузов, Ш.Ф. Тахаутдинов, Р.Р. Ибатуллин и др. (СССР). – № 99117607/03; заявлено 10.08.1999; Опубл. 27.10.2000, Бюл. № 30.
3. Иоффе Б.В. Рефрактометрические методы химии. - Изд. 2-е, перераб. и доп. – Л.: Химия, Ленингр. отд-ние, 1974. – 399 с.

РАЗДЕЛ 2.

МАТЕМАТИКА

2.1. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ, ДИНАМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ

ГРАНИЧНОЕ ИНТЕГРАЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПОЛИГАРМОНИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ

Казакова Анастасия Олеговна

*канд. физ.-мат. наук, доцент,
Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова,
РФ, г. Чебоксары*

THE BOUNDARY INTEGRAL REPRESENTATION OF POLYHARMONIC FUNCTION

Anastasiya Kazakova

*Candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate professor,
The Ulianov Chuvash State University,
Russia, Cheboksary*

Аннотация. На основании интегральной формулы Грина получено представление n -гармонической функции в области T через граничные значения полигармонических функций более низких порядков и их нормальных производных. В осесимметричной пространственной области выполнен переход к контурным интегралам по образующей граничной поверхности. Проведено исследование функций, входящих в полученные представления.

Abstract. The integral representation of n -harmonic function through the boundary values of lower-order polyharmonic functions and their normal derivatives is obtained by using the integral Green formula.

In an axisymmetric spatial domain the transition to contour integrals along the generatrix of the boundary surface is performed. The functions entering into the received representations are investigated.

Ключевые слова: интегральная формула Грина; полигармоническое уравнение; функция Грина; краевые задачи; метод граничных элементов; логарифмическая особенность.

Keywords: integral Green formula; polyharmonic equation; Green function; boundary-value problem; boundary element method; logarithmic singularity.

При изучении свойств гармонических функций, а также при разработке численных методов эффективно применение интегральной формулы Грина, которая для плоской области T имеет вид:

$$\iint_T (v\Delta u - u\Delta v) d\tau = \int_{\partial T} \left(v \frac{\partial u}{\partial n} - u \frac{\partial v}{\partial n} \right) ds, \quad (1)$$

где: Δ – оператор Лапласа.

Из формулы (1) можно получить важную формулу, дающую выражение значения функции в любой точке (x_0, y_0) в плоской области T :

$$u(x_0, y_0) = \int_{\partial T} \left(G(r) \frac{\partial u}{\partial n} - u \frac{\partial G(r)}{\partial n} \right) ds - \iint_T \Delta u G(r) d\tau, \quad (2)$$

где: $G(r) = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{1}{r}$ – функция Грина для плоской области,

r – расстояние от фиксированной точки (x_0, y_0) до переменной точки интегрирования.

Если u – гармоническая функция, то второе слагаемое правой части (2) обращается в нуль, и соотношение выражает значение функции u в любой внутренней точке области T через ее значения на границе. С помощью (2) были разработаны численные алгоритмы для гармонических уравнений, основанные на методе граничных элементов [1], что позволило рассчитать широкий круг задач механики сплошных сред [5], [4]. Аналогичный подход может быть применен и для решения краевых задач для полигармонического уравнения.

Однако в этом случае второе слагаемое правой части содержит двойной интеграл. В настоящей работе для случаев плоской и осесимметричной пространственной области T формула (2) для полигармонической функции u преобразована к виду, содержащему только контурные интегралы.

Интегральное представление полигармонической функции в плоской области

Пусть функция $G_k(r)$ есть частное решение уравнения

$$\Delta^k G_k = G_0(r), \quad G_0 = G. \quad (3)$$

Решение уравнения (3) может быть найдено интегрированием k -кратного оператора Лапласа в полярных координатах. Рассмотрим сначала случай $k = 1$:

$$\Delta G_1 = \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dG_1}{dr} \right) = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{1}{r}, \quad (4)$$

откуда, полагая константы интегрирования равными нулю,

$$\frac{dG_1}{dr} = \frac{1}{2\pi r} \int r \ln \frac{1}{r} dr = \frac{r}{4\pi} \left(\ln \frac{1}{r} + \frac{1}{2} \right), \quad G_1 = \frac{1}{4\pi} \int r \left(\ln \frac{1}{r} + \frac{1}{2} \right) dr = \frac{r^2}{8\pi} \left(\ln \frac{1}{r} + 1 \right)$$

Далее, при $k = 2$ уравнение (3) примет вид $\Delta^2 G_2 = G_0$, $\Delta G_2 = G_1$, откуда:

$$\frac{dG_2}{dr} = \frac{1}{8\pi r} \int r^3 \left(\ln \frac{1}{r} + 1 \right) dr = \frac{r^3}{32\pi} \left(\ln \frac{1}{r} + \frac{5}{4} \right), \quad G_2 = \frac{r^4}{128\pi} \left(\ln \frac{1}{r} + \frac{3}{2} \right).$$

Продолжая аналогично далее, получим следующую формулу:

$$G_k = \frac{1}{2\pi} \frac{r^{2k}}{4^k (k!)^2} \left(\ln \frac{1}{r} + \sum_{m=1}^k \frac{1}{m} \right), \quad r = |z - z_0| = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}. \quad (5)$$

Пусть u – полигармоническая функция n -го порядка, т. е. удовлетворяет дифференциальному уравнению $\Delta^n u = 0$. Введем обозначения:

$$u = u_0, \quad \Delta u = u_1, \quad \Delta^2 u = u_2, \quad \dots, \quad \Delta^{n-1} u = u_{n-1}. \quad (6)$$

Обратимся к уравнению (2) и рассмотрим второе слагаемое в его правой части. Интеграл $\iint_T \Delta u G(r) d\tau$ по области T можно представить в виде

$$\iint_T \Delta u G(r) d\tau = \sum_{k=1}^{n-1} \iint_T (u_k \Delta G_k - \Delta u_k G_k) d\tau.$$

На основании формулы Грина (1) интегралы в правой части последнего равенства представляются через контурные интегралы:

$$\iint_T (u_k \Delta G_k - \Delta u_k G_k) d\tau = \int_{\partial T} \left(u_k \frac{\partial G_k}{\partial n} - \frac{\partial u_k}{\partial n} G_k \right) ds, \quad k = 1, 2, \dots, n-1,$$

где: $\partial / \partial n = (\nabla \cdot \mathbf{n})$ – оператор дифференцирования по внешней нормали.

Поэтому для второго слагаемого правой части (2) имеем окончательно:

$$\iint_T \Delta u G(r) d\tau = \sum_{k=1}^{n-1} \int_{\partial T} \left(u_k \frac{\partial G_k}{\partial n} - \frac{\partial u_k}{\partial n} G_k \right) ds. \quad (7)$$

Подставляя (7) в (2), получим окончательно, что значение полигармонической функции внутри области выражается через граничные значения функций u_k и их нормальных производных по формуле:

$$u(x_0, y_0) = \sum_{k=0}^{n-1} \int_{\partial T} (v_k G_k - u_k H_k) ds, \quad H_k = \frac{\partial G_k}{\partial n}, \quad v_k = \frac{\partial u_k}{\partial n}. \quad (8)$$

С помощью формулы (8) можно получить решение основной краевой задачи для полигармонического уравнения [3].

Интегральное представление полигармонической функции в осесимметричной пространственной области

Формула (8) справедлива и в случае, если область T является трехмерной. При этом правая часть (8) будет представлять собой сумму поверхностных интегралов, $G_0(r) = \frac{1}{4\pi r}$ – функция Грина для пространственной области,

$$G_k = \frac{1}{4\pi} \frac{r^{2k-1}}{(2k)!}, \quad (k = 0, 1, \dots, n-1). \quad (9)$$

Пусть поверхность Σ – граница области T . Тогда формула (8) примет вид

$$u(x_0, y_0) = \sum_{k=0}^{n-1} \iint_{\Sigma} (v_k G_k - u_k H_k) d\sigma. \quad (10)$$

Если поверхность Σ является осесимметричной и функции u_j ($j = \overline{0, n-1}$) обладают осевой симметрией, то поверхностные интегралы в (10) можно свести к контурным интегралам по образующей Γ поверхности Σ . В цилиндрических координатах (z, ρ, φ) функции u_j и v_j не зависят от φ , поэтому из (10) следует

$$u(x_0, y_0) = \sum_{k=0}^{n-1} \int_{\Gamma} (v_k F_k - u_k R_k) r' ds. \quad (11)$$

где: r' – расстояние от оси области T до переменной точки интегрирования,

$$F_k = \int_0^{2\pi} G_k d\varphi, \quad R_k = \frac{\partial F_k}{\partial n}, \quad (k = \overline{0, n-1}). \quad (12)$$

Далее определим вид функций (12). Из (9) и (12) следует, что:

$$F_0 = \int_0^{2\pi} \frac{1}{4\pi r} d\varphi, \quad r = \sqrt{(z - z_0)^2 + \rho^2 + \rho_0^2 - 2\rho\rho_0 \cos(\varphi - \varphi_0)}. \quad (13)$$

Цилиндрические координаты можно выбрать так, чтобы $\varphi_0 = 0$, поэтому

$$F_0 = \frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{\sqrt{a - b \cos \varphi}}, \quad a = \rho^2 + \rho_0^2 + (z - z_0)^2, \quad b = 2\rho\rho_0. \quad (14)$$

Замена $\varphi = \pi + 2\psi$ сводит (14) к полному эллиптическому интегралу I рода $K(\lambda)$:

$$F_0 = \frac{1}{4\pi} \int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{2d\psi}{\sqrt{a+b\cos 2\psi}} = \frac{1}{\pi\sqrt{a+b}} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\psi}{\sqrt{1-\frac{2b}{a+b}\sin^2\psi}} = \frac{K(\lambda)}{\pi\sqrt{a+b}},$$

$$\lambda^2 = \frac{2b}{a+b}. \quad (15)$$

Так как производная $K'(\lambda) = (E(\lambda)/(1-\lambda^2) - K(\lambda))/\lambda$, то

$$R_0 = n_z \frac{\partial F_0}{\partial z} + n_\rho \frac{\partial F_0}{\partial \rho} = \frac{n_\rho [E(\lambda) - K(\lambda)]}{2\pi\rho\sqrt{a+b}} - \frac{n_\rho(\rho - \rho_0) + n_z(z - z_0)}{\pi(a-b)\sqrt{a+b}} E(\lambda). \quad (16)$$

Здесь $E(\lambda)$ – полный эллиптический интеграл II рода. Насколько нам известно, впервые функции вида (15), (16) в иной форме получены в [2].

С помощью той же замены найдем функцию F_1 . После соответствующих преобразований, учитывая, что $E'(\lambda) = (E(\lambda) - K(\lambda))/\lambda$, имеем:

$$F_1 = \frac{\sqrt{a+b}}{2\pi} E(\lambda), \quad R_1 = \frac{n_\rho\sqrt{a+b}}{4\pi\rho} [E(\lambda) - K(\lambda)] + \frac{n_\rho(\rho + \rho_0) + n_z(z - z_0)}{2\pi\sqrt{a+b}} K(\lambda). \quad (17)$$

Для функций F_k ($k \geq 2$) можно получить рекуррентную формулу. Из (12)

$$F_{k+1} = \frac{1}{4\pi(2k+2)!} \int_0^{2\pi} \left(\sqrt{a-b\cos\varphi}\right)^{2k+1} d\varphi =$$

$$= \frac{1}{4\pi(2k+2)!} \int_0^{2\pi} (a-b\cos\varphi) \left(\sqrt{a-b\cos\varphi}\right)^{2k-1} d\varphi.$$

Последний интеграл можно разложить на сумму двух интегралов, первый из которых содержит функцию F_k , а второй можно представить в виде

$$\begin{aligned}
& \int_0^{2\pi} \left(\frac{2k-1}{2k+1} a + b \cos \varphi \right) (a - b \cos \varphi) (\sqrt{a - b \cos \varphi})^{2k-3} d\varphi = \\
& = \frac{2k-1}{2k+1} \int_0^{2\pi} (a^2 - b^2) (\sqrt{a - b \cos \varphi})^{2k-3} d\varphi + \\
& + \frac{1}{2k+1} \int_0^{2\pi} \left(2b \cos \varphi (\sqrt{a - b \cos \varphi})^{2k-1} + (2k-1)b^2 \sin^2 \varphi (\sqrt{a - b \cos \varphi})^{2k-3} \right) d\varphi. \quad (18)
\end{aligned}$$

Можно заметить, что первообразной в последнем интеграле является $2b \sin \varphi (\sqrt{a - b \cos \varphi})^{2k-1}$, и, следовательно, он обращается в нуль. Поскольку

$$\int_0^{2\pi} (\sqrt{a - b \cos \varphi})^{2k-1} d\varphi = 4\pi(2k)!F_k, \quad \int_0^{2\pi} (\sqrt{a - b \cos \varphi})^{2k-3} d\varphi = 4\pi(2k-2)!F_{k-1},$$

то функции

$$F_{k+1} = \frac{4k(2k)!}{(2k+1)(2k+2)!} aF_k - \frac{(2k-1)(2k-2)!}{(2k+2)!(2k+1)} (a^2 - b^2)F_{k-1},$$

или, после сокращения и приведения слагаемых к общему знаменателю,

$$F_{k+1} = \frac{8k^2 aF_k - (a^2 - b^2)F_{k-1}}{4k(k+1)(2k+1)^2}, \quad k = \overline{1, n-2}. \quad (19)$$

Рекуррентное соотношение для нормальных производных имеет вид:

$$\begin{aligned}
R_{k+1} = & \frac{1}{4k(k+1)(2k+1)^2} \left[8k^2 aR_k - (a^2 - b^2)R_{k-1} + \right. \\
& \left. + 4(4k^2 F_k - aF_{k-1})((z - z_0)n_z + \rho n_\rho) + 8\rho_0^2 F_{k-1} \rho n_\rho \right], \quad k = \overline{1, n-2}. \quad (20)
\end{aligned}$$

Исследование функций, входящих в интегральные представления полигармонической функции

Выясним вопрос об особенностях функций, входящих в (8) и (11), при $r = 0$. В плоском случае речь идет о функциях вида (5) и их нормальных производных. Из (5) видно, что среди функций G_k только функция G_0 имеет особенность (логарифмическую); для остальных функций G_k

$$\lim_{r \rightarrow 0} G_k(r) = 0, \quad k = 1, 2, \dots, n-1.$$

Вид функций H_k также получается непосредственно из (5). В частности,

$$\begin{aligned} H_0 &= \frac{\partial G_0}{\partial n} = \frac{\partial G_0}{\partial x} n_x + \frac{\partial G_0}{\partial y} n_y = \frac{dG_0}{dr} \left(\frac{\partial r}{\partial x} n_x + \frac{\partial r}{\partial y} n_y \right) = \\ &= - \frac{(x-x_0)n_x + (y-y_0)n_y}{2\pi r^2}. \end{aligned} \quad (21)$$

Исследуем поведение этой функции при $r \rightarrow 0$. Пусть граница области ∂T задана функциями дуговой координаты $x = x(s)$, $y = y(s)$. Тогда $x_0 = x(s_0)$ и $y_0 = y(s_0)$. В окрестности точки $s = s_0$ ($s = s_0 + \varepsilon$, $\varepsilon \rightarrow 0$) имеем

$$x(s_0 + \varepsilon) = x(s_0) + x'(s_0)\varepsilon + x''(s_0)\frac{\varepsilon^2}{2} + \dots,$$

$$y(s_0 + \varepsilon) = y(s_0) + y'(s_0)\varepsilon + y''(s_0)\frac{\varepsilon^2}{2} + \dots$$

Тогда можно считать, что $(x'_0 = x'(s_0), x''_0 = x''(s_0), y'_0 = y'(s_0), y''_0 = y''(s_0))$

$$x - x_0 = x'_0\varepsilon + x''_0\frac{\varepsilon^2}{2}, \quad y - y_0 = y'_0\varepsilon + y''_0\frac{\varepsilon^2}{2}.$$

В ряды в окрестности $s = s_0$ можно разложить и компоненты нормали:

$$n_x = y'(s) = y'(s_0 + \varepsilon) = y'_0 + y''_0 \varepsilon + \dots,$$

$$n_y = -x'(s) = -x'(s_0 + \varepsilon) = -(x'_0 + x''_0 \varepsilon + \dots).$$

Тогда для функции H_0 будем иметь

$$\begin{aligned} \lim_{r \rightarrow 0} H_0 &= \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\left(x'_0 \varepsilon + x''_0 \frac{\varepsilon^2}{2} \right) (y'_0 + y''_0 \varepsilon) - \left(y'_0 \varepsilon + y''_0 \frac{\varepsilon^2}{2} \right) (x'_0 + x''_0 \varepsilon)}{\varepsilon^2 \left(\left(x'_0 + x''_0 \frac{\varepsilon}{2} \right)^2 + \left(y'_0 + y''_0 \frac{\varepsilon}{2} \right)^2 \right)} = \\ &= \frac{x'_0 y''_0 - y'_0 x''_0}{2(x'^2_0 + y'^2_0)} \neq \infty. \end{aligned}$$

Рассмотрим далее функцию

$$H_1 = \frac{\partial G_1}{\partial n} = \frac{dG_1}{dr} \left(\frac{\partial r}{\partial x} n_x + \frac{\partial r}{\partial y} n_y \right) = \frac{(x - x_0)n_x + (y - y_0)n_y}{8\pi} \left(1 + 2 \ln \frac{1}{r} \right).$$

Функция H_1 при $z \rightarrow z_0$ ($r \rightarrow 0$) стремится к нулю и не имеет в этой точке особенность. Это справедливо и для остальных функций H_k ($k = \overline{2, n-1}$).

Теорема 1. В плоском случае из всех функций G_k , H_k , входящих в интегральное представление для полигармонической функции, только функция G_0 имеет особенность в точке $z = z_0$ ($r = 0$), а именно логарифмическую, т. е. интегрируемую, особенность.

Проведем теперь исследование функций (12), входящих в представление (11). Пусть функции $z(s)$, $\rho(s)$ определяют образующую Γ , а s и s_0 – дуговые координаты точки интегрирования и фиксированной точки на Γ . Исследуем поведение функций F_k при $s \rightarrow s_0$. Тогда $z \rightarrow z_0$, $\rho \rightarrow \rho_0$, и можно показать, что $\lambda \rightarrow 1$ при $s \rightarrow s_0$. Так как $\lim_{\lambda \rightarrow 1} K(\lambda) = \infty$, то $\lim_{s \rightarrow s_0} F_0 = \infty$.

Разложим функцию F_0 в ряд в окрестности этой точки ($s = s_0 + \varepsilon$, $\varepsilon \rightarrow 0$):

$$\lambda \approx 1 - \frac{1}{8} \frac{\rho'^2(s_0) + z'^2(s_0)}{\rho^2(s_0)} \varepsilon^2 - \frac{1}{8} \left[\frac{\rho'(s_0)\rho''(s_0) + z'(s_0)z''(s_0)}{\rho^2(s_0)} - \frac{\rho'^3(s_0) + \rho'(s_0)z'^2(s_0)}{\rho^3(s_0)} \right] \varepsilon^3.$$

В окрестности точки $\lambda = 1$: $K(\lambda) = \ln(-2i\sqrt{2}) - 0.5\ln(\lambda - 1) + O(\lambda - 1)$, поэтому при достаточно близких к единице значениях λ можно считать, что

$$K(\lambda) \approx \ln(-2i\sqrt{2}) - 0.5\ln(\lambda - 1). \quad (22)$$

Подставляя в (22) λ и учитывая, что $\sqrt{\rho'^2(s_0) + z'^2(s_0)} = |\mathbf{n}| = 1$, получим:

$$K(\lambda) \approx (\ln(8\rho_0) - \ln \varepsilon) - \frac{1}{2} \ln \left(1 + \left[\rho'(s_0)\rho''(s_0) + z'(s_0)z''(s_0) - \frac{\rho'(s_0)}{\rho(s_0)} \right] \varepsilon \right),$$

или, с учётом разложения в ряд Маклорена последнего слагаемого,

$$K(\lambda) \approx (\ln(8\rho_0) - \ln \varepsilon) - \frac{\varepsilon}{2} \left[\rho'(s_0)\rho''(s_0) + z'(s_0)z''(s_0) - \frac{\rho'(s_0)}{\rho(s_0)} \right]. \quad (23)$$

Выражение

$$\frac{1}{\pi\sqrt{a+b}} = \frac{1}{\pi\sqrt{(\rho(s) + \rho(s_0))^2 + (z(s) - z(s_0))^2}} \approx \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\rho(s_0)} - \frac{1}{4\pi} \frac{\rho'(s_0)}{\rho^2(s_0)} \varepsilon.$$

Перемножим почленно последнее выражение и правую часть (23), тогда

$$F_0 \approx \frac{1}{4\pi\rho_0} \left\{ 2(\ln(8\rho_0) - \ln \varepsilon) - \left[\frac{\rho'_0}{\rho_0} (\ln(8\rho_0) - \ln \varepsilon) + \rho'_0\rho_0'' + z'_0z_0'' - \frac{\rho'_0}{\rho_0} \right] \varepsilon \right\},$$

откуда видно, при $\varepsilon \rightarrow 0$ ($s \rightarrow s_0$) F_0 имеет логарифмическую особенность.

Так как $E(1) = 1$, то $\lim_{s \rightarrow s_0} F_1 = \rho_0 / \pi$. Согласно рекуррентной формуле (19),

$$\lim_{s \rightarrow s_0} F_{k+1} = \frac{2k}{(k+1)(2k+1)^2} \lim_{s \rightarrow s_0} \left(\rho^2(s) + \rho_0^2 + (z(s) - z_0)^2 \right) F_k - \\ - \frac{1}{4k(k+1)(2k+1)^2} \lim_{s \rightarrow s_0} \left((\rho(s) - \rho_0)^2 + (z(s) - z_0)^2 \right) \left((\rho(s) + \rho_0)^2 + (z(s) - z_0)^2 \right) F_{k-1}.$$

А так как второй предел, очевидно, равен нулю, то оказывается, что

$$\lim_{s \rightarrow s_0} F_{k+1} = \frac{4k\rho_0^2}{(k+1)(2k+1)^2} \lim_{s \rightarrow s_0} F_k, \quad (k \geq 1).$$

Исследуя функции R_k и используя формулу (20), можно получить, что

$$\lim_{s \rightarrow s_0} R_0 = \infty, \quad \lim_{s \rightarrow s_0} R_1 = \frac{n_\rho}{2\pi}, \\ \lim_{s \rightarrow s_0} R_{k+1} = \frac{4k\rho_0}{(k+1)(2k+1)^2} \left(\rho_0 \lim_{s \rightarrow s_0} R_k + n_\rho \lim_{s \rightarrow s_0} F_k \right) \quad (k \geq 1),$$

причём в окрестности точки $s = s_0$

$$R_0 = -\frac{n_\rho \rho'_0 + n_z z'_0}{2\pi\rho_0} (s - s_0)^{-1} + \frac{n_\rho}{4\pi\rho_0^2} \ln(s - s_0) + \left[\frac{n_\rho}{4\pi\rho_0^2} (1 - \ln(8\rho_0)) \right] + \\ + \frac{(n_\rho \rho'_0 + n_z z'_0) \rho'_0 - (n_\rho \rho''_0 + n_z z''_0) \rho_0}{4\pi\rho_0^2} + \frac{(n_\rho \rho'_0 + n_z z'_0) (\rho'_0 \rho''_0 + z'_0 z''_0)}{2\pi\rho_0} \Big] + O(s - s_0).$$

Если положить $s = s_0 + \varepsilon$ ($\varepsilon \rightarrow 0$) и разложить в ряды компоненты вектора нормали в окрестности точки $s = s_0$, то получим окончательно

$$R_0 = -\frac{(\rho''_0 z'_0 - z''_0 \rho'_0) \varepsilon}{2\pi\rho_0} \varepsilon^{-1} - \frac{z'_0 + z''_0 \varepsilon}{4\pi\rho_0^2} \ln \varepsilon + \frac{z'_0 + z''_0 \varepsilon}{4\pi\rho_0^2} (\ln(8\rho_0) - 1) + \\ + \frac{(\rho''_0 z'_0 - z''_0 \rho'_0)}{2\pi\rho_0} \left[\frac{\rho_0 + \rho'_0 \varepsilon}{2\pi\rho_0} + (\rho'_0 \rho''_0 + z'_0 z''_0) \varepsilon \right] + O(\varepsilon),$$

откуда видно, что R_0 имеет в точке $s = s_0$ логарифмическую особенность.

Теорема 2. В пространственном осесимметричном случае из всех функций F_k , R_k , входящих в интегральное представление для полигармонической функции, только функции F_0 , R_0 имеют особенность в точке $s = s_0$ ($r = 0$), а именно обе логарифмическую, т. е. интегрируемую, особенность.

Заключение

Получены интегральные представления n -гармонической функции в плоской и в осесимметричной пространственной области через граничные значения полигармонических функций более низких порядков и их нормальных производных. В случае осесимметричной пространственной области осуществлен переход к контурным интегралам по образующей граничной поверхности. Полученные представления, а также проведенное в данной работе исследование входящих в них функций, могут оказаться полезными при разработке численных методов решения краевых задач для полигармонического уравнения.

Список литературы:

1. Бреббия К., Теллес Ж., Вроубел Л. Методы граничных элементов. М.: Мир, 1987.
2. Воинов В.В., Воинов О.В., Петров А.Г. Метод расчета потенциального обтекания тела вращения потоком несжимаемой жидкости // ЖВМиМФ, 1974. Т. 14, № 3. С. 797 – 802.
3. Казакова А.О. Применение метода коллокации к решению основной краевой задачи для полигармонического уравнения // Вестник Чувашского университета. – 2013. – № 3. – С. 12–19.
4. Петров А.Г. Аналитическая гидродинамика. М.: Физматлит, 2009.
5. Terentiev A.G., Kirschner I.N. Uhlman J.S. The Hydrodynamics of Cavitating Flows. Backbone Publishing Company, USA, 2011.

РАЗДЕЛ 3.

МЕХАНИКА

3.1. МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ, ГАЗА И ПЛАЗМЫ

ИННОВАЦИОННЫЕ СПОСОБЫ УДАЛЕНИЯ ФОСФАТОВ ИЗ СТОЧНЫХ ВОД

Ченский Илья Александрович

*магистрант кафедры Водоснабжения и Водоотведения,
Академия строительства и архитектуры ДГТУ,
РФ, г. Ростов-на-Дону*

Рыбников Сергей Сергеевич

*магистрант кафедры Водоснабжения и Водоотведения,
Академия строительства и архитектуры ДГТУ,
РФ, г. Ростов-на-Дону*

INNOVATIVE METHODS OF REMOVING PHOSPHATES FROM WASTEWATER WATERS

Ilia Chenskij

*graduate student, Department of Water Supply and Wastewater,
Academy of Civil Engineering and Architecture of DSTU,
Russia, Rostov-on-Don*

Sergey Rybnikov

*graduate student, Department of Water Supply and Wastewater,
Academy of Civil Engineering and Architecture of DSTU,
Russia, Rostov-on-Don*

Аннотация. В ходе последнего десятилетия среди научного сообщества ведутся неустанные работы, связанные с поисками наилучших способов удаления фосфатов из сточных вод. Научная статья представляет новую инновационную методику водоочистки фосфор-образующих соединений, способную найти повсеместное распространение.

Abstract. During the last decade, the scientific community c has been working tirelessly to find the best ways to remove phosphates from wastewater. The scientific article presents a new innovative method for water purification of phosphorus-forming compounds, which can find widespread distribution.

Ключевые слова: водоочистка; загрязнения; фосфаты; гальваника.

Keywords: water treatment; pollution; phosphates; electroplating.

Сегодня в силу развивающегося техногенного производства вода, задействуемая для изготовления различной продукции, подвергается загрязнениям, изменяющим ее химические свойства и состав. На ряду с этим ужесточаются предельно допустимые концентрации (ПДК) очищенных сточных вод, сбрасываемых в водоемы. Изменения затронули также и фосфор-содержащие вещества, содержащиеся в очищенных хозяйственно – бытовых сточных водах.

Показатели качества	Значения
Взвешенные вещества, мг/л	$C_p + 0,25$
БПК _{полн} , мг O ₂ /л	3
Азот аммонийных солей(NH ₄), мг/л	0,39
Нитраты(NO ₃), мг/л	9,1
Фосфаты(по P), мг/л	0,5(0,2)

**Рисунок. 1. Показатели ПДК для городских сточных вод водоемов
рыбохозяйственного назначения**

Так, текущее значение составляет 0,2 мг/л и связано с предотвращением эффекта эвтрофикации водных объектов.

Наибольшее применение на сегодняшний день, направленных на удаление фосфор-содержащих элементов, находят 2 метода: биологический и химический соответственно.

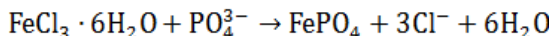
В основе биологического метода удаления, находится технология очистки активным илом, содержащим значительное число фосфорпоглощающих бактерий.

При создании на канализационных очистных сооружениях специальных условий (в аэротенках), например, перемещении активного ила в аэробную зону после выдерживания в анаэробной и аноксидной зонах, данные бактерии начинают интенсивно поглощать фосфор из сточной воды. По окончании аэробной зоны часть иловой смеси вместе с накопленными соединениями фосфора удаляется, концентрация фосфора в сточной воде понижается. Данный повсеместное применение на станциях очистки сточных вод, так как предполагает удаление соединений фосфора наряду с удалением азотных и органических соединений методами нитри-денитрификации. Невзирая на множественные достоинства технологии биологического удаления фосфора множественные научные исследования демонстрируют, что данный метод способствует снижению концентрации фосфора в хозяйственно-бытовых водах до значений 1,0–1,2 мг/л. Для биологического метода данные значения предельны и обусловлены свойствами ила [1].

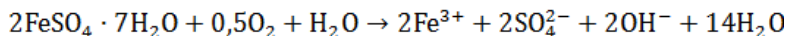
На основании этого можно заключить, что достижение нормативной концентрации фосфора, равной 0,2 мг/л в очищенном стоке воды, и регламентируемой ПДК не представляется возможным.

Достичь соответствующей концентрации фосфор-содержащих веществ возможно при задействовании химического значения способе удаления, основанном на взаимодействии эти фосфатов, содержащихся в сточных водах, и солей алюминия или железа, которые вводят в сточные воды в виде реагентов. Осаждение фосфатов при этом предполагает использование реагентов – FeCl_3 , FeSO_4 и $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ и происходит следующим образом.

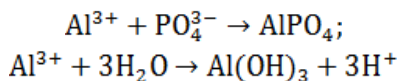
С хлоридом железа (III):



С сульфатом железа (II) (зеленая соль):



С сульфатом алюминия реакция протекает так же, как с трехвалентным железом:



Наиболее значимым условием реализации химического удаления фосфора является определение точки ввода реагента и типа, применяемого вещества.

Вопреки достижению концентрации фосфора в очищенных сточных водах в размере 0,2 мг/л химический способ существенно усложняет технологический процесс очистки сточной воды и удорожает эксплуатацию оборудования.

С этой целью применяются решительные меры, направленные на поиски новых способов очистки сточных вод от фосфатов.

Одним из таковых является биогальванический метод очистки, разработанный и запатентованный Мосводоканал НИИ проектом (патент РФ № 2075202). Способ, основанный на использовании биокоррозии, совмещает биологическое и химическое удаление фосфора. При этом поставщиком реагентов для осаждения фосфора является биологический процесс, вызывающий коррозию металла.

Природа устройства биогальванического способа удаления фосфатов из сточной воды заключается в следующем. В иловую смесь, находящуюся в азротенке, помещают инертный загрузочный материал, армированный металлом. Загрузочный материал в ходе работы оборудования обрастает биопленкой активного ила, где в процессе жизнедеятельности бактерий, окисляя загрязнение сточных вод, продуцируют кислые продукты, выделяя их во внешнюю среду. На границе контакта биопленки и сточной воды образуется локальная зона с активной кислой средой. В результате электрохимической реакции в локальной зоне, на границе биопленка–металл, образуется разность потенциалов и выделяются ионы металла, полностью связывая некоторые анионы. В результате растворения металла в локальной зоне вода обогащается соответствующими ионами (катионами), вступающими в химические реакции с некоторыми содержащимися в воде анионами (PO_4^{3-} , S_2^- и др.). В результате этих химических превращений образуются нерастворимые в воде соли, выпадающие в осадок. Попадая в нейтральную среду, избыток ионов металлов образует нерастворимый гидрат окиси, который способствует осуществлению процесса коагуляции. При достижении низких значений рН, т. е. при высокой концентрации водородных

ионов, растворы интенсивно разрушают сталь. При значениях pH более 9 процесс коррозии замедляется. В кислой среде (при pH = 5) ион PO_4^{3-} вступает в реакцию с трехвалентным железом, исходом которого является образующийся $FePO_4$. Фосфорнокислое железо, нерастворимое в воде, переходя из кислой среды в нейтральную или щелочную, выпадает в осадок. Наряду с солевыми коагулянтами при биогальваническом способе очищаемая вода не обогащается сульфатами и хлоридами, а образующийся осадок сорбируется активным илом. При этом наблюдается снижение илового индекса и уменьшение выноса взвешенных веществ из вторичного отстойника. Дополнительными исследованиями установлено, что при использовании биогальванического метода удаления фосфатов окислительная способность биохимических процессов в аэротенке возрастает в 2–3 раза. Это способствует не только осуществлению глубокой очистки сточных вод от биогенных элементов, но и значительно к сокращению объема аэрационных сооружений. Вместе с избыточным илом осажденный фосфор выводится из системы биологической очистки сточных вод на сооружения обработки осадков [2].

По результату описанного следует, что биологический метод позволяет удалить ограниченное количество фосфора с избыточным активным илом (примерно 1,5 % его массы по сухому веществу). Таким образом, невозможно достичь нормативной концентрации фосфора в очищенной сточной воде 0,2 мг/л. Описанный метод биогальванического удаления фосфора при очистке хозяйственно-бытовых сточных вод является альтернативой реагентному способу и предполагает использование гальванического эффекта, возникающего вследствие погружения в аэротенк инертной загрузки, армированной металлической проволокой. При этом реагент для осаждения фосфора образуется при биологическом процессе, вызывающем коррозию металла.

Разработанные технологические решения с использованием биогальванического метода воплощаются в проектах канализационных очистных сооружений с целью интенсификации биохимических процессов и удаления соединений фосфора из сточных вод.

Список литературы:

1. Кулаев И.С. Биохимия высокомолекулярных полифосфатов. М.: Изд-во МГУ, 1975. – 385 с.
2. Шлегель Г. Общая микробиология. М.: Мир, 1987. – 243 с.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

**НАУЧНЫЙ ФОРУМ:
ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ**

*Сборник статей по материалам XI международной
научно-практической конференции*

№ 1 (11)
Январь 2018 г.

В авторской редакции

Подписано в печать 22.01.18. Формат бумаги 60x84/16.
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 5,875. Тираж 550 экз.

Издательство «МЦНО»
125009, Москва, Георгиевский пер. 1, стр.1, оф. 5
E-mail: tech@nauchforum.ru

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного
оригинал-макета в типографии «Allprint»
630004, г. Новосибирск, Вокзальная магистраль, 3



**НАУЧНЫЙ
ФОРУМ**
nauchforum.ru