

ISSN 2313-4372  
eISSN 2949-432X

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

*ВЫПУСК 11*

---

# Т Р У Д Ы

## Поволжского государственного технологического университета

---

Серия Технологическая



Йошкар-Ола  
2023

УДК 62  
ББК 3  
Т 78

**Ответственный и научный редактор сборника –**  
*Иванов Д. В.*, проректор ПГТУ по научной работе,  
член-корреспондент Российской академии наук,  
профессор, доктор физико-математических наук

**Редакционная коллегия серии:**

*Алибеков С. Я.*, доктор технических наук, профессор  
*Егошина И. Л.*, доктор технических наук, профессор  
*Котлов В. Г.*, доктор технических наук, доцент  
*Курбанов Э. А.*, доктор сельскохозяйственных наук, профессор  
*Павлов А. И.*, доктор технических наук, профессор  
*Роженцов А. А.*, доктор технических наук, профессор  
*Романов Е. М.*, доктор сельскохозяйственных наук, профессор  
*Рябова Н. В.*, доктор физико-математических наук, профессор  
*Сидоркина И. Г.*, доктор технических наук, профессор  
*Ширнин Ю. А.*, доктор технических наук, профессор

**Труды Поволжского государственного технологиче-**  
Т 78 **ского университета.** Сер.: Технологическая. Вып. 11 / отв. и  
науч. ред. Д. В. Иванов. Йошкар-Ола: Поволжский государ-  
ственный технологический университет, 2023. 78 с. URL:  
[https://science.volgatech.net/upload/documents/science/TrudyPG  
TU2023teh.pdf](https://science.volgatech.net/upload/documents/science/TrudyPG<br/>TU2023teh.pdf)

В ежегодном периодическом издании представлены статьи ученых, преподавателей, докторантов, аспирантов и сотрудников ПГТУ, в которых рассматривается широкий круг актуальных вопросов, охватывающих различные научные направления.

УДК 62  
ББК 3

ISSN 2313-4372  
eISSN 2949-432X

© Поволжский государственный  
технологический университет, 2023

## **ПРЕДИСЛОВИЕ**

Поволжский государственный технологический университет – Волгатех является в июне одной из ведущих площадок по подготовке кадров, проведения научных исследований и разработок в области рационального природопользования, инфотелекоммуникационных технологий, наноматериалов и нанотехнологий.

В 2022 году ПГТУ отметил знаменательную дату – 90 лет со дня основания. За годы своего существования вуз прошел путь от лесотехнического института до университетского комплекса, имеющего в своем составе учреждения среднего профессионального образования.

Среди ключевых результатов научно-исследовательской работы можно отметить увеличение общего объема выполненных работ и услуг, составившего в 2022 году более 78,77 млн рублей, в том числе объем научно-исследовательских работ университета – 46,87 млн рублей, финансирование в рамках проекта дооснащения Центра коллективного пользования – 25 млн рублей, объем хозяйственных работ – 20,502 млн рублей. Исследования выполнялись по грантам РФФИ, РНФ, по грантам и договорам с предприятиями и организациями России и Республики Марий Эл.

В вузе активно реализуется изобретательская деятельность, в том числе в соавторстве со студентами. За 2022 год получено 50 охранных документов, в том числе 28 патентов на изобретение, 7 патентов на полезную модель, 15 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ и баз данных. В соавторстве с обучающимися получено 48 охранных документов на объекты интеллектуальной собственности.

Активно проводится работа совета Консорциума университетов, отраслевых и академических НИИ, предприятий и организаций лесного комплекса «ЛЕС», действующего на базе ПГТУ. С 6 по 7 октября 2022 года вуз стал площадкой для научно-практической конференции «Интеграция лесной науки, практики и образования: проблемы и перспективы», в которой приняли участие представители четырех институтов РАН и Рослесхоза, семи университетов лесного профиля, шестнадцати учреждений системы СПО, руководители ряда предприятий и организаций отрасли. Следующим крупным научным мероприятием 2022–2023 учебного года стала XXVIII Всероссийская открытая научная конференция «Распространение радиоволн», проведенная с 16 по 19 мая 2023 года в соответствии с утвержденным Президиумом РАН Планом научных конференций, симпозиумов, съездов, семинаров и школ на 2023 год.

Второй год подряд Волгатех входит в число победителей конкурса на получение грантов на реализацию мероприятий, направленных на поддержку студенческих научных сообществ. Проект университета «Развитие студенческого изобретательства и научной мобильности» получил финансирование в размере одного миллиона рублей. Также с сентября по декабрь 2022 года в стенах ПГТУ была успешно реализована акселерационная программа «ВолгаТЕСН» для организации поддержки проектных команд и студенческих инициатив для

формирования инновационных продуктов, а в апреле 2023 года университет снова стал победителем этого конкурса, уже с двумя проектами – АП «ВолгаTECH 2.0» и АП «ВолгаTECH.INFO».

Научная конференция «Исследования. Технологии. Инновации», ежегодно проводимая в Волгатехе, является одним из важнейших мероприятий в научной жизни университета и основной площадкой для презентации и обсуждения результатов фундаментальных и прикладных исследований преподавателей и сотрудников вуза, способствуя также развитию творческой активности молодых ученых, аспирантов, магистрантов и студентов.

Этот выпуск «Трудов ПГТУ» отражает результаты научно-инновационной деятельности профессорско-преподавательского состава вуза за 2022-2023 учебный год. Сборник статей традиционно состоит из двух серий: Технологической и Социально-экономической. Данная серия сборника – Социально-экономическая. Здесь представлены статьи по следующим направлениям научных исследований:

- радиотехнические, инфокоммуникационные и медико-биологические системы;
- информационные технологии и системы;
- строительство и архитектура;
- транспорт, энергетика, машиностроение;
- биологические и естественные науки;
- инженерия окружающей среды.

***Д. В. Иванов,**  
проректор ПГТУ по научной работе,  
член-корреспондент Российской академии наук,  
доктор физико-математических наук,  
ответственный и научный редактор сборника*

# РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ, ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ И МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

УДК 621.865

## РОБОТОТЕХНИЧЕСКАЯ КОНСТРУКЦИЯ «ПОПУГАЙ»

*Лаврентьев Борис Федорович, Кудрявцев Игорь Аркадьевич,  
Курасов Павел Александрович, Бусыгин Георгий Валентинович,  
Сабанцев Игорь Леонидович, Вафин Тимур Динарович*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
E-mail: LavrentevBF@volgatech.net

*Статья посвящена созданию робототехнической конструкции «попугай», которая функционирует в автоматическом режиме, не имеет органов управления, не обладает интеллектуальными способностями, не требует подготовительных и настроечных работ и в то же время ведет себя достаточно самостоятельно, что, несомненно, может вызвать большой интерес и положительные эмоции у окружающих и способствовать развитию внутреннего и внешнего туризма в Республике Марий Эл. Приводятся структурная схема работы попугая, его конструкция и принцип работы.*

**Ключевые слова:** *робототехническая конструкция; попугай; автоматический режим работы; датчики присутствия; датчики местоположения посетителей; конструкция; блок управления.*

**Введение.** Существует большое количество робототехнических конструкций, выполненных в виде сказочных и былинных героев, животных, людей, выполняющих движения отдельных органов и выдающих звуковую информацию (заявки № 2594041 (Франция), № 0S 3536242 (ФРГ), № 2585583 (Франция), № 2635017 (Франция), № 2594041 (ФРГ), № 0S3703491 (ФРГ), RU 2090234 (РФ)) [1, 2, 3].

Известна говорящая кукла (патент РФ № 94031919 А), которая представляет собой фигуру ребенка со встроенными динамиками и исполнительными механизмами, вызывающими движение органов речи синхронно со звуком. Недостатками существующих робототехнических конструкций являются необходимость предварительной разработки их сценария функционирования и программного обеспечения, присутствие квалифицированного обслуживающего персонала и невозможность ремонта в обычной радиомастерской. Все это приводит к увеличению эксплуатационных расходов.

Основной целью настоящей работы являются повышение функциональных возможностей и улучшение эксплуатационных характеристик робототехнической конструкции за счет введения внешних датчиков местоположения посетителей и автоматического режима ее работы, что значительно повышает эмоционально-психологическое воздействие на окружающих и особенно детей [4].

Общий вид предлагаемой робототехнической конструкции в виде попугая приведен на рисунке 1, структурная схема устройства управления – на рисунке 2.

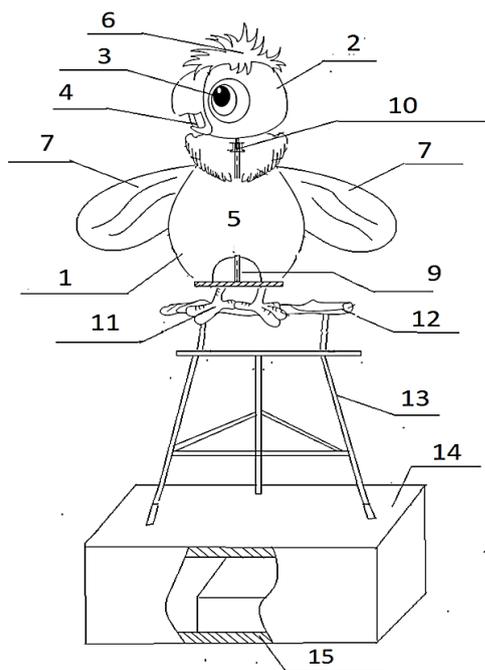


Рис. 1. Попугай: общий вид робота

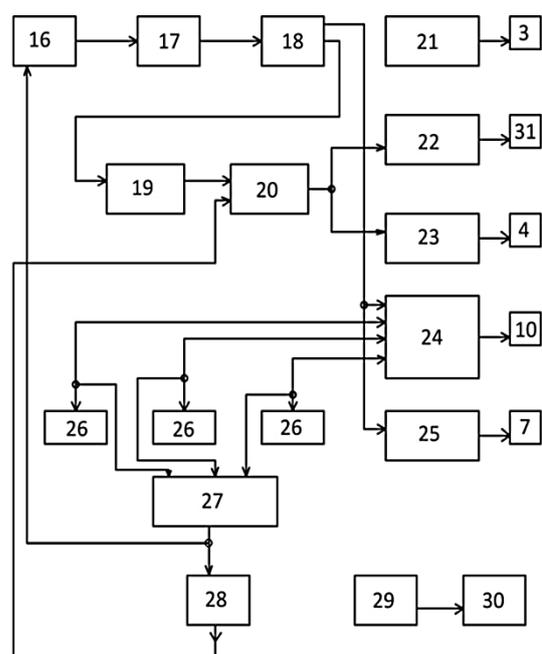


Рис. 2. Структурная схема блока управления

Робототехническая конструкция, выполненная в виде попугая 1, состоит из головы 2, в которой размещены глаза 3 и рот 4, туловище 5, хохолок 6, крылья 7, механизм поднятия крыльев и хохолка 8, стержень 9, соединяющий голову 2 с туловищем 5, механизм поворота головы 10, ноги 11, закрепленные на ветке 12, причем голова 2 соединяется с туловищем 12 через стержень 9.

Фигура попугая 1 размещается на треноге 13, закрепленной на прямоугольном постаменте 14, в котором находится устройство управления 15, внутри него – генератор импульсов со счетчиком команд 16, ППЗУ 17, регистр команд 18, первый формирователь фраз 19, УНЧ 20, формирователь сигналов управления глазами 21, формирователь сигналов звукового сопровождения 22, формирователь сигналов управления ртом 23, формирователь сигналов управления поворотом головы 24, формирователь сигналов управления поднятием крыльев и хохолка 25, датчики местоположения посетителей (ДП 1, ДП 2, ДП 3) 26, элемент ИЛИ 27, второй формирователь фраз 28, датчик присутствия 29, источник питания 30 и динамик 31.

При этом выход генератора импульсов со счетчиком команд 16 подключен на вход ППЗУ 17, выходы ППЗУ 17 подключены на входы регистра команд 18, выходы регистра команд 18

подключены на вход первого формирователя фраз 19, на вход формирователя сигналов управления поворотом головы 24 и на вход формирователя сигналов управления крыльями и хохолком 25, выход первого формирователя фраз 19 подключен на вход УНЧ 20, выход УНЧ 20 подключен на входы формирователя сигналов звукового сопровождения 22 и на вход формирователя сигналов управления ртом 23.

Выходы датчиков местоположения посетителей 26 подключены на входы формирователя сигналов управления поворотом головы 24 и через схему ИЛИ 27 подключены на вход второго формирования фраз 28 и на вход генератора импульсов со счетчиком команд 16, а выход второго формирователя фраз 28 подключен на вход УНЧ 20. Формирователь сигналов управления глазами 21 подключен к глазам 3, формирователь сигналов звукового сопровождения 22 подключен на входы динамика 31, расположенного в воротнике попугая 1, выход датчика присутствия 29 подключен на вход источника питания 30, выходы которого подключены на шины питания всех электронных схем.

В качестве элементной базы для робототехнической конструкции используются микросхемы серий К 561, К 176, типовые элементы памяти, стандартные ППЗУ, которые отличаются низкой стоимостью и высокой надежностью. Особенностью предлагаемой полезной модели является то, что при работе не требуется никаких настроечных и подготовительных мероприятий, так как функционирование предлагаемой конструкции происходит автоматически и без привлечения обслуживающего персонала.

Работа предлагаемой полезной модели происходит следующим образом: в исходном состоянии попугай 1 находится в состоянии покоя. При появлении посетителей срабатывает датчик присутствия 29, который включает блок питания 30, и попугай 1 оживает. Включается генератор импульсов со счетчиком команд 16, включается ППЗУ 17, на выходе регистра команд 18 формируются и выполняются команды. При этом попугай 1 моргает глазами 3, вертит головой 2, поднимает хохолок 6 и крылья 7.

Попугай 1 с акцентом говорит отдельные, не связанные между собой слова и фразы. Движение рта происходит в такт со словами, например: «Я Кеша», «Привет», «Кеша – молодец», «Хочу кушать», «Я очень умный», «Мы победим» и так далее. Фразы могут повторяться и не имеют смысла, но они привлекают посетителей, которые подходят к попугаю 1 и наступают на датчики 26, выполненные в виде пластинок на полу слева, в центре и справа от треноги 12 попугая 1, и представляют собой контакты, которые замыкаются, если на них наступает нога посетителей.

Если посетитель встал на один из датчиков местоположения 26, то попугай 1 поворачивается в его сторону, внимательно смотрит на него, моргает глазами 3 и выдает фразы из второго формирователя фраз 28, например: «Здравствуйте», «Как вас зовут?», «Я – Кеша», «Я умный», «Вы мне нравитесь», «Привет», «Заходите в музей» и т. д. Если посетитель встает на другой датчик 26, то попугай 1 поворачивается в его сторону, и процесс повторяется. Обычно количество датчиков 26 не менее трех. В этом режиме работа генератора импульсов со счетчиком команд 16 запрещена и, следовательно, команды с регистра команд 19 не формируются.

Посетители уходят – срабатывает датчик присутствия 29, и попугай 1 переходит в режим покоя, а посетители еще долго будут гадать, кого они видели: настоящего и очень умного

попугая или робота? Тем более, что фигура попугая *1* по художественному оформлению должна быть схожа с живым попугаем.

Предлагаемая робототехническая конструкция должна устанавливаться перед входами или в помещениях культурных и развлекательных учреждений и привлекать внимание посетителей своим необыкновенным поведением (например, у входа в музей).

**Заключение.** Робототехническая конструкция «попугай» функционирует в автоматическом режиме, не имеет органов управления, не обладает интеллектуальными способностями, не требует подготовительных и настроечных работ и в то же время ведет себя достаточно самостоятельно, что, несомненно, может вызвать большой интерес и положительные эмоции у окружающих и способствовать развитию внутреннего и внешнего туризма в Республике Марий Эл.

#### Список литературы

1. Робототехническая конструкция с внутренним и внешним управлением: патент на полезную модель № 142839 U1 Российская Федерация, МПК А63Н 33/26 / Б. Ф. Лаврентьев, Я. М. Васильева. № 2013143907/12; заявл. 30.09.2013; опубл. 10.07.2014.
2. Лаврентьев Б. Ф., Васильева Я. М. Детские информационные робототехнические конструкции для лечебных и культурных центров // Вестник современной науки. 2015. № 1 (1). С. 111-112.
3. Сафиуллина Я. М., Лаврентьев Б. Ф. Блок управления детскими сказочными робототехническими конструкциями // Человек и общество перед вызовами глобальных трансформаций. Двадцать третьи Вавиловские чтения: материалы Международной междисциплинарной научной конференции: в 2 ч. / под общ. ред. проф. В. П. Шалаева. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2020. Ч. 2. С. 95–98.
4. Абраменкова В. В. Социальная психология детства в контексте развития отношений ребенка в мире // Вопросы психологии. 2002. № 1. С. 3–17.

#### ROBOTIC DESIGN PARROT

*Boris F. Lavrentiev, Igor A. Kudryavtsev, Pavel A. Kurasov, Georgy V. Busygin,  
Igor L. Sabantsev, Timur D. Vafin*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*The article is devoted to the creation of a robotic design Parrot, which works in automatic mode, has no controls, does not have intellectual abilities, does not require preparatory and adjustment work, and at the same time behaves rather strangely, which will undoubtedly arouse great interest and positive emotions among others and will contribute to the development of internal and external tourism in the Republic of Mari El. The block diagram of the robot, its design and operation is given.*

**Keywords:** *robotic design; parrot; automatic operation; presence sensors; visitor location sensors; design; control unit.*

# ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ

УДК 81`32

## АНАЛИЗ И СРАВНЕНИЕ БИБЛИОТЕК ДЛЯ ЛЕММАТИЗАЦИИ СЛОВ РУССКОГО ЯЗЫКА

*Егошина Наталья Николаевна<sup>1,2</sup>*

*Научный руководитель: Савинов Александр Николаевич<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола

<sup>2</sup>ГБПОУ Республики Марий Эл «Марийский радиомеханический техникум», г. Йошкар-Ола

E-mail: natasha-shalangina@yandex.ru

*В данной статье обсуждаются сложности и различные библиотеки для лемматизации русского языка, которые включают в себя преобразование слов в их базовую форму. Исследуются их функции и возможности: точность, определение частей речи, обработка неизвестных слов, размер библиотеки, скорость обработки, время инициализации, использование памяти, стоимость, требования к обучению и ограничения по объему текста. Сравнение помогает исследователям и разработчикам выбрать наиболее подходящую библиотеку для лемматизации русского текста и выполнения других задач обработки естественного языка. Понимая преимущества и недостатки этих библиотек, пользователи могут принимать обоснованные решения для оптимизации своих проектов анализа текста в плане точности, эффективности и использования ресурсов.*

**Ключевые слова:** анализ данных; морфология; лемматизация; базовая форма; обработка неизвестных слов; время инициализации; точность; часть речи; скорость обработки.

**Введение.** Понятие обработки и анализа данных, появившееся в 1978 году, приобрело высокую популярность в современной трактовке примерно в первой половине 1990-х годов. До этого времени обработка и анализ данных осуществлялись в рамках прикладной статистики, при этом в основном решались задачи обработки небольших баз данных.

Анализ данных – это процесс вычислительного извлечения новой информации из «больших данных», а различные отрасли генерируют огромные объемы данных. Это создает широкие возможности для разработки и внедрения новых алгоритмов интеллектуального анализа.

*Анализ и обработка текста* – это область интеллектуального анализа данных, целью которого является извлечение новой ценной информации из неструктурированных (или полуструктурированных) источников. Он извлекает информацию из документов и агрегирует извлеченные фрагменты по всей коллекции исходных документов получения новой информации. Это предпочтительный взгляд на данную область, который позволяет отличить текстовый анализ от обработки естественного языка. Таким образом, получив на вход набор доку-

ментов, методы интеллектуального анализа текста стремятся обнаружить новые закономерности, взаимосвязи и тенденции, содержащиеся в документах.

В достижении общей цели обнаружения новой информации помогают инструменты обработки естественного языка, которые варьируются от относительно простых задач обработки текста на лексическом или грамматическом уровнях (таких как токенизация или тегирование части речи) до относительно сложных алгоритмов извлечения информации (таких как распознавание именованных сущностей для поиска концепций, нормализация для сопоставления их с их уникальными идентификаторами или извлечение отношений и системы анализа настроений). Чем выше сложность задачи, тем больше вероятность интеграции методов интеллектуального анализа данных (таких как классификация или статистическое обучение).

**Основные этапы обработки естественного языка.** Можно выделить общие этапы, которые объединяют обработку текста разными инструментами [1, 2]. Для понимания процесса необходимо подробнее остановиться на первоначальных этапах, среди которых:

- стэмминг;
- лемматизация;
- тегирование частей речи.

**Стэмминг** – это процесс сокращения слова до его основы, то есть корневой формы. Корневая форма не обязательно является словом сама по себе, но она может быть использована для образования слов путем присоединения нужного суффикса.

Например, слова «рыба» и «рыбалка» образуются от корня «рыба», что является правильным словом. С другой стороны, слова study, studies и studying превращаются в studi, что не является английским словом.

Чаще всего алгоритмы стемминга (они же стеммеры) основаны на правилах отсечения суффиксов. Наиболее известным примером является стеммер Портера, представленный в 1980-х годах и в настоящее время реализованный в различных языках программирования.

Традиционно поисковые системы и другие приложения применяют стемминг для повышения вероятности совпадения различных форм слова, рассматривая их почти как синонимы, поскольку концептуально они «принадлежат» друг другу.

Цель **лемматизации** – сгруппировать различные формы слова, называемые леммами.

Этот процесс в чем-то схож со стеммингом, поскольку он объединяет несколько слов в один общий корень. Результатом лемматизации является правильное слово, и отсечение суффиксов не даст такого же результата. Например, лемматизатор должен преобразовать gone, going и went в go. Для достижения своей цели лемматизация требует знания контекста слова, поскольку процесс зависит от того, является ли слово существительным, глаголом и т. д. [7].

**Тегирование** частей речи предоставляет контекстуальную информацию, необходимую лемматизатору для выбора подходящей леммы.

**Сравнение популярных библиотек для лемматизации русского языка.** Русский язык является одним из самых сложных языков в мире по морфологии. Лемматизация слов (приведение их к начальной форме) на русском языке является одной из самых сложных задач в области обработки текста.

Существует множество инструментов и библиотек [3, 4], предназначенных для решения задач NLP. Краткое сравнение основных инструментов будет представлено далее, но нужно понимать, что все библиотеки, которые рассматриваем, имеют лишь частично пересекающиеся задачи. Поэтому иногда их трудно сравнивать напрямую. Некоторые особенности опустим и сравним между собой только те библиотеки, в которых имеется аналогичный функционал.

- Одной из самых популярных библиотек для лемматизации русского языка является **PyMystem3**, которая предоставляет доступ к программе Mystem, разработанной компанией Яндекс [6]. Mystem является морфологическим анализатором для русского языка, способным выполнять лемматизацию, определение частей речи и грамматический разбор слов. PyMystem3 позволяет легко интегрировать функциональность Mystem в проекты, работающие на платформе Python.

Одно из основных преимуществ PyMystem3 – ее способность обрабатывать русскую морфологию с высокой точностью. Mystem основан на словарно-правильной технологии, что позволяет ему работать с различными формами слов и определять их леммы и грамматические характеристики.

- Другой популярной библиотекой для лемматизации русского языка является **Py morphology2** [4]. Она также разработана на основе словарно-правильной технологии и умеет работать с русской морфологией на высоком уровне точности. Py morphology2 также имеет удобный интерфейс ввода данных, который позволяет легко интегрировать ее в свои проекты.

Одно из преимуществ Py morphology2 – способность работать с текстами, содержащими слова, которые не встречаются в словаре благодаря использованию набора грамматических правил для анализа и определения начальной формы таких слов. Это позволяет обрабатывать более широкий спектр текстов.

- Третьей библиотекой для сравнения является **Yargy**, она, как и PyMystem3, разработана компанией Яндекс и работает с русской морфологией. Однако в основе ее работы лежит машинное обучение, а не словарно-правильная технология, что делает ее более универсальной, но менее точной.

Библиотека Yargy имеет гибкий интерфейс, позволяющий разработчикам легко интегрировать ее в свои проекты. Она предлагает широкий спектр возможностей для анализа текста и извлечения информации.

- Наконец, стоит упомянуть библиотеку для обработки естественного языка **Natasha** (Natural Language Toolkit for Russian Language) [5], разработанную компанией Диалоги.Ру и представляющую собой инструмент для работы с текстами на русском языке, включая лемматизацию, синтаксический анализ, извлечение ключевых слов и другие функции.

Библиотека Natasha основана на правилах и статистических моделях, обученных на больших объемах текстовых данных на русском языке, и предлагает простой в использовании интерфейс. Она предоставляет широкий набор инструментов для работы с русским языком в области NLP и позволяет не только лемматизировать слова, но и выполнять другие задачи, такие как извлечение информации, анализ тональности, классификация текстов и многие другие.

Выберем наиболее важные параметры для сравнения библиотек PyMystem3, Py morphology2, Yargy и Natasha для лемматизации русского языка.

**1. Точность лемматизации.** Оценка уровня точности при анализе морфологических особенностей слов. Высокий уровень точности означает более надежные результаты лемматизации.

**2. Определение части речи.** Наличие этой функции позволяет делать более глубокий анализ текста и может быть полезно для различных приложений, таких как построение синтаксического разбора или определение семантической роли слова в предложении.

**3. Обработка неизвестных слов.** Возможность работы с текстами, содержащими слова, которые не встречаются в словаре. Это позволяет более гибко обрабатывать различные типы текстов и расширяет возможности библиотеки при работе с нестандартными или специфическими лексиконами.

**4. Размер библиотеки.** Объем занимаемого места на диске – важный фактор при интеграции библиотеки в проект с ограниченными ресурсами. Библиотеки с меньшим размером могут быть предпочтительными для некоторых приложений.

**5. Скорость обработки текста.** Измеряется в количестве слов или предложений, которые библиотека способна обработать за определенное время. Чем выше скорость обработки, тем быстрее библиотека выполняет лемматизацию.

**6. Время инициализации.** Отражает время, необходимое для инициализации библиотеки перед выполнением лемматизации. Библиотеки, которые быстро инициализируются, позволяют сэкономить время при множественных вызовах.

**7. Размер используемой памяти.** Отражает объем памяти, необходимый для работы библиотеки. Библиотеки, потребляющие меньше памяти, могут быть более эффективными с точки зрения использования ресурсов.

**8. Стоимость и лицензия.** Цена использования библиотеки или связанные затраты. Большинство рассматриваемых библиотек предоставляются бесплатно с открытым исходным кодом, что делает их доступными для использования без дополнительных расходов на лицензирование. Условия лицензии также могут быть важными факторами при выборе библиотеки, особенно для коммерческого использования или в зависимости от требований вашего проекта.

**9. Обновления и поддержка.** Важно учитывать активность разработки, обновления, наличие документации и поддержки библиотеки. Регулярные обновления и поддержка новых версий языка могут обеспечить более высокую производительность и исправление возможных ошибок.

**10. Простота использования.** Она включает в себя удобный и интуитивно понятный интерфейс, хорошо документированный функционал и наличие примеров использования. Это позволяет быстро освоить библиотеку и приступить к ее применению без затрат на длительное изучение или сложную настройку.

**11. Обучение на данных.** Необходимость предварительного обучения модели перед использованием. Некоторые библиотеки требуют предварительного этапа обучения на размеченных данных, в то время как другие работают непосредственно «из коробки».

**12. Ограничения по объему текста.** Некоторые библиотеки могут иметь ограничения на размер обрабатываемого текста, например максимальное количество слов или символов. Этот параметр важен при работе с большими текстовыми данными.

Ниже приведены параметры библиотек PyMystem3, Pymorphy2, Yargy и Natasha в виде таблицы 1.

Таблица 1

## Параметры библиотек

№ п/п	Параметры	PyMystem3	Py morphology2	Yargy	Natasha
1	Точность лемматизации	Высокая	Высокая	Средняя	Средняя
2	Определение части речи	Да	Да	Да	Да
3	Обработка неизвестных слов	Нет	Да	Нет	Да
4	Размер библиотеки	Большой	Средний	Средний	Малый
5	Скорость обработки текста	Высокая	Средняя	Средняя	Высокая
6	Время инициализации	Быстрое	Быстрое	Быстрое	Быстрое
7	Размер используемой памяти	Малый	Средний	Средний	Малый
8	Стоимость и лицензия	Бесплатно LGPL-3.0	Бесплатно MIT	Бесплатно MIT	Бесплатно MIT
9	Обновления и поддержка	Регулярные	Регулярные	Редкие	Регулярные
10	Простота использования	Простая	Простая	Сложная	Простая
11	Обучение на данных	Не требуется	Не требуется	Не требуется	Не требуется
12	Ограничение по объему текста	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует

**Выводы.** Как мы видим, все четыре библиотеки просты в использовании, предоставляют широкий функционал для лемматизации русского языка и не зависят от внешних ресурсов. При принятии решения о выборе конкретной библиотеки важно учитывать и другие факторы, такие как общая совместимость с проектом, примеры использования библиотек и полноту предоставляемой документации. Также стоит отметить, что скорость обработки может быть разной для разных типов текста (например, длина текста, сложность грамматики и т. д.), а также аппаратного обеспечения и оптимизации библиотеки.

В результате сравнительного анализа была выделена библиотека Natasha. Она, по моему мнению, по многим параметрам подходит для большого числа проектов, разрабатываемых в рамках учебной деятельности. Библиотека Natasha представляет собой гибкий и обширный функционал для обработки текста на русском языке, включая токенизацию, сегментацию, лемматизацию, и имеет простой и понятный интерфейс, что упрощает ее использование в проекте. Она также предлагает модель для определения тональности текста, которая может быть полезна для анализа эмоциональной окраски комментариев.

## Список литературы

1. Кузнецова О., Константинова Н., Луценко М. Лемматизация текстов на русском языке: обзор методов и сравнение программных средств // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: по материалам ежегодной Международной конференции «Диалог». 2014. С. 336–349.
2. Голубева А., Ченцов А. Анализ популярных библиотек лемматизации русского языка / Материалы конференции «Диалог-2016» (Dialog-2016 Proceedings). 2016. С. 227–235.
3. Филимонов Д., Кутузов А. Лемматизация русского языка: проблемы и подходы. 2019.

4. Филимонов Д., Кутузов А. Сравнение открытых морфологических парсеров русского языка: Natasha, PyMorphy и Mystem. 2020.
5. Natasha: классификатор документов и распознавание именованных сущностей для русского языка – группа машинного обучения DLSU. URL: <https://natasha.readthedocs.io/en/latest/>
6. GitHub – репозитории библиотек PyMystem3, Pymorph2, Yargy и Natasha, где можно найти документацию, примеры кода и информацию о возможностях и ограничениях каждой библиотеки. URL: <https://github.com/>
7. Официальная документация библиотек PyMystem3. URL: <https://pymystem3.readthedocs.io/>; Pymorph2. URL: <https://pymorph2.readthedocs.io/>; Yargy. URL: <https://yargy.readthedocs.io/>; Natasha/ URL: <https://natasha.readthedocs.io>

## ANALYSIS AND COMPARISON OF LIBRARIES FOR LEMMATIZING RUSSIAN WORDS

*Natalya N. Egoshina*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*This article discusses the challenges and various libraries available for Russian language lemmatization, which involves transforming words into their base form. It explores their features and capabilities, including accuracy, part-of-speech tagging, handling of unknown words, library size, processing speed, initialization time, memory usage, cost, training requirements, and text volume limitations. The comparison helps researchers and developers choose the most suitable library for lemmatizing Russian text and performing other natural language processing tasks. By understanding the strengths and weaknesses of these libraries, users can make informed decisions to optimize their text analysis projects in terms of accuracy, efficiency, and resource usage.*

**Keywords:** data analysis; morphology; lemmatization; base form; handling unknown words; initialization time; accuracy; processing speed.

УДК 65.011.56

## СИСТЕМА АРЕНДЫ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ ТЕХНИКИ

*Корнилов Артём Сергеевич, Морохин Дмитрий Витальевич*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
E-mail: MorohinDV@volgatech.net

*В данной статье рассматривается разработка web-сервиса аренды строительной техники. Исследуются современные инструменты для разработки клиент-серверных приложений. Продемонстрирован весь ход создания приложения с подробным разбором всех частей.*

**Ключевые слова:** web-приложение; backend; frontend; дизайн; архитектура.

**Введение.** Для того чтобы понять, какими данными должно оперировать приложение, какую информацию получать и выводить, в каком виде предоставлять пользователю информацию, а также, каким образом пользователи должны взаимодействовать с пользователями, необходимо предварительно составить макет дизайна web-приложения. Макет дизайна был разработан с помощью онлайн-сервиса для разработки интерфейсов и прототипирования Figma.

Современное web-приложение должно быть доступным как на мобильных устройствах, так и на персональных компьютерах (ПК). Поэтому было принято решение сделать две версии приложения, а именно мобильную и для ПК. Соответственно и макеты были разработаны под две версии.

Разработка макета дизайна в figma, согласно составленному ТЗ, позволила предварительно понять, какие страницы будет содержать текущий web-сайт, какой функционал необходимо предусмотреть при дальнейшей разработке, какие функциональные виджеты необходимо разработать для реализации тех или иных функций. Самое главное – макет, сделанный в figma, предоставляет стили, которые необходимо использовать разработчику при верстке frontend.

В качестве системы управления базами данных (далее – СУБД) была выбрана Microsoft SQL Server [3], соответственно в качестве графической управляющей оболочки к данной системе подойдет SQL Server Management Studio.

Через Management Studio произведены настройки сервера базы данных, адрес подключения, а также работа с внешними приложениями. На рисунке 1 представлена структура базы данных для системы бронирования специализированной техники.

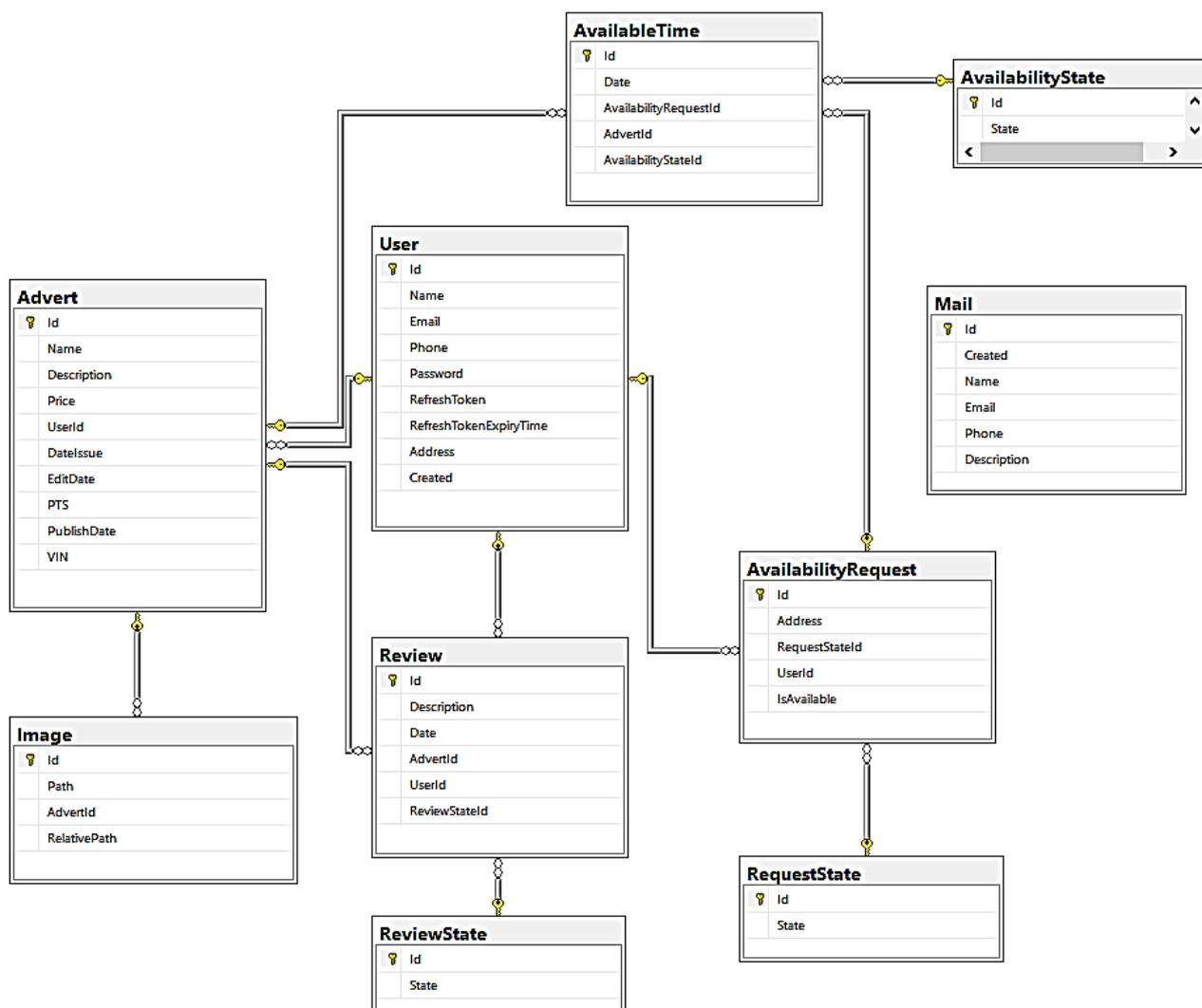


Рис. 1. Структура базы данных для web-приложения

Связь СУБД и серверной части будет осуществляться через специальное API Entity Framework Core (ORM), интегрированное в серверную платформу ASP.NET core [1, 2].

ORM – технология программирования, которая связывает базы данных с концепциями объектно-ориентированных языков программирования, создавая «виртуальную объектную базу данных». Существуют как проприетарные, так и свободные реализации этой технологии.

Связь ORM и СУБД осуществляется с помощью сущностей (Entity). Сущность – это объектно-ориентированная структура данных, представляющая собой класс, с определенным набором свойств. Сущность полностью соответствует определенной таблице БД, поэтому работать с сущностями, зная архитектуру БД, очень удобно.

Синхронизация контекста БД с СУБД осуществляется с помощью специального шаблона (pattern) проектирования Unit of Work. Паттерн проектирования – это повторяемая архитектурная конструкция, представляющая собой решение проблемы проектирования в рамках некоторого часто возникающего контекста. Класс UnitOfWork представляет собой конструктор, в который записывается текущее состояние контекста, и метод, который сохраняет данный контекст в базу данных.

После реализации связи серверной части с СУБД необходимо разработать саму серверную часть приложения. Backend будет разработан исходя из принципов чистой архитектуры.

Чистая архитектура или слоистая архитектура (Clean Architecture) – это способ организации программного кода, способствующий строгому разделению ответственности между участками программы. Принципы чистой архитектуры также помогают избежать проблем с зависимостями и разделить приложение на логические блоки.

В большинстве случаев классификация уровней выглядит следующим образом:

- 1) уровень представления;
- 2) уровень инфраструктуры;
- 3) уровень приложения;
- 4) уровень домена.

Проект системы аренды строительной техники был разделен на четыре слоя, соответствующих классическому распределению, на уровни согласно чистой архитектуре: Domain, Application, Infrastructure, Web API.

**Domain** – уровень, в котором находятся объекты, необходимые для взаимодействия базы данных и серверного приложения. Зачастую этот уровень в процессе сопровождения номерной версии проекта никак не затрагивается, так как представляет собой те сущности, с которыми проект взаимодействует с базой, то есть только когда изменяется база данных, меняются и объекты взаимодействия с ней.

**Application** – уровень, в котором находится логика работы приложения. То есть идут проверки передаваемых данных, хранятся промежуточные объекты, нужные для формирования различных отчетов, полученных из нескольких источников. Изменяется и сопровождается в рамках номерной версии достаточно редко, так как разработчики стараются сразу правильно построить всю бизнес-логику приложения.

**Infrastructure** – уровень, представляющий методы взаимодействия с внешними источниками (например, с базой данных). На этом уровне хранятся объекты, взаимодействующие с базой данных, а также миграции изменения базы данных. Изменяется достаточно часто, так как, например, необходимо добавлять новые запросы для взаимодействия с базой данных.

**Web API** – представляет собой непосредственно интерфейс приложения работы с пользователем. На данном уровне находятся модули, обрабатывающие запросы, приходящие с frontend, а также используются специальные структуры данных, передаваемые на frontend или получаемые оттуда. Самый часто изменяющийся уровень.

Одним из наиболее используемых паттернов при работе с данными является паттерн «*Репозиторий*» [4, 5]. Репозиторий позволяет абстрагироваться от конкретных подключений к источникам данных, с которыми работает программа, и является промежуточным звеном между модулями, непосредственно взаимодействующими с данными и остальной программой.

Вся логика, обработка ошибок, сборка данных, полученных репозиторием, осуществляется модулями, называемыми сервисами. Сервисы отвечают за всю бизнес-логику приложения. Вся валидация, сборка и математические операции с данными происходят внутри сервисов, это позволяет разгрузить другие модули от данной работы и не запутаться в работе текущих модулей. Сервисы располагаются на архитектурном уровне под названием *Application*, который предполагает наличие модулей обработки данных внутри себя. Сервисы, в первую очередь, нужны, чтобы данные, которые приходят или отправляются к СУБД, были корректными и не вызывали ошибок при работе программы.

Для обработки входящих http-запросов используются специализированные программные модули, называемые контроллерами. Контроллеры располагаются на архитектурном уровне Web API (уровень представления), так как являются непосредственным связующим звеном между клиентом и сервером.

Архитектурный слой Web API соответствует классическому паттерну MVC (Model-View-Controller), где моделью (model) являются DTO, отправляющиеся между клиентом и сервером, представлением (view) является интерфейс пользователя (frontend), и контроллерами (controller) являются обработчики http-запросов. Выбранная для проекта чистая архитектура лишь расширяет классическую MVC архитектуру, где весь функционал контроллера разбит между всеми архитектурными слоями, а для уровня Web API остался функционал приема и отправки http-запросов.

Центральным звеном в архитектуре ASP.NET Core MVC является контроллер. При получении запроса система маршрутизации выбирает для обработки запроса нужный контроллер и передает ему данные запроса. Контроллер обрабатывает эти данные и посылает обратно результат обработки.

Разработка backend части web-приложения закончена, теперь необходимо разработать клиентскую часть приложения (frontend).

**Angular** – это фреймворк от компании Google для создания клиентских приложений. Прежде всего он нацелен на разработку SPA-решений [6], то есть одностраничных приложений (см. рис. 2).

Проект Angular [7, 8, 9] представляет собой набор «компонентов», с главным компонентом `app.component`, на котором отображаются остальные компоненты. У Angular есть своя архитектура, отличающаяся от других одностраничных фреймворков. Angular использует свой ЯП TypeScript.

Как и многие современные системы, Angular использует подход MVC, где моделью являются DTO сущности, представлением – шаблон компонента, а контроллером выступает сам компонент Angular. Использование компонентов позволяет применять одни и те же модули в разных местах и для разных задач, что сокращает время, затраченное на разработку.

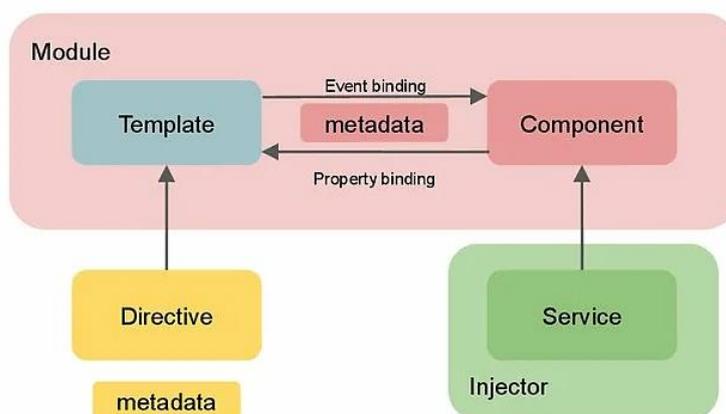


Рис. 2. Архитектура фреймворка Angular

Компонент (Angular component) – обособленная часть функционала со своей логикой, HTML-шаблоном и CSS-стилями. Класс становится Angular компонентом, если его объявлению предшествует декоратор `@Component()` с объектом конфигурации. Angular имеет собственную систему маршрутизации, осуществляющую навигацию между страницами, не перезагружая их, а только меняя содержимое одной страницы, создавая иллюзию постраничной навигации.

Практически любое клиентское приложение получает данные от удаленного сервера. Большинство современных API основано на протоколе HTTP, поэтому «общение» с сервером Angular осуществляется через REST-подобные запросы. За это в Angular отвечает `HttpClientModule`. Как и JavaScript, библиотека `Axios`, `HttpClient` основана на технологии AJAX (Asynchronous Javascript and XML), то есть данный модуль позволяет осуществлять асинхронные запросы к серверу, не перезагружая страницы.

Для описания стилей верстки, с целью упрощения создания стилевых классов, было принято решение использовать вместо обычного CSS препроцессорный язык сценариев SCSS. Одна из ключевых особенностей SCSS – вложенные правила, которые облегчают процесс создания и редактирования вложенных селекторов. SCSS добавляет к CSS константы и примеси. Это облегчает поддержку целостности данных внутри большого набора стилей.

Теперь необходимо функционально разделить верстку на три части, а именно: на «шапку», «подвал» и содержимое страниц. Соответственно, для приложения Angular это будут три разных компонента, а именно: `header`, `footer` и псевдокомпонент `router`, который с помощью внутренней системы маршрутизации будет отображать нужные страницы-компоненты в зависимости от URL страницы.

Компонент Angular, как было указано выше, представляет собой шаблон, набор стилей для шаблона и функциональный скрипт компонента. В отличие от `React.js`, шаблон компонента может подключаться в виде отдельного файла, которому не требуется наличие в функциональном модуле компонента метода `render()`. Компонент имеет параметр `templateUrl`, а также параметр `styleUrl` (набор стилей для компонента), а также `selector` (селектор), позволяющий системе создавать новые псевдо html теги, характеризующие компонент, для последующего использования компонента внутри других компонентов.

Шаблон компонента представляет собой обычную html верстку, но с некоторыми отличиями. В шаблоне компонента Angular можно использовать другие компоненты, созданные в

системе, что позволяет удобно внедрять практически любой компонент, доступный разработчику. Кроме того, Angular использует html-first подход, а значит, для того чтобы внедрить логику внутри шаблона компонента, не нужно целенаправленно внедрять TypeScript код в шаблоне компонента. Достаточно воспользоваться инструментом Angular, который называется «директива».

В фреймворке Angular используется механизм двустороннего связывания. Это позволяет корректно отображать изменение реактивных переменных внутри шаблона, а также мгновенно передавать данные в реактивные переменные, например, введенные пользователем в форму [10].

Функциональной частью компонента в Angular является класс компонента, помеченный декоратором `@Component`. Чтобы объект, создаваемый системой от текущего класса компонента, работал корректно, необходимо предварительно привязать компоненту определенные вебхуки (webhook). Вебхук в веб-разработке – метод расширения или изменения поведения веб-страницы или веб-приложения с помощью обратных вызовов. Привязка вебхуков к компоненту осуществляется реализацией классом системного интерфейса «OnInit», в котором описаны все методы жизненного цикла компонента Angular. В результате разработчик может модифицировать нужные ему методы стандартными средствами разработки.

Для отправки данных на сервер, а также для использования сложных структур данных в логике работы frontend приложения, используются модели данных или же сущности DTO. Модели данных, аналогично backend моделям, представляют собой классы с определенным набором полей данных. Кроме использования внутри frontend приложения, модели данных используются в качестве объектов передачи данных в http запросах.

Модуль `HttpClient` автоматически преобразует формат объектов данных, поступающих с сервера, и, наоборот, отправляющихся на сервер. При передаче моделей данных с помощью AJAX запроса они преобразуются в формат json строки, а затем на сервере с помощью инструментов ASP.NET core, json строка преобразуется в формат моделей данных, характерных для серверной платформы. Абстракция от процесса преобразования формата данных позволяет создавать объекты на frontend и backend одинаковой структуры без последующей опасности потери части данных.

Сервисы, использованные для данного frontend приложения, в основном представляют собой методы с http запросами на сервер, так как позволяют сразу сформировать все запросы, которые должны отправиться на сервер и быть обработаны ASP.NET core контроллерами. Также есть общие функциональные методы, которые используются в нескольких компонентах, размещенных в Angular сервисах.

Frontend-приложение разработано, а именно была сделана адаптивная верстка под все доступные платформы, созданы компоненты с контентом web-приложения, а также frontend приложение связано с backend приложением. Web-сервис системы аренды строительной техники работает, запросы циркулируют между frontend, backend и СУБД, интерфейс пользователя корректно отображается в браузере.

**Выводы.** В данной работе были изучены новые технологии, пройден весь процесс разработки приложения. Результатом стал рабочий прототип системы аренды строительной техники. Из имеющихся технологий были выбраны наиболее оптимальные и быстроразвивающиеся инструменты для разработки, а также системы, которые будут доступны на всех современных платформах.

Список литературы

1. Документация по C#. URL: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/dotnet/csharp/>
2. Руководство по ASP.NET Core 6. URL: <https://metanit.com/sharp/aspnet6/>
3. Руководство по MS SQL Server 2019. URL: <https://metanit.com/sql/sqlserver/>
4. Руководство по паттерну проектирования «репозиторий». URL: <https://metanit.com/sharp/articles/mvc/11.php>
5. Руководство по паттерну проектирования Unit of Work. URL: <https://metanit.com/sharp/mvc5/23.3.php>
6. Руководство по обработчику запроса «контроллер». URL: <https://metanit.com/sharp/aspnet5/5.1.php>
7. Руководство по Angular. URL: <https://metanit.com/web/angular2/>
8. Документация по Angular. URL: <https://angular.io/guide/what-is-angular>
9. Документация по Angular material. URL: <https://material.angular.io/guide/getting-started>
10. Руководство по системе контроля версий Git. URL: <https://git-scm.com/docs>

**SPECIALIZED EQUIPMENT RENTAL SYSTEM**

*Artyom S. Kornilov, Dmitry V. Morokhin*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*This article discusses a web service for convenient rental of construction equipment by individuals, small construction teams, as well as large construction companies that do not have one or another construction equipment. Discusses modern systems for developing client-server applications. The entire process of creating a web application was demonstrated with a detailed analysis of all parts.*

**Keywords:** *web application; backend; frontend; design; architecture.*

УДК 004.891.2

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КЛАССИФИКАТОРОВ НАМЕРЕНИЙ  
В ДИАЛОГАХ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ  
ЦИФРОВЫХ АССИСТЕНТОВ**

*Чесноков Сергей Евгеньевич, Флегентова Елена Игоревна*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
shesnokov@gmail.com

*Рассматривается подход к использованию функций цифрового ассистента для определения уровня владения русским языком иностранных студентов и формирования образовательного контента в устойчивой коммуникативной среде. Разбирается архитектура программной платформы реализации цифровых ассистентов на основе проекта Rasa. Производится анализ конвейера обработки естественного языка (NLU) и выполняется экспериментальное сравнение двух реализаций NLU: DIETClassifier и Spacy+ Sklearn классификаторов намерений цифрового ассистента. На основе вычисления оценок корреляции Спирмена выбран лучший вариант архитектуры классификатора.*

**Ключевые слова:** цифровой ассистент; обработка естественного языка; конвейер NLU; классификатор намерений; коэффициент корреляции Спирмена; сравнение точности и производительности классификаторов.

**Введение.** В системе высшего образования с некоторого времени утвердилась практика предоставления возможности обучения иностранным студентам. Такие процессы, как обмен студентами и преподавателями, обеспечивают вхождение в международное образовательное пространство дружественных стран. Иностранные студенты, являясь представителями различных культур, испытывают значительные затруднения на начальном этапе вхождения личности в новую среду общения.

Двигаясь в направлении развития технологий искусственного интеллекта и поиска их практического использования в различных отраслях, создание цифровых ассистентов для решения проблемы адаптации иностранных студентов является перспективным направлением исследований и разработки, которое поможет своевременно выявлять проблемы и организовать устойчивую коммуникативную среду, задействованную как инструментарий для преподавания русского языка иностранцам. Основная идея разработки заключается в том, что в процессе коммуникации с цифровым ассистентом иностранных обучающихся по вопросам обучения в вузе или решения бытовых проблем они проходят автоматизированную проверку на наличие ошибок в формируемых запросах к цифровому ассистенту (рис. 1). Таким образом, система в автоматизированном режиме оценивает навыки владения русским языком и формирует решение о генерации дополнительного обучающего контента, чтобы скорректировать выявленные ошибки.

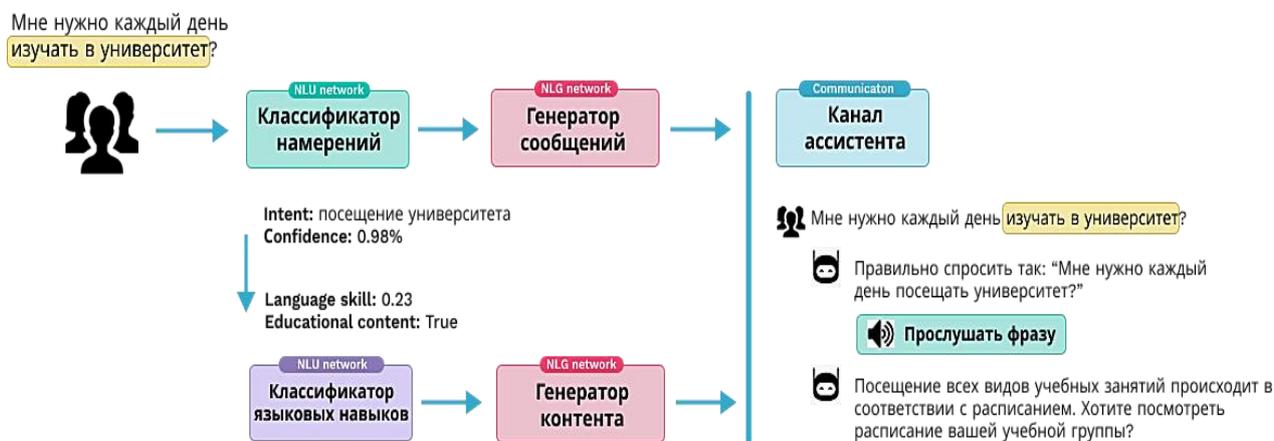


Рис. 1. Схема организации процесса формирования обучающего контента

Так как система накапливает информацию о диалогах и делает это персонализировано, то информацию можно использовать для анализа улучшения языковых навыков или инициализации диалогов на темы, вызывающие больше всего затруднений в корректной формулировке запросов. Актуальность исследований данной тематики подтверждается работами в направлении автоматизированного поиска и исправления ошибок и формирования обучающего контента [1–3].

*Цифровой ассистент* представляет собой набор программного обеспечения, основанного на предварительно созданной модели машинного обучения предсказательного чат-бота.

Модель имитирует разговор с пользователями и способна заимствовать информацию из внешних ресурсов. Цифровые ассистенты отвечают на сложные вопросы, дают рекомендации, делают прогнозы и способны самостоятельно инициировать беседы, если обнаруживают затруднения пользователей. Они интегрируются в информационные системы, откуда достаточно просто получать необходимую информацию для анализа и принятия решения [4–5].

Разработка цифрового ассистента была связана с выбором платформы, где реализуется конвейер обработки естественного языка – входящих запросов пользователя. Вместе с предсказательной моделью, работающей с контекстом диалогов, это формирует единый программный комплекс. Перед разработкой собственной архитектуры был проведен анализ платформ, представленных как на отечественном, так и зарубежном рынках программных продуктов. По результатам проведенного анализа решено остановиться на проекте Rasa (<https://rasa.com/>). *Rasa Open Source* – это диалоговая платформа искусственного интеллекта с открытым исходным кодом, которая позволяет понимать и поддерживать разговоры, а также подключаться к каналам обмена сообщениями и сторонним системам посредством набора API.

Архитектуру платформы Rasa можно представить, состоящей из двух основных компонент: конвейера понимания естественного языка (NLU), блока генерации ответов и управления диалогами (NLG). *NLU* – это часть, которая занимается классификацией намерений, извлечением сущностей и поиском ответов (в отношении их ассоциативной связности), она представлена в виде конвейера (рис. 2). Конвейер машинного обучения определяется как последовательность задач, используемая для обучения модели классификации входящих запросов от пользователей.

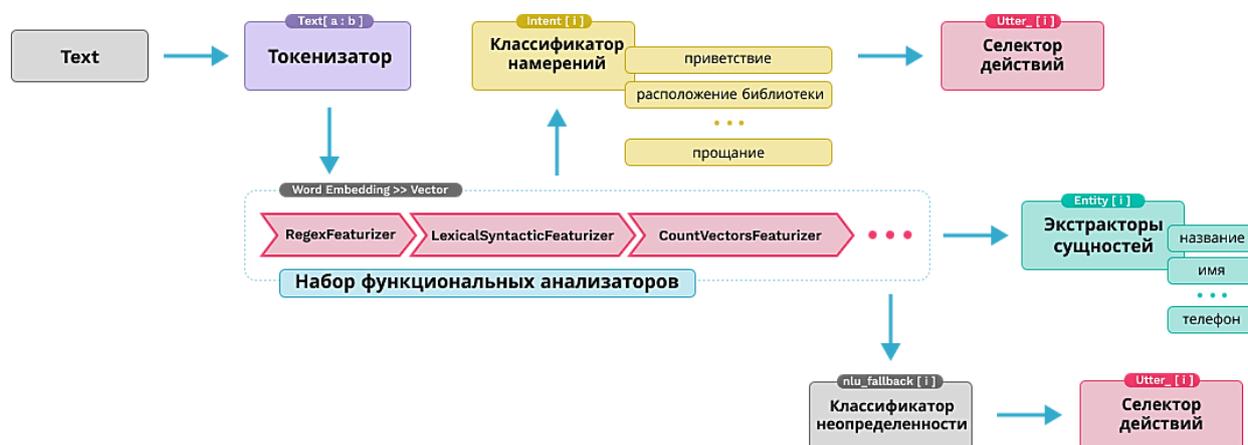


Рис. 2. Общая архитектура конвейера NLU

Компоненты, формирующие конвейер NLU, работают последовательно для преобразования пользовательского ввода в структурированный вывод. В текущей архитектуре использовались следующие компоненты: токенизаторы, функциональные анализаторы (Featurizer), классификаторы намерений, экстракторы сущностей, селекторы.

*Токенизаторы* разбивают исходный текст на части, называемые токенами, и возвращают список слов или токенов. Это первый шаг в любом конвейере NLU, который должен произойти, прежде чем текст станет доступным для машинного обучения.

*Функциональные анализаторы (Featurizer)* преобразуют необработанные входные данные в форму, известную как вектор признаков.

*Классификаторы намерений* назначают одно из заранее определенных намерений входящим сообщениям пользователя. По умолчанию в рассматриваемой архитектуре программного продукта используется модель DIET от Rasa, которая выполняет классификацию намерений, а заодно обеспечивает извлечение сущностей. Эта модель может обучаться как на токенах, так и на функциях предложений.

*Селекторы* позволяют выбрать на основе выделенного намерения адекватный ответ или действие.

Стоит отметить, что в разрабатываемой архитектуре программного продукта допускается использование различных видов классификаторов, отличающихся архитектурой и характеристиками, среди них:

*DIETClassifier* – это многозадачная архитектура преобразователя, одновременно обрабатывающая как классификацию намерений, так и распознавание сущностей. Она предоставляет возможность подключать и воспроизводить различные предварительно обученные вложения, такие как BERT, GloVe, ConveRT и др.;

*SpaCy и классификатор библиотеки Scikit-Learn* – это сочетание библиотеки обработки естественного языка и машинного обучения, использующихся в качестве классификатора и предоставляющих компоненты конвейера NLU. SpaCy включает в себя самые современные модели синтаксического анализа, распознавания именованных объектов, классификации текста и ориентировано на многозадачное обучение с предварительно обученными преобразователями, такими как BERT.

Задача исследований состоит в том, чтобы выполнить экспериментальную проверку и сравнить эти две конфигурации конвейеров (*DIETClassifier* и *Spacy+ Sklearn*) между собой и определить наилучшую архитектуру для дальнейшего использования в программном продукте цифрового ассистента. Чтобы провести это исследование, был использован набор данных, состоящий из 17 180 аннотированных пользовательских высказываний.

Rasa возвращает только 10 лучших гипотез в рейтинге намерений. Поэтому обучение сети NLU десяти намерениям обеспечило согласованность между оцениваемыми NLU и позволило включить в оценку все возможные гипотезы. Эти 10 намерений охватывают 5 доменов и 15 сценариев. Выполнялась повторная случайная подвыборка с 10 итерациями для получения 10 наборов данных, где каждый набор данных разбит на обучающий и тестовый наборы с соотношением 2:1. Тренировочные наборы обрабатывались с очисткой примеров высказываний, например удалением специальных символов и примеров с недостающими полями.

Доверительная оценка формировалась на двух уровнях: ранговом и модельном. На уровне ранга, результаты получены для конкретных рангов предсказания. Например, результаты для ранга 1 относятся к гипотезам прогнозирования с наивысшим рангом (наиболее достоверным). На уровне модели результаты всех рангов суммируются для каждой полученной модели NLU. Основное внимание при оценке уделяется калибровке NLU. Тем не менее также оценивается производительность, чтобы исследовать корреляцию между калибровкой NLU и производительностью.

В исследовании использовался коэффициент корреляции по отношению к точности на уровне экземпляра: чтобы численно измерить степень калибровки, сравнивались оценки достоверности (оценки в диапазоне 0–1) с точностью на уровне экземпляра (1 – для правильной классификации, 0 – для неправильной классификации). В частности, измерялась степень, в которой увеличение оценки коррелирует с повышением точности на уровне экземпляра –

другими словами, определялась монотонность взаимосвязи. Степень монотонности измеряется с помощью *коэффициента корреляции Спирмена*.

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}, \quad (1)$$

где  $n$  – количество отсчетов;  $d$  – попарные разности элементов переменных  $x_i$  и  $y_i$ .

В задачах классификации намерений идеально откалиброванный NLU имеет коэффициент корреляции Спирмена, равный 1.0, и всегда оценивает достоверность 1 для правильных гипотез и достоверность 0 – для неверных гипотез. Поскольку производительность рассматривает только гипотезы первого ранга, ее нельзя проводить на ранговом уровне. Для оценки производительности использовались значения F1-score и Accuracy. Другая причина – несбалансированное распределение примеров высказываний. Учитывая истинно положительные (TP), истинно отрицательные (TN), ложноположительные (FP) и ложноотрицательные (FN) результаты классификации, для расчета показателей эффективности используются следующие формулы:

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}, \quad (2)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \cdot Recall = \frac{TP}{TP + FN}, \quad (3)$$

$$F1 = \frac{2 * Precision * Recall}{Precision + Recall} = \frac{2 * TP}{2 * TP + FP + FN}. \quad (4)$$

На уровне модели все NLU демонстрируют в целом монотонную связь между достоверностью и точностью (рис. 3). Как правило, калибровка NLU лучше в больших бинах, чем в меньших. В частности, *Spacy+Sklearn* наиболее близок к «золотому стандарту» и является наилучшим откалиброванным NLU в соответствии с этим анализом. Напротив, калибровка *DIETClassifier* варьируется в зависимости от доверительной оценки.

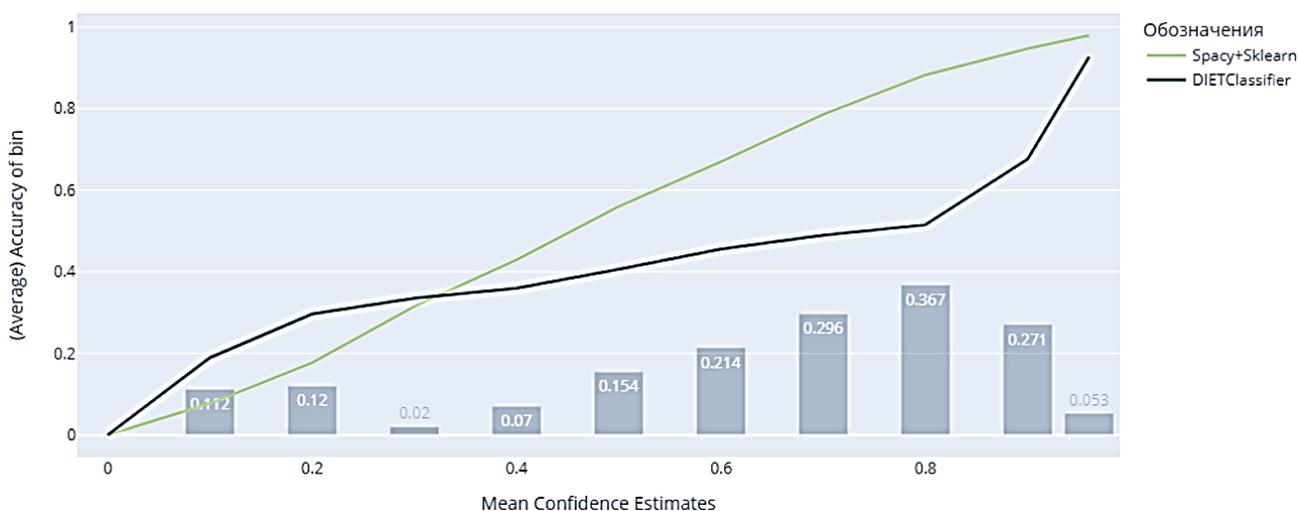


Рис. 3. Диаграмма надежности на уровне модели

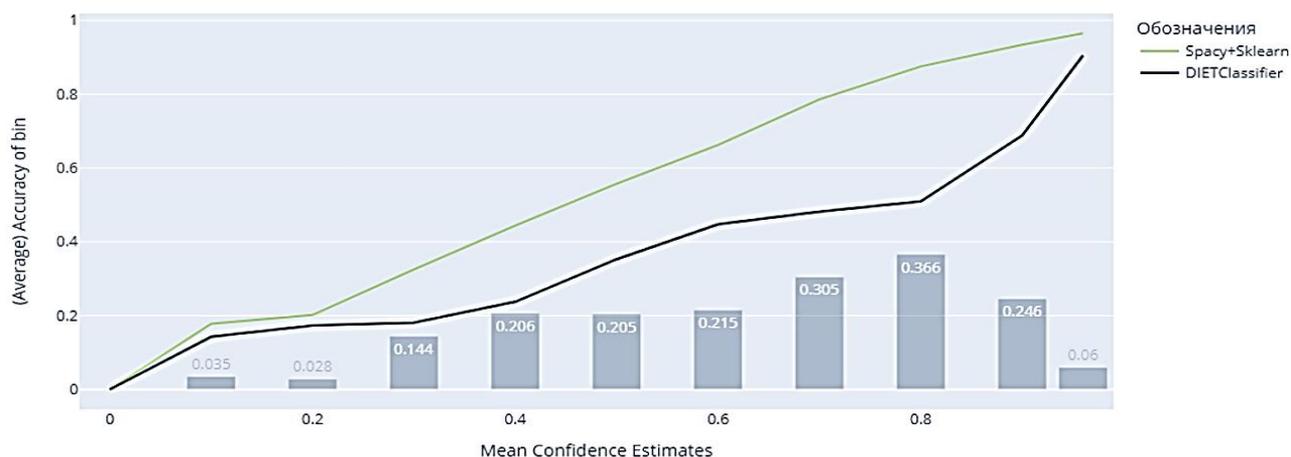


Рис. 4. Диаграмма надежности на уровне рангов

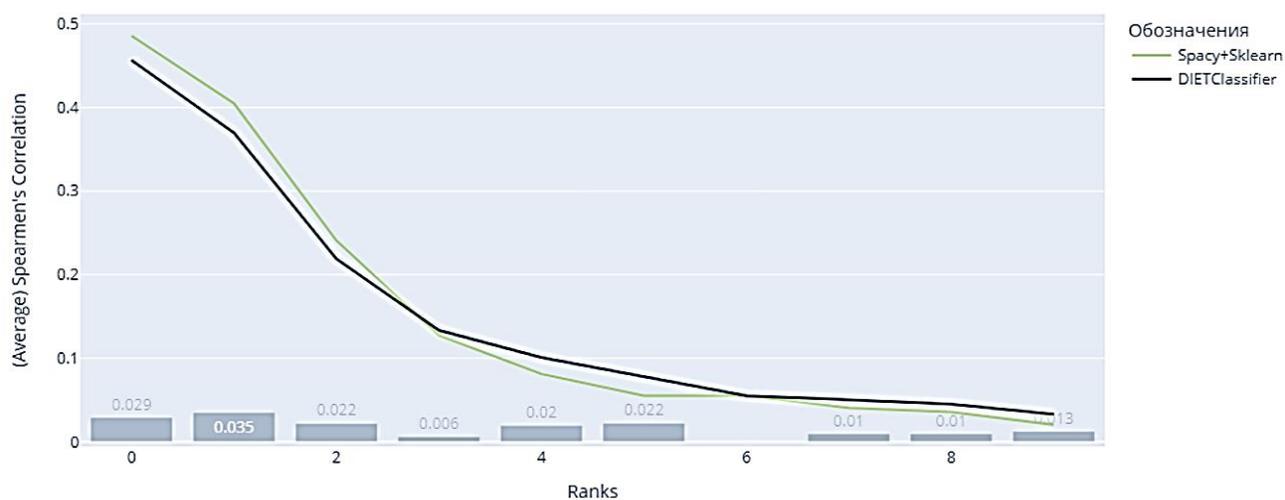


Рис. 5. Корреляция Спирмена на уровне ранга

Рассчитанные корреляции Спирмена между оценками достоверности и точностью (рис. 5) показывают, что *Spacy+Sklearn* имеет самую высокую корреляцию Спирмена с оценкой  $\sim 0,41$ , и за ним следует *DIETClassifier* с самой низкой корреляцией Спирмена  $\sim 0,40$ . Поскольку диаграммы надежности показывают высокую степень монотонности связи между достоверностью и точностью, можно ожидать, что корреляции Спирмена будут близки к 1.0.

Результаты экспериментальной проверки показывают, что на уровне модели *Spacy+Sklearn* является лучшим откалиброванным NLU (рис. 4), но эта архитектура демонстрирует худшую производительность по сравнению с архитектурой *DIETClassifier*. Поэтому в разработке и дальнейших исследованиях было решено использовать классификатор *DIETClassifier*.

#### Список литературы

1. Shared Task on Feedback Comment Generation for Language Learners / R. Nagata, K. Hanawa, A. Chernodub, M. Hagiwara, M. Mita, O. Nahorna // Proceedings of the 14th International Conference on Natural Language Generation (INLG), 20–24 September 2021. Association for Computational Linguistics, Aberdeen, Scotland, UK, 2021. Pp. 320–324. URL: <https://aclanthology.org/2021.inlg-1.35.pdf> (дата обращения: 12.10.2023).

2. Warstadt A., Singh A., Bowman S. R. Neural Network Acceptability Judgments // Transactions of the Association for Computational Linguistics, Cambridge, MIT Press, 2019. Vol. 7. Pp. 625–641. URL: <https://aclanthology.org/Q19-1040.pdf> (дата обращения: 12.10.2023).

3. GECToR – Grammatical Error Correction: Tag, Not Rewrite. / К. Omelianchuk, V. Atrasevych, A. Chernodub, O. Skurzhanyski // Proceedings of the 15th Workshop on Innovative Use of NLP for Building Educational Applications. 2020. Pp. 163–170. URL: <https://aclanthology.org/2020.bea-1.16.pdf> (дата обращения: 12.10.2023).

4. Heinrichs J-H. Why Digital Assistants Need Your Information to Support Your Autonomy // Philosophy & Technology. 2021. Vol. 34. Pp. 1687–1705. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13347-021-00481-4> (дата обращения: 12.10.2023).

5. Alexa, let's talk about my productivity: The impact of digital assistants on work productivity / D. Marikyan, S. Papagiannidis, O. F. Rana, R. Ranjan, G. Morgan // Journal of Business Research. March 2022. Vol. 142. Pp. 572–584. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0148296-32200025X> (дата обращения: 12.10.2023).

## COMPARATIVE ANALYSIS OF INTENT CLASSIFIERS IN DIALOGUES AND THEIR INFLUENCE ON THE EFFICIENCY OF DIGITAL ASSISTANTS

*Sergey E. Chesnokov, Elena I. Flegentova*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*An approach to using the functions of a digital assistant to determine the level of Russian language proficiency of foreign students and the formation of educational content in a stable communicative environment is considered. The architecture of the software platform for the implementation of digital assistants based on the Rasa project is analyzed. An analysis of the natural language processing (NLU) pipeline is carried out and an experimental comparison is made of two NLU implementations: DIETClassifier and Spacy+Sklearn digital assistant intent classifiers. Based on the calculation of Spearman's correlation estimates, the best variant of the classifier architecture was chosen.*

**Keywords:** digital assistant; natural language processing; NLU pipeline; intent classifier; Spearman correlation coefficient; comparison of accuracy and performance of classifiers.

УДК 004.891.2

## ФОРМИРОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА РАБОТЫ МОДЕЛЕЙ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ЦИФРОВЫХ АССИСТЕНТОВ

*Чесноков Сергей Евгеньевич*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола

E-mail: shesnokov@gmail.com

*Рассматривается применение цифровых ассистентов для автоматизации решения практических задач продажи программных продуктов и оказания технической поддержки. Определяются набор базовых функций ассистента и его дополнительные навыки. Раскрывается схема организации программной инфраструктуры данного решения. Исследуются различные виды критериев для оценки качества работы цифровых ассистентов и приводятся методы их вычислений.*

**Ключевые слова:** цифровой ассистент; обработка естественного языка; метрики моделей машинного обучения; субъективные и объективные показатели эффективности работы цифровых ассистентов; схема развертывания программной платформы цифрового ассистента.

**Введение.** Развитие технологий искусственного интеллекта в области понимания и обработки естественного языка послужило толчком к созданию необходимых программных компонентов для разработки собственных решений и их интеграции в рабочие процессы организаций. Одним из примеров такой интеграции является применение цифрового ассистента для решения задачи сопровождения продажи программных продуктов через интернет-магазин и оказания технической поддержки по предлагаемым программным продуктам. Разработка такого цифрового ассистента и оценка эффективности его работы представляет практический интерес и является предметом исследований.

Цифровые ассистенты – это интерфейсы на основе технологий искусственного интеллекта (обычно известные как чат-боты, но с дополнительными навыками), которые помогают пользователям выполнять различные задачи, цели которых определяются на основе диалогов на естественном языке [1–3].

Цифровой ассистент, оказывающий информационную и техническую поддержку, обладает набором следующих базовых функций:

- приветствует пользователя при доступе, сохраняя контекстную информацию о нем (имя пользователя, организацию, название программного продукта, технические условия и т. п.);
- по запросу пользователя выводит список того, что цифровой ассистент может делать, и предоставляет точки входа в определенные навыки (если они запускаются не автоматически по результатам анализа контекста диалогов);
- выделяет запросы (с уточнением необходимых параметров) пользователей на соответствующий навык и запускает его;
- обрабатывает прерывания потоков выполнения действий, связанных с выбранными навыками. Если пользователь вводит то, что отражает другое намерение, или требует переключения на другой навык, цифровой ассистент предлагает пользователю подтвердить переход к желаемому потоку;
- управляет неоднозначностью. Например, если пользователь желает отменить действие, то может потребоваться дополнительное уточнение действий у пользователя, следует ли покинуть существующий поток;
- обрабатывает запросы на выход из диалогового режима с цифровым ассистентом или переключение на разговор с оператором.

Навыки цифрового ассистента представляют собой набор скриптов, осуществляющих взаимодействие со сторонними сервисами, ориентированными на решение определенных типов задач, таких как подбор товаров по запросу пользователей из динамически изменяющегося каталога, создание заказа в интернет-магазине, организация получения счетов на оплату, отслеживание статусов заказов и т. д. Применение любого дополнительного навыка или изменения его алгоритма требует расширения предметной области цифрового ассистента и дополнительного обучения модели на новых данных.

Модель глубокого обучения цифрового ассистента создается на основе начальной небольшой тренировочной базы, охватывающей только наиболее явные вопросы предметной области. Начальная модель формируется по методике обучения с учителем. Затем создается



После обучения модели происходит оценка ее качества по объективным показателям (точность, полнота и т. п.). В том случае, если интегральная величина метрик больше установленного порога, то есть модель обеспечивает высокий уровень правильной классификации намерений и формирования ответов, она публикуется через сервис Rasa для пользователей (обозначено как PROD). В противном случае обновления модели не происходит, и разработка ее новой версии продолжается.

В связи с тем, что через коммуникационные каналы публичных сервисов Rasa происходит получение информации от пользователей в виде контекста диалога, она важна для анализа и формирования обновлений базы знаний цифрового ассистента, эти сервисы синхронизированы с проектами WiseBot. При «живом» общении пользователей с цифровым ассистентом администратор модели имеет возможность анализа истории диалога и выполнения дальнейшей обработки данной информации для вычисления метрик.

Интерактивные системы цифровых ассистентов на основе организации диалогового взаимодействия даже в части рассмотрения NLU содержат несколько компонентов, от которых зависит качество работы системы в целом. Рассматривая эти компоненты, можно определить показатели оценки их работы, но достаточно трудно разработать метрики, учитывающие формирование конечного результата – того ответа, который ожидает пользователь. Например, цифровой ассистент может быть оценен через измерение способности системы помочь пользователям достичь их цели, надежности системы при обнаружении и устранении ошибок понимания текстовых запросов, общее качество взаимодействия системы с пользователями. Но основная проблема заключается в том, что оценка диалога не сводится к оценке стенограммы или сравнения его с эталонными ответами, потому что набор потенциально приемлемых диалогов может быть очень большой.

Подходы к формированию метрик оценки диалогов делятся на *объективные* и *субъективные* [4, 5]. Объективные показатели оценки диалога включают в себя:

- процент правильных ответов относительно набора тестовых ответов;
- успех в реализации диалога с пользователем, завершение задачи или качественное решение проблемы пользователя;
- количество оборотов или высказываний;
- время диалога или время выполнения задачи;
- среднее время отклика пользователя;
- среднее время отклика системы;
- процент «нетривиальных» (более одного слова) высказываний;
- средняя длина «нетривиальных» высказываний.

Субъективные показатели требуют, чтобы субъекты использовали систему или человеческие оценки для классификации диалога, высказываний в диалоге по различным качественным измерениям. Поскольку эти показатели основаны на человеческих суждениях, такие суждения должны быть надежными, чтобы конкурировать с воспроизводимостью показателей, основанных на объективных критериях. Используемые субъективные показатели включают в себя:

- **неявное восстановление (IR)** – способность системы использовать диалоговый контекст для восстановления после ошибок частичного распознавания или понимания

$$IR = \frac{\text{Количество релевантных рекомендаций, полученных пользователями}}{\text{Общее количество рекомендаций, полученных пользователями}}; \quad (1)$$

- **явное восстановление и коррекция (STC)** – доля выражений явного восстановления, сделанных как системой, так и пользователем,

$$STC = \frac{(\sum (\text{Оценка пользователя} - \text{Средняя оценка пользователя}) * \text{Корректировка})}{\text{Количество оценок пользователя}}, \quad (2)$$

где *Оценка пользователя* – оценка, которую пользователь поставил ответу ассистента;

*Средняя оценка пользователя* – средняя оценка, которую пользователь поставил всем ответам;

*Корректировка* – коэффициент корректировки, который учитывает разницу между средней оценкой всех пользователей и средней оценкой данного ответа.

Метрика STC показывает, насколько хорошо цифровой ассистент учитывает индивидуальные предпочтения пользователя. Чем выше STC, тем лучше работает модель цифрового ассистента;

- **контекстная уместность (CA)** – согласованность системных высказываний по отношению к контексту диалога. Высказывания могут быть *уместными (AP)*, *неуместными (IP)* или *двусмысленными (AM)*.

$$CA = \frac{\text{Количество правильных ответов, полученных моделью}}{\text{Общее количество ответов, полученных моделью}}. \quad (3)$$

Метрика CA показывает, какую долю ответов модели можно считать правильными и соответствующими контексту. Чем выше CA, тем лучше модель;

- **кооперативность системных высказываний (CS)** – классифицируется по основе приверженности поведения системы к *разговорным максимам Грайса*.

*Разговорные максимы Грайса* – это совокупность правил, которые описывают, как люди используют язык в разговоре, чтобы общаться максимально эффективно и понятно друг другу. Вот некоторые из этих максим: *максима качества*, *максима количества*, *максима отношений*, *максима способа*.

$$CS = \frac{\text{Количество разрешенных конфликтов}}{\text{Общее количество конфликтов}}, \quad (4)$$

где *Количество разрешенных конфликтов* – количество конфликтов, в которых диалоговая система смогла разрешить противоречия и дать ответ на вопрос пользователя;

*Общее количество конфликтов* – общее количество конфликтных ситуаций, когда диалоговая система давала непоследовательные или противоречивые ответы;

- **удовлетворенность пользователей** – показатель, который пытается зафиксировать мнение пользователя об удобстве использования системы. Одним из способов расчета удовлетворенности пользователей является применение шкалы удовлетворенности (например, от 1 до 5). Пользователи могут оценить качество работы системы по различным критериям (например, понятность ответов, скорость работы, полезность информации и т. д.). Затем можно рассчитать среднюю оценку удовлетворенности пользователей по всем критериям. Чем выше средняя оценка, тем более удовлетворены пользователи работой системы.

Кроме указанной системы оценок, модели машинного обучения на этапах тренировки и тестирования характеризуются следующими оценками:

- *Accuracy* (точность) – это процент правильных ответов, которые дает модель NLU на заданные вопросы.

$$Accuracy = \frac{\text{Количество правильных ответов}}{\text{Количество всех ответов}}; \quad (5)$$

- *F1-score* – гармоническое среднее между точностью и полнотой. Оно используется для оценки качества модели NLU в задачах классификации текстов.

$$F1\text{-score} = \frac{2 * (\text{Точность} * \text{Полнота})}{(\text{Точность} + \text{Полнота})}; \quad (6)$$

- *Precision* (точность) – процент правильно классифицированных положительных примеров относительно всех примеров, которые модель отнесла к положительному классу.

$$Precision = \frac{\text{Количество правильных ответов}}{(\text{Количество правильных ответов} + \text{Количество неправильных ответов})}; \quad (7)$$

- *Recall* (полнота) – процент правильно классифицированных положительных примеров относительно всех примеров, которые на самом деле относятся к положительному классу.

$$Recall = \frac{\text{Количество правильных ответов}}{\text{Количество всех возможных правильных ответов}}. \quad (8)$$

Обычно субъективные показатели оцениваются с помощью вопросников с несколькими вариантами ответов (как в случае получения оценки удовлетворенности пользователей), в которых пользователей просят оценить производительность системы по целому ряду функций удобства использования в соответствии со шкалой потенциальных оценок. Но на практике непрерывный поток таких оценок обеспечить довольно трудно из-за низкой мотивации пользователей к дополнительным манипуляциям. Поэтому реализуется методика составления комбинированной оценки, где в первую очередь рассчитываются объективные показатели модели на уже известных данных, а потом оценка с некоторыми весами корректируется с помощью субъективных метрик.

Приведенные объективные и субъективные показатели можно использовать в качестве оценки работы моделей цифрового ассистента в том случае, когда он находится в «промышленной» эксплуатации. К тому же система должна обладать обратной связью с пользователями, обеспечивающими формирование субъективных оценок относительно завершенных диалогов, в которых успешно решаются их проблемы.

#### Список литературы

1. Gelbrich K., Hagel Ju., Orsingher Ch. Emotional support from a digital assistant in technology-mediated services: Effects on customer satisfaction and behavioral persistence // International Journal of Research in Marketing. 2021. Vol. 38 (1). Pp. 176–193. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijresmar.2020.06.004>

2. Neural model robustness for skill routing in large-scale conversational AI systems: A design choice exploration / H. Li, S. Park, A. Dara, J. Nam, S. Lee, Y-B. Kim, S. Matsoukas, R. Sarikaya. 2021. URL: <https://arxiv.org/abs/2103.03373>

3. A scalable framework for learning from implicit user feedback to improve natural language understanding in large-scale conversational AI systems / S. Park, H. Li, A. Patel, S. Mudgal, S. Lee, Y-B. Kim, S. Matsoukas, R. Sarikaya. 2021. URL: <https://arxiv.org/abs/2010.12251>

4. Radziwill N., Benton M. C. Evaluating Quality of Chatbots and Intelligent Conversational Agents // Researchgate, 2017. URL: [https://www.researchgate.net/publication/316184347\\_Evaluating\\_Quality\\_of\\_Chatbots\\_and\\_Intelligent\\_Conversational\\_Agents](https://www.researchgate.net/publication/316184347_Evaluating_Quality_of_Chatbots_and_Intelligent_Conversational_Agents)

5. Chatbot commerce – How contextual factors affect Chatbot effectiveness / P-F. Hsu, K. Nguyen, Ch-Y. Wang., P-J. Huang // Researchgate, 2023. URL: [https://www.researchgate.net/publication/370473043\\_Chatbot\\_commerce\\_-\\_How\\_contextual\\_factors\\_affect\\_Chatbot\\_effectiveness](https://www.researchgate.net/publication/370473043_Chatbot_commerce_-_How_contextual_factors_affect_Chatbot_effectiveness)

## FORMATION OF CRITERIA FOR ASSESSING THE QUALITY OF THE WORK OF DEEP LEARNING MODELS OF DIGITAL ASSISTANTS

*Sergey E. Chesnokov*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*The article considers the use of digital assistants to automate the solution of practical problems of selling software products and providing technical support. The set of basic functions of the assistant and his additional skills are determined. The scheme of organization of the software infrastructure of this solution is revealed. Various types of criteria for evaluating the quality of work of digital assistants are investigated and methods for their calculation are given.*

**Keywords:** *digital assistant; natural language processing; metrics of machine learning models; subjective and objective performance indicators of digital assistants; deployment diagram of the digital assistant software platform.*

# СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 624.193.91

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ И ЦИНКОВОГО ПОКРЫТИЯ

*Актуганов Анатолий Николаевич, Актуганов Олег Анатольевич,  
Ефремов Дмитрий Александрович*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
E-mail: AktuganovAN@volgatech.net, AktuganovOA@volgatech.net

*Рассматриваются вопросы прогнозирования долговечности цинкового покрытия металлических каркасов и узлов крепления навесных фасадов в условиях эксплуатации при заданном уровне надежности при случайных значениях величины коррозионного износа. Принято, что величина коррозионного износа подчиняется нормальному закону распределения.*

***Ключевые слова:** металлические каркасы; навесные стеновые панели; коррозионный износ; долговечность; уровень надежности; цинковое покрытие.*

**Введение.** Существует несколько типов защитных антикоррозионных покрытий стальных несущих каркасов и узловых элементов навесных панелей стен (НПС), таких как грунтовки на алкидной основе, порошковые полимерные покрытия и различные виды цинкования. Наиболее надежным и долговечным покрытием является именно цинкование. Самые распространенные виды цинкового покрытия – гальваническое, горячее, термодиффузионное. Рассмотрим подробнее термодиффузионное цинкование.

*Термодиффузионное цинкование (ТДЦ) – процесс проникания (диффузирования) молекул цинка в поверхностный слой стали. Изделия погружаются в герметичный контейнер (реторту), содержащий необходимое количество цинкового порошка. Вращаясь под температурой 400–500 °С, в реторте происходит цинконасыщение поверхностного слоя стали (см. рис. 1).*

Основными преимуществами метода ТДЦ являются:

- равномерность и однородность покрытия;
- возможность получить любую толщину от 40 мкм до 70 мкм;
- малая подверженность скалыванию или отслаиванию при ударах;
- не требуется дополнительной механической обработки;
- высокая адгезия.

Среди недостатков можно отметить ограниченность в геометрических размерах изделий (габариты около 1,2–1,5 м), которых обычно достаточно для элементов узлов крепления каркасов навесных стеновых панелей.

В настоящее время широко применяются навесные фасады зданий, их крепят на металлические каркасы. Узлы креплений и сам каркас защищаются в основном цинкованием. Долговечность цинкового покрытия этих конструкций при заданном уровне надежности изучена недостаточно.

**Цель работы** – прогнозирование долговечности элементов каркаса навесных стеновых панелей с учетом коррозионного износа при заданном уровне надежности.

**Решаемые задачи.** В эксплуатационных условиях каркасы навесных стеновых панелей и узлы их креплений подвергаются воздействию атмосферной среды (влажность, температура), то есть воздействию температурно-влажностного режима эксплуатации, в результате чего происходит коррозионный износ стали и цинкового покрытия. Поэтому необходимо при применении прогнозировать долговечность стали и цинкового покрытия.



Рис. 1. Узловые крепления каркасов НПС после термодиффузионного цинкования

**Математическое моделирование.** Состояние конструкций в условиях эксплуатации зависит от конечного числа множества независимых параметров  $q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ . Один из этих параметров характеризует внешнюю нагрузку, другой – прочность, третий – отступление условий от расчетной схемы и т. д. Таким образом, все параметры  $q_1, q_2, \dots, q_n$  являются случайными величинами, предполагая, что известна их совместная плотность вероятности  $p(q)$ , которая является определяющим параметром [1, 2].

Основная задача расчета состоит в определении вероятности того, что недопустимое предельное состояние не будет достигнуто и в сопоставлении найденной вероятности с некоторыми нормативными значениями. Тогда условие недопустимости предельного состояния можно записать в виде

$$\psi(q) = R(q) - S(q) > 0. \quad (1)$$

Вероятность случайного события, состоящего в том, что неравенство (1) будет выполнено, есть не что иное, как мера надежности системы

$$P = \int_{\psi(q) > 0} P(q) d(q). \quad (2)$$

Задача определения надежности « $P$ » сводится к интегрированию плотности вероятности  $P(q)$  той «области безопасности», определяющих параметров  $q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ , где выполняется условие

$$S < R, \quad (3)$$

где  $S$  – усилие в элементе конструкций или напряжение;

$R$  – несущая способность или сопротивление.

Вероятность « $P$ » должна быть весьма близка к единице, тогда вероятность  $Q = 1 - P$ , или

$$P = \int_{\psi(q) > 0} P(q) d(q). \quad (4)$$

Для решения этой задачи требуется знать не только совместную плотность вероятности, но и решение соответствующей детерминистской задачи для всей интересующей области изменения параметров  $q_1, q_2, \dots, q_n$ .

А. Р. Ржаницын [3] принял, что вектор  $q$  распределен нормально, и что функция  $\psi(q)$ , названная им «функция неразрушимости», является линейной функцией определяющих параметров, которую можно описать формулой

$$\psi(q) = \sum_{k=1}^n \alpha_k \cdot q_k. \quad (5)$$

Эти допущения приводят к весьма простым расчетам, дающим явную зависимость между мерой надежности и вероятностными характеристиками определяющих параметров. Когда мы знаем совместную плотность вероятности параметров  $R$  и  $S$  (несущей способности и напряжения), характеризуемые математические ожидания  $\bar{R}$  и  $\bar{S}$  и корреляционную матрицу с элементами  $K_{RR}, K_{SS}$  и  $K_{RS} = K_{SR}$ , тогда функция неразрушимости (1) имеет математическое ожидание и дисперсию, равные

$$\bar{\psi} = \bar{R} - \bar{S}; \quad D\psi = K_{RR} - 2K_{RS} + K_{SS}. \quad (6)$$

Величину, обратную коэффициенту изменчивости  $\omega_\psi$ , А. Р. Ржаницын [3] назвал характеристикой безопасности  $\gamma$ :

$$\gamma = \frac{1}{\omega_\psi} = \frac{\bar{R} - \bar{S}}{\sqrt{K_{RR} - 2K_{RS} + K_{SS}}}. \quad (7)$$

Характеристика  $\gamma$ , когда все параметры имеют нормальную плотность распределения [5]. Доказано, что предел текучести стали подчиняется нормальному закону распределения и совпадает с гауссовским уровнем надежности

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\gamma} e^{-\frac{u^2}{2}} du = \frac{1}{2} + \Phi(\gamma), \quad (8)$$

где  $\Phi(\gamma)$  – интеграл Лапласа.

Для установления уровня надежности достаточно знать аргумент функции Лапласа. Вводя коэффициенты изменчивости  $\omega_R$  и  $\omega_S$ , значение  $\gamma$  выражаем формулой

$$\gamma = \frac{\chi - 1}{\sqrt{\omega_R^2 \chi^2 + \omega_S^2}}, \quad \chi = \bar{R} / \bar{S}. \quad (9)$$

Особенностью элементов стальных строительных конструкций является то, что при этом изменяется площадь сечения, обуславливающая изменение его несущей способности, при этом учитывается изменение геометрических характеристик сечения. Напряжение в элементе в результате коррозионного износа можно выразить формулой

$$\bar{S} = \frac{\bar{N}}{A_0(1 - \bar{\delta}_0)} = \frac{\bar{\sigma}}{(1 - \bar{\delta}_0)}. \quad (10)$$

С учетом временного фактора коррозионного износа формула примет вид

$$\bar{S} = \frac{\bar{\sigma}}{(1 - \bar{\delta}_0 \cdot t^n)}, \quad (11)$$

где  $\bar{\delta}_0 \cdot t^n$  – величина математического ожидания коррозионного износа в момент времени  $t$ .

Тогда значение

$$\chi = \frac{\bar{R}}{\bar{\sigma} / (1 - \bar{\delta}_0 \cdot t^n)}.$$

Решив уравнение относительно  $(1 - \bar{\delta}_0 \cdot t^n)$ , получим формулу долговечности (срока службы) строительных стальных конструкций, выраженную через вероятностные характеристики сопротивлений сталей, нагрузок и гауссовский уровень надежности,

$$t = \left[ \frac{1}{\delta_{\Sigma}} - \frac{\lambda}{\delta_{\Sigma}} \left( \frac{1 + \sqrt{1 - (1 - \gamma^2 \omega_R^2)(1 - \gamma^2 \omega_S^2)}}{1 - \gamma^2 \omega_R^2} \right) \right]^{\frac{1}{n}}. \quad (12)$$

Аргумент функции Лапласа  $\gamma$  имеет табличные значения. Таблица значений  $\gamma = \bar{\sigma} / \bar{R}$  для нормального распределения приведена в [4].

Каркасы навесных стеновых панелей и узлы крепления, как правило, защищены от коррозии цинковым покрытием или комбинированным покрытием цинк плюс лакокрасочное покрытие. Экспериментальные исследования, проведенные [6], показали, что величина коррозионного износа также подчиняется нормальному закону распределения. Долговечность цинкового покрытия можно рассматривать как функцию отношения исходной толщины  $\delta_0$  к скорости коррозии цинка.

Тогда, используя закономерности нормального распределения и законы математической статистики, предполагая, что оптимальным сроком службы цинкового покрытия является их коррозионный износ до подложки на 50 % поверхности, долговечность цинкового покрытия ( $t_u$ ) можно выразить следующей формулой:

$$t_u = \frac{\bar{\delta}_{0u}}{\bar{V}_u} (1 - 0,5 \sqrt{\omega_1^2 - \omega_2^2}), \quad (13)$$

где  $\bar{\delta}_{0u}$  – математическое ожидание среднего значения исходной толщины цинкового покрытия, мкм;

$\bar{V}_u$  – математическое ожидание среднего значения скорости коррозии цинкового покрытия после первого года эксплуатации, мкм/год;

$\omega_1, \omega_2$  – коэффициенты вариации исходной толщины и скорости коррозии цинкового покрытия соответственно.

Коэффициент вариации  $\omega_1$  при средней толщине цинкового покрытия  $\bar{\delta}_{01} = 25...40$  мкм составляет 0,1, а коэффициент вариации  $\omega_2$  колеблется в пределах 0,1...0,25 [6].

Расчеты, выполненные по формуле (12) при степени функции  $n = 0,6$ , представлены в таблице 1, а долговечность цинкового покрытия по формуле (13) – в таблице 2.

Таблица 1

## Долговечность несущих и узловых элементов каркаса навесных панелей

$\gamma$	$\omega_R$	$\bar{\delta}_0$	$\omega_s$	$\lambda$	$t$ , лет
1,65	0,1	0,2	0,15	0,5	56

Таблица 2

## Долговечность цинкового покрытия

$\bar{\delta}_z$ , мкм	$\bar{V}$ , мкм/год	$\omega_1$	$\omega_2$	$t$ , лет
25	0,1	0,1	0,1	35,4

Долговечность элементов узла крепления в среднеагрессивных средах при средней скорости коррозии  $\bar{\delta}_{01} = 0,2$  мм/год, уровне надежности  $P = 0,95$ , аргументе функции Лапласа  $\gamma = 1,6449$ , при уровне напряженного состояния  $\lambda = 0,5$ , коэффициентах изменчивости  $\omega_R = 0,1$  и  $\omega_s = 0,15$  составит 56 лет, а цинкового покрытия при толщине цинка 25 мкм и коэффициентах изменчивости  $\omega_R = 0,1$  и  $\omega_s = 0,2$  составит 34 года.

**Выводы.** Распределение величины проникновения коррозии по поверхности элементов строительных несущих конструкций, изготовленных из сталей класса С255 и цинкового покрытия, подчиняется нормальному закону.

Кинетика коррозионного износа строительных сталей в среднеагрессивных средах описывается степенной функцией времени, показатель степени «n» которой можно принять от 0,6...0,7, а кинетика коррозионного износа цинкового покрытия может быть аппроксимирована линейной зависимостью.

Срок службы каркасов навесных стеновых панелей и элементов крепления зависит от температурно-влажностного режима эксплуатации, величины коррозионного износа цинкового покрытия и строительных сталей.

## Список литературы

1. Актуганов А. Н., Филиппова О. А. Влияние коррозионного износа элементов стальных конструкций на долговечность // Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России: материалы V Всероссийской студенческой конференции (Йошкар-Ола, 5–8 ноября 2019 г.): в 8 ч. Инновации в строительстве, природообустройстве и техноферной безопасности. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2019. Ч. 5. С. 117–121.

2. Актуганов А. Н., Делянова И. А. Влияние коррозионного износа на надежность элементов типовых ферм // Научному прогрессу – творчество молодых: материалы XI Международной научной конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам (Йошкар-Ола, 22-23 апреля 2016 г.): в 4 ч. / редкол.: Д. В. Иванов [и др.]. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2016. Ч. 4. С. 27-28.

3. Ржаницын А. Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. М.: Стройиздат, 1978. 239 с.: ил.

4. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: методы обработки данных / пер. с англ., под ред. Э. К. Лецкого. М.: Мир, 1981. 516 с.: ил.

5. Урицкий М. Р. Однородность механических свойств малоуглеродистой стали в партии листового проката // Промышленное строительство. 1973. № 1. С. 25–26.

6. Вольберг Ю. Л. Повышение долговечности строительных металлических конструкций медной промышленности, эксплуатируемых в агрессивной среде // Цветная металлургия, 1971. № 17. С. 48–54.

### FORECASTING THE DURABILITY OF CONSTRUCTION METAL STRUCTURES AND ZINC COATING

*Anatoly N. Aktuganov, Oleg A. Aktuganov, Ph.D., Dmitry A. Efremov*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*The issues of predicting the durability of the zinc coating of metal frames and attachment points of hinged facades under operating conditions at a given level of reliability with random values of corrosion wear are considered. It is assumed that the value of corrosion wear obeys the normal distribution law.*

**Keywords:** metal frames; curtain wall panels; corrosion wear; durability; reliability level; zinc coating.

УДК 69.003.12

### АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СТОИМОСТИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА МОНОПРОЕКТА «МНОГОЭТАЖНЫЙ ЖИЛОЙ ДОМ В ГОРОДЕ ЙОШКАР-ОЛЕ»

*Пенкин Юрий Афанасьевич, Мухамадишина Ирина Васильевна,  
Шумилина Вера Александровна*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола

E-mail: PenkinYA@volgatech.net

*Статья посвящена анализу технологических и экономических проблем, возникающих при выполнении расчетно-графической работы по формированию стартапа «Многоэтажный жилой дом в городе Йошкар-Оле» в рамках дисциплины «Технологическое предпринимательство. Часть 2» направления 07.03.01 Архитектура.*

*Авторы рассмотрели два этапа работы команды стартапа: применение инновационных технологий и расчет стоимости жизненного цикла многоэтажного жилого дома. В результате проведенного исследования сформирован алгоритм стоимости монопроекта.*

**Ключевые слова:** технологическое предпринимательство; монопроект; стартап; инновационные технологии; риски; денежные потоки; жизненный цикл; календарный план.

**Введение.** В архитектуре и строительстве, как и в других отраслях экономической деятельности, понятие «технологическое предпринимательство» определяется как «взаимодействие хорошо устоявшихся смежных областей – технологическая инновация и предпринимательство» [1].

С целью освоения компетенций дисциплины «Технологическое предпринимательство. Часть 2» студентами группы Арх-41 направления 07.03.01 на практических занятиях проведены деловые игры по формированию команды стартапа и развитию управленческого монопроекта «Многоквартирный жилой дом», выполнена расчетно-графическая работа. Условно принято: РГР проводится в прединвестиционную фазу монопроекта, а технико-экономические показатели монопроекта принято инспектировать на всех его стадиях: проектная документация, строительство, эксплуатация, завершение жизненного цикла [1–7].

**1-й этап РГР команды стартапа: применение инновационных технологий**

В начале работы студенты команды стартапа проанализировали ранее выполненные курсовые проекты на темы жилых и общественных зданий.

Для продвижения проектной документации, то есть продвижения эскизного проекта, командой стартапа выбран оптимальный вариант: 9-этажный жилой дом, отвечающий актуальным вопросам ресурсосбережения и инновационных технологий (рис. 1, табл. 1).



Рис. 1. Выбранный курсовой проект для продвижения в монопроекте

Отобрано несколько направлений инноваций в проектировании жилых домов.

1. *Энергосбережение и энергоэффективные технологии* [2]. Современные технологии позволяют проектировать дома с минимальными затратами на отопление и кондиционирование воздуха. Такие здания оснащаются высокоэффективными системами теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования, а также специальными материалами для утепления и герметизации.

2. *Безопасность и комфортность* [3]. Современные дома оборудуются системами контроля доступа, видеонаблюдением, пожарной сигнализацией и охранной сигнализацией.

3. *Экологичность* [4]. Проектирование зданий с минимальным воздействием на окружающую среду становится все более актуальным. Устройство дома с использованием экологически чистых материалов и энергетически эффективных технологий способствует экологической устойчивости. В представленном курсовом проекте многоэтажного жилого дома были предусмотрены экологичные материалы в отделке фасада (биодинамический бетон), а также экологичная посадка здания на территорию (по правилу «мягкого» управления природой).

4. *Многофункциональность* [4]. Новый тип жилых домов предусматривает различные функции: место для работы, спорта, отдыха, хранения, аренды и т. д. Такой дом становится многофункциональным центром для комфортного проживания.

Ниже приведены некоторые примеры инноваций, которые могут быть применены в проектировании многоквартирного жилого дома в городе Йошкар-Оле [2–4]:

- *система «умный дом»* позволяет управлять различными устройствами в квартире (свет, отопление, кондиционер, безопасность и др.) с помощью мобильных устройств или компьютера;

- *цифровые сервисы управления* позволяют жильцам получать информацию о текущем состоянии дома, оплачивать коммунальные платежи, подавать заявки на ремонт и обращаться в службу поддержки обслуживания через Интернет;

Таблица 1

**Технико-экономические показатели (курсовой проект «Многоэтажный жилой дом в городе Йошкар-Оле» В. А. Шумилина)**

№ п/п	Наименование	Ед. изм.	Количество
1	Этажность	шт.	9
2	Количество этажей	шт.	9
	в том числе подземных	шт.	0
3	Площадь застройки	м <sup>2</sup>	1 591,43
4	Строительный объем	м <sup>3</sup>	61 162,24
	в том числе выше отметки 0,000	м <sup>3</sup>	59 729,95
	в том числе ниже отметки 0,000	м <sup>3</sup>	1 432,29
5	Высота здания (пожарно-техническая)	м	29,4
6	Высота здания (архитектурная)	м	33,45
7	Площадь здания	м <sup>2</sup>	1 187,51
8	Количество квартир	шт.	90
	в том числе 1-комнатных	шт.	45 (50 %)
	в том числе 2-комнатных	шт.	27 (30 %)
	в том числе 3-комнатных	шт.	18 (20 %)
9	Жилая площадь	м <sup>2</sup>	3 200,31
10	Площадь квартир (без балконов и лоджий)	м <sup>2</sup>	7 082,46
11	Общая площадь квартир (с коэфф. лоджий 0,5)	м <sup>2</sup>	7 561,08

- *роботизированные уборочные системы* позволяют автоматически убирать мусор из подъезда, выносить и сортировать отходы, что повышает уровень чистоты и комфорта в доме;
- *системы видеонаблюдения* создают безопасность для жильцов и помогают контролировать доступ в здание.

Для продвижения монопроекта студентами группы Арх-41 выполнены тезисы статей на тему «Инновационные технологии – основа жизненного цикла многоэтажного жилого дома» для участия в Международной конференции МНТК-2023, город Рязань (рис. 2).



Рис. 2. Сертификаты студентов ПГТУ – участников МНТК-2023 в городе Рязани

### **2-й этап РГР команды стартана: расчет стоимости жизненного цикла монопроекта**

На основе технико-экономических показателей, выбранных для продвижения курсового проекта, и показателей рыночной стоимости одного квадратного метра общей площади жилого помещения составлена стоимость инвестиций для создания бизнес-плана, проектной документации и строительства здания. Также определена стоимость операционного денежного потока (эксплуатационной фазы) жизненного цикла жилого дома при условии прибыльности монопроекта.

*Расчет стоимости проектной документации (ПД) и строительства 9-этажного жилого дома, соответствующих объему необходимых инвестиций в монопроект. Калькуляция себестоимости жилой многоэтажной недвижимости (квартир):*

1. Рыночная стоимость одного квадратного метра общей площади жилого помещения принята в соответствии с приказом Минстроя России от 22.12.2022 № 1111/пр и составляет 59 290 руб. на I квартал 2023 года по Республике Марий Эл (Приволжский федеральный округ, № 46);

2. Условно принято: стоимость 1 кв. м. нежилой и общедомовой площади = стоимости 1 кв. м. общей площади;

3. Расчет стоимости строительства здания: стоимость 1 кв. м. x общая площадь здания =  $59\,290 \times 10\,687,59 = 633\,667\,211,1$  руб.;

4. Расчет стоимости ПД (3 % от стоимости здания):  $633\,667\,211,1 \text{ руб.} \times 0,03 = 19\,010\,016,3$  руб.;

5. Расчет стоимости ПД и строительства здания: стоимость ПД + стоимость строительства здания =  $19\,010\,016,3 + 633\,667\,211,1 = 652\,677\,227,4$  руб.

*Расчет стоимости операционного денежного потока (эксплуатационной фазы) жизненного цикла жилого дома.* Принято обязательное условие из практики строительства многоквартирных жилых домов: монопроект должен быть прибыльным, то есть операционный (эксплуатационный) денежный поток должен превышать инвестиционный денежный поток на 20 %.

1. Расчет прибыли:  $652,6 \text{ млн руб. (инвестиции)} \times 20\% = 130,5 \text{ млн руб. (прибыль)}$ .

2. Расчет стоимости операционного денежного потока (эксплуатационная фаза):  $652,6 \text{ млн руб. (инвестиции)} + 130,5 \text{ млн руб. (прибыль)} + 16,8 \text{ млн руб. (расходы на ремонты)} = 800,0 \text{ млн руб.}$

*Риски на протяжении жизненного цикла монопроекта.* Оценивается вероятность возникновения рисков при реализации проекта, а также устойчивость проекта по отношению к рискам, отнесенным к категории вероятных.

В результате проведенного исследования студентами-архитекторами были выявлены экономические риски по возврату инвестиционного финансирования (табл. 2).

Таблица 2

## Средства инициатора проекта и заемные средства

№ п/п	Наименование источников и форм финансирования	Сумма, руб.	Удельный вес, %
1	Средства инициатора проекта	167 708 537,02	25,6
2	Заемные средства	484 968 690,38	74,4
ИТОГО		652 677 227,40	100,0

*График-схема жизненного цикла монопроекта.* Инвестиционный денежный поток (расход) и операционный (эксплуатационный) денежный поток (доход) выполнены на основе [1, рис. 2.9], [9].

1. На графике (рис. 3) по вертикальной оси «Денежный поток» буквами указаны зоны:

*А* – инвестиционный денежный поток (расходы на предпроектную документацию, проектную документацию и строительство);

*Б, В, Г* – операционный денежный поток (*Б* – возврат инвестиций за счет дохода от продажи квартир и офисных помещений, *В* – затраты на техобслуживание, капремонт и реконструкцию, *Г* – прибыль).

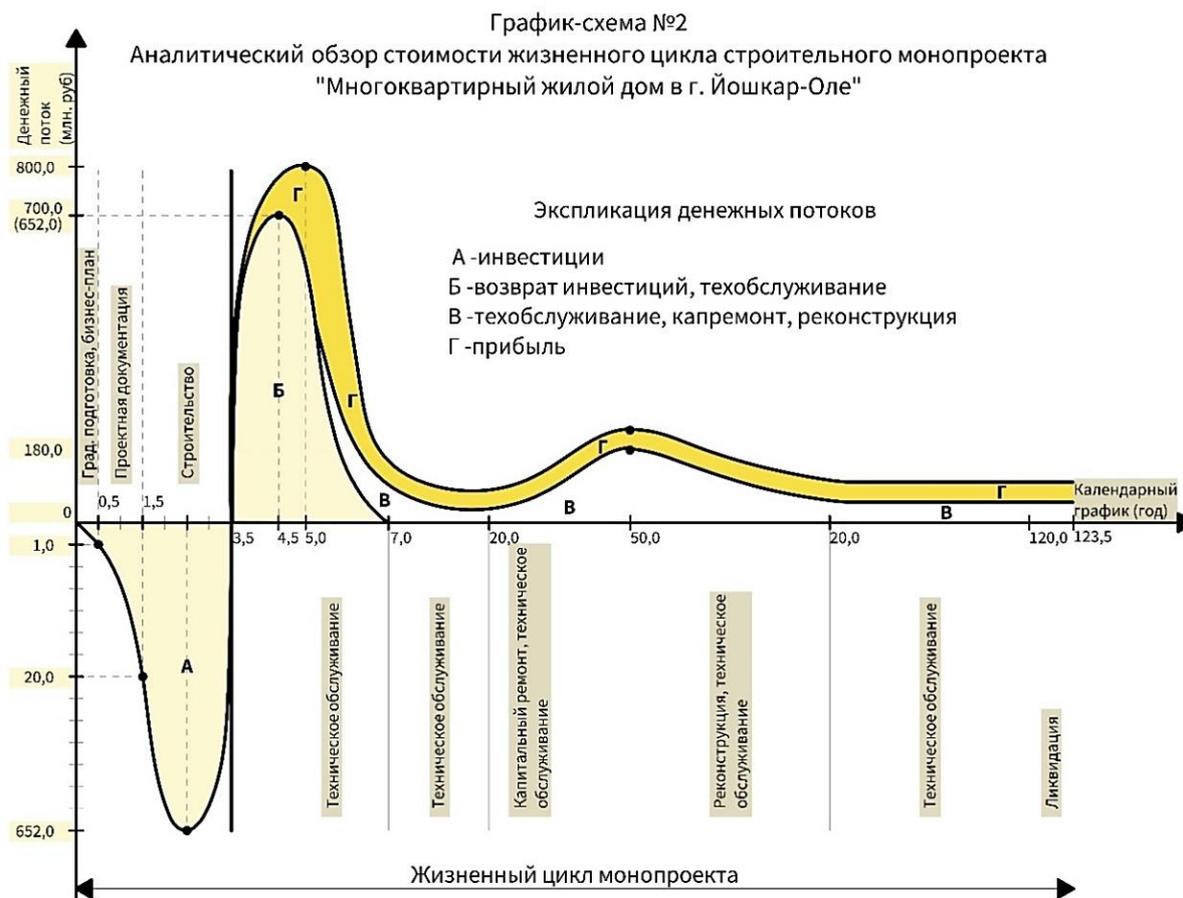


Рис. 3. График-схема «Аналитический обзор стоимости жизненного цикла строительного монопроекта «Многоэтажный жилой дом в г. Йошкар-Оле»

2. На графике по горизонтальной оси «Календарный график» запроектированы сроки инвестиционной и эксплуатационной фаз (периодов). Инвестиционные затраты будут осуществляться в течение подготовки и сбора информации – 0,5 года, разработки и утверждения проектной документации (ПД) – 1 год, периода строительства многоэтажного дома – 2 года и составят 652 677 227,4 руб.

3. Оценка экономической эффективности проекта. При оценке эффективности монопроекта был рассчитан срок окупаемости (РВР) – 3,5 года.

### Выводы

1. Проведен анализ ранее выполненных курсовых проектов и использования инновационных технологий в проектировании многоэтажных жилых домов.
2. Выполнен расчет стоимости жизненного цикла монопроекта.
3. Построен график-схема жизненного цикла монопроекта «Многоквартирный жилой дом» со следующими показателями: инвестиционный денежный поток (расход) и операционный (эксплуатационный) денежный поток (доход).
4. Определены экономические риски на протяжении жизненного цикла монопроекта.

Список литературы

1. Управление проектами: учебное пособие. 2-е изд. / И. И. Мазур, В. Д. Шапиро, Н. Г. Ольдерогге, А. В. Полковников / под общ. ред. проф. И. И. Мазура и проф. В. Д. Шапиро. М.: Омега-Л, 2010.
2. Новые технологии в строительстве. 2023. URL: <https://www.planradar.com/ru/novye-tehnologii-v-stroitelstve/> (дата обращения: 09.03.2023).
3. Новые технологии в строительстве: тенденции и современные методы. URL: <https://infra.com74.com/novye-tehnologii-v-stroitelstve-mnogoetazhnyh-domov/> (дата обращения: 09.03.2023).
4. Новые технологии в строительстве, которые изменят отрасль уже совсем скоро. URL: <https://pr-flat.ru/blog/novye-tehnologii-v-stroitelstve-kotorye-izmenyat-otrasl-uzhe-sovsem-skoro/> (дата обращения: 09.03.2023).
5. Руденко А. А., Ушакова Е. А. Инновационные технологии возведения высотных зданий: электронное учебно-методическое пособие [Текст] // 1 оптический диск. Тольятти: Тольяттинский государственный университет, 2020. 106 с.
6. Пескова О. С., Морозова И. А. Технологическое предпринимательство: учебное пособие. Волгоград: ВолгГТУ, 2021. 112 с.
7. Барабаш М. С. Компьютерное моделирование процессов жизненного цикла объектов строительства: монография. К.: Изд-во «Сталь», 2014. 301 с.

**ANALYTICAL REVIEW OF THE LIFE CYCLE COST OF THE MONOPROJECT  
"MULTI-STOREY RESIDENTIAL BUILDING IN THE CITY OF YOSHKAR-OLA"**

*Yuri A. Penkin, Irina V. Mukhamadshina, Vera A. Shumilina*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*The article is devoted to the analysis of technological and economic problems that arise when performing computational and graphic works "Life cycle of a multi-storey residential building in the city of Yoshkar-Ola" in the discipline "Technological entrepreneurship. Part 2" directions 07.03.01 Architecture.*

*The authors considered two stages of the startup team's work: the analysis of innovative technologies and the calculation of the life cycle cost of a multi-storey residential building.*

*As a result of the conducted research, an algorithm for the cost of a single project was formed.*

**Keywords:** *technological entrepreneurship; monoprocess; startup; innovative technologies; risks; cash flows; life cycle; calendar plan.*

# ТРАНСПОРТ. ЭНЕРГЕТИКА. МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 620.19

## КОРРОЗИОННО-УСТАЛОСТНОЕ ПОРАЖЕНИЕ МЕТАЛЛА ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

*Алибекова Елена Владимировна, Стародубцева Ольга Николаевна,  
Локшин Вадим Владимирович*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
E-mail: StarodubcevaON@volgatech.net

*Рассмотрены характеристики коррозионной стойкости, механических свойств, условий эксплуатации металлических труб. Проведены визуально-измерительный контроль, механические испытания и металлографические исследования на вырезках прямых участков и гибов экранных труб водогрейного котла ПТВМ 30М после 144 тысяч часов работы на газообразном топливе. Сделан расчет толщины стенки и допустимого рабочего давления. Проведен анализ причин возникновения коррозионно-усталостных повреждений металла стали 20 и предложены мероприятия по их предупреждению.*

**Ключевые слова:** *топочный экран; тепловое напряжение; коррозионная стойкость; гиб; усталостное повреждение; коррозионные процессы; трещины; термическая усталость.*

**Введение.** Эксплуатация тепловых электрических станций в значительной мере зависит от конструкционной прочности котельного оборудования.

Актуальной является задача повышения надежности водогрейных котлов, основное поражение которых наблюдается на наиболее теплонапряженных трубах топочных экранов, воспринимающих максимальные тепловые потоки в области горелок, а также подвергаемых воздействию давления и агрессивных сред.

При эксплуатации котлов происходят повреждения трубопроводов из-за внешних и внутренних факторов. К внутренним факторам относят дефекты или особенности производства проката, вида, состава металла и его структуры. Наиболее значительное влияние на скорость коррозионных процессов оказывают такие внешние факторы, как тепловое напряжение, наличие кислорода и агрессивность среды. Например, тепловое напряжение возникает из-за периодического контакта стенки металла труб с перегретым паром и кипящей жидкостью. Только в присутствии кислорода в нейтральной и слабощелочной среде наблюдается значительная скорость коррозии углеродистой стали. Коррозионно-эрозионный износ трубопроводов питательной воды приводит к образованию коррозионных пятен и язв, а термические напряжения могут вызвать образование трещин.

В процессе эксплуатации трубопроводы, работающие при температуре ниже 450 °С поражаются коррозией, эрозией и тепловой усталостью. При температуре выше 450 °С важную роль играют процессы ползучести и структурные изменения металла [1]. Наиболее опасной является ситуация, при которой сочетаются коррозионные факторы с действием знакопеременных нагрузок.

Повышение надежности котельного оборудования возможно только при комплексном рассмотрении характеристик коррозионной стойкости, механических свойств и микроструктуры используемого металла, условий его эксплуатации и выработки рабочего ресурса.

Необходимо отметить, что две соседние трубы могут иметь разную коррозионную стойкость в идентичных условиях эксплуатации. Ремонтные работы с вырезкой дефектного участка трубы не практикуют, поскольку термические и структурные напряжения после проведения сварочных работ будут еще сильнее способствовать коррозионным процессам. Более того, топочный экран, часть труб которого подверглась значительному коррозионному повреждению, довольно часто не восстанавливается, а полностью заменяется при ремонтах. Затраты на проведение ремонтных работ зависят от выявления причин дефектации труб и определения, носили ли поражения отдельных труб локальный характер, или же поражению подверглись трубы всего топочного экрана.

Трубопроводные блоки состоят из прямых участков и гибов. Гибы – наиболее уязвимые места трубопровода из-за их овальности и разностенности, изменения свойств наклепанного металла после гибки. Фактические напряжения на гихах тем выше, чем меньше радиус гиха, чем больше его овальность, утонение стенки по растянутым при гибке волокнам и уплощение (увеличение радиуса кривизны в поперечном сечении по нейтральному волокну) [1].

Основными причинами повреждения гибов являются технологические дефекты – нарушения заданной геометрии поперечного сечения (овальность, утонение, уплощение), грубые дефекты поверхности труб, а также металлургические дефекты. Гибы в большей степени подвержены коррозионно-механическому и коррозионно-термическому усталостному поражению.

При коррозионно-механическом повреждении гихы труб обычно разрушаются из-за образования трещины на наружной поверхности вдоль наиболее растянутого при гибке волокна, где толщина стенки минимальна из-за вытяжки. При коррозионно-термическом усталостном поражении трещины могут развиваться и с внутренней стороны гиха.

Неравномерный характер коррозионного поражения труб обусловлен неоднородностью состава и структуры металла, трубного проката, среды и пр. Физико-химические условия на границе раздела фаз металл – коррозионно-активная среды всегда неоднородны. Любой вид неоднородности приводит к увеличению скорости коррозии. Неоднородность возникает при плавке металла, производстве трубного проката и получает свое дальнейшее развитие при эксплуатации труб.

Поверхность металлической трубы защищена тонким слоем прокатной окалины, создающим относительно ровный и плотный слой продуктов коррозии с достаточно хорошей адгезией с основным металлом и защищающим от взаимодействия с рабочей средой. В процессе производства на заводе-изготовителе на ее поверхности могут образовываться плены, трещины, закаты, рванины, риски и рябизна, обезуглероженный слой и т. д. [2]. При эксплуатации трубы нарушается целостность окисной пленки, обнажаются анодные участки незащищенного металла, что приводит к язвенному поражению и последующему зарождению трещин при термоциклировании.

Значительное влияние на коррозионную стойкость труб, имеющих идентичный химический состав, оказывает неоднородность микроструктуры [2], которая может быть различной дисперсности и формы: пластинчатой, зернистой, игольчатой, смешанного типа. В процессе эксплуатации происходит неизбежная деградация структуры стали, сопровождаемая коррозионными процессами. Неоднородность микроструктуры вызывает дополнительные растягивающие напряжения вдоль границ зерен, приводящих к образованию микротрещин.

Таким образом, внутренние и внешние напряжения, вызванные геометрической, температурной и структурной неоднородностью, могут привести к разрушению металла труб.

**Анализ исходных данных.** Рассмотрим повреждения на вырезках трубы 60х3,0 мм топки блоков Ф-1 и Ф-2 потолочного экрана водогрейного котла ПТВМ-30М. Причина проведения ремонтных работ – трещинообразование на нескольких трубах, причем как на гйбах, так и на нейтральных участках. Котел находился в эксплуатации 144 тысяч часов при работе на газообразном топливе.

Анализ повреждений топочного экрана необходим для установления причин их возникновения, выработки предложений по объему и технологии ремонта или необходимости замены его новым, а также для разработки рекомендаций по предупреждению возникновения подобных повреждений в процессе дальнейшей эксплуатации.

В трубных элементах теплоэнергетического оборудования не допускаются трещины всех видов и направлений [4], поэтому стоит вопрос только о целесообразности замены отдельных труб или целого блока труб.

Экранная труба изготовлена из стали 20. В котельных установках до среднего давления включительно все поверхности нагрева и коллекторы в основном изготавливают из труб стали 20, которые обладают высокой коррозионной стойкостью при воздействии на них продуктов сгорания топлива, воды и пара при температуре до 450 °С.

Развитие коррозионных процессов в трубах происходит даже тогда, когда химический состав и механические характеристики стали 20 полностью отвечают требованиям технических условий, а эксплуатация котла осуществляется в соответствии с требованиями нормативных документов.

Основными видами коррозионных повреждений труб поверхностей нагрева являются общая или равномерная коррозия, а также коррозия язвами или пятнами.

При больших потерях массы металла оборудование выходит из строя вследствие сквозного повреждения. Опасное коррозионное растрескивание протекает в сталях при одновременном действии растягивающих напряжений, близких к пределу текучести, и коррозионной среды. В то же время усталостное разрушение может вызываться напряжениями ниже предела текучести и даже предела упругости.

В условиях рабочей температуры эксплуатации экранных труб (150 °С) структурно-фазовой деградации не происходит, что и показал металлографический анализ.

Тепловые разрушения металла вследствие высоких термических напряжений возникают после одностороннего обогрева периметра экранных труб при образовании слоя внутренних отложений. В экранных трубах, в основном по лобовой образующей, где скапливаются коррозионные наросты и отложения, температура может достигать значений более 600 °С, при этом аксиальные термические напряжения растут и могут достичь пределов прочности стали [5].

Коррозионные процессы на наружной поверхности труб поверхностей нагрева зависят от большего числа факторов (вида топлива, режима работы котлоагрегата, состояния поверхности труб и пр.). Внутренняя коррозия труб в основном определяется видом, качеством металла и трубного проката, рациональным режимом и контролем водоподготовки. Загрязнения поверхностей нагрева внутренними отложениями ускоряют наружную коррозию металла.

**Анализ визуальных исследований.** Проведенный визуально-измерительный контроль показал, что внутренняя и наружная поверхности труб на прямых участках и гibaх лишены значительного коррозионного налета, способного привести к перегреву металла труб, поэтому чрезмерные термические напряжения не будут являться причиной разрушений труб. На их внешней поверхности имеется только черно-бурый налет с местами выхода трещин, образовавшихся с внутренней стороны.

На гibaх и прямых участках труб с внутренней стороны образовалось множество трещин различной направленности длиной до 7 мм (рис.1).



Рис. 1. Фотографии вырезок трубы с трещинами различной ориентации, фиксированными методом цветной дефектоскопии с использованием пенетрантов Шервин

Трещины развивались на внутренней поверхности трубы, которая имеет черно-бурый налет и покрыта единичными слоистыми бурыми отложениями длиной до 3,0 мм и высотой до 1,2 мм. На внутренней поверхности выявлены отдельные коррозионные язвы глубиной до 1,5 мм и коррозионные пятна, диаметром до 20 мм. Участки повреждения внутренними трещинами наблюдаются как по местам гибов, так и на прямых участках труб.

При металлографическом исследовании установлено, что трещины развивались преимущественно от коррозионных язвин, имеют транскристаллитный характер и заполнены продуктами коррозии. Вид трещин указывает на постепенное накопление повреждений материала под действием многократных повторных температурных напряжений и коррозионной среды.

Фактором, способствующим ускоренному повреждению металла язвами, могло стать наличие в воде кислорода. Кислород проникает в воду из-за отклонения водно-химического режима, а также из воздуха в периоды плановых остановок котлов.

Ультразвуковой контроль толщины стенки экранной трубы  $\varnothing 60 \times 3,0$  мм блоков Ф-1 и Ф-2 показал, что толщины стенок прямых участков труб варьируются от 2,6 до 3,0 мм, на гibaх

труб толщина соответствует 2,8–2,4 мм, причем толщина стенки труб уменьшается от лобовой стороны к тыльной.

**Математический расчет.** Был проведен расчет прочности экранной трубы из стали 20 наружным диаметром ( $D_n$ ) 60 мм и исполнительной толщиной стенки трубы 3 мм.

Расчет выполнен при рабочей температуре  $t = 150\text{ }^\circ\text{C}$  с учетом напряжений от внутреннего давления среды (воды,  $p = 20,0\text{ кгс/см}^2$ ) и номинального допускаемого напряжения  $[\sigma] = 143\text{ МПа}$  при ресурсе  $10^5$  часов.

Расчетная толщина стенки ( $S_r$ ), определенная по формуле  $s_r = \frac{pD_n}{2\phi[\sigma] + p}$  [6], составила 0,42 мм, а с учетом технологической и эксплуатационной прибавки допустимая толщина стенки равна 1,66 мм.

Толщина стенки принимается с большим запасом (более 1,5 раза) относительно необходимой величины, рассчитанной по наибольшим напряжениям в металле от внутреннего давления среды.

Допустимое рабочее давление составило 4,8 МПа, что выше рабочего в 2,4 раза. Приведенные напряжения не превышают значений допустимых напряжений при расчетной температуре. Расчет показал, что запасы прочности исследуемых прямых участков и гибов превышают нормативный уровень, даже с учетом коррозионной эрозии. Однако повышенные толщины стенок экранных труб не обеспечивают их достаточную надежность.

**Анализ механических испытаний.** Механические испытания на разрывной машине показали, что металл гибов имеет очень низкую пластичность  $\delta_5$  (относительное удлинение) 3–12 %, при минимально допустимом значении  $\delta_5 = 21\text{ }%$  для стали 20 [7]. Отдельные образцы с лобовой части гiba трубы оказались столь хрупки, что разрушились в зажиме разрывной машины.

На прямых участках труб наблюдается снижение пластичности  $\delta_5$  от 13 до 17 %.

Предел прочности стали 20 должен быть не менее 412 МПа [7]. На прямых участках труб значения прочности  $\sigma_b$  составили 408–499 МПа, снижаясь от лобовой части к тыльной. В прочностных свойствах металла гибов наблюдается более сильный разброс показателей предела прочности  $\sigma_b$  от 177 до 607 МПа от лобовой к тыльной части, что показывает на сильную неравномерность распределения дефектов по сечению трубы.

Результаты исследования показали, что наблюдаемые и выявленные повреждения в трубах на прямых участках и гibaх протекают по одному и тому же механизму.

Появление одиночных коррозионных язв, служащих очагами развития разориентированных трещин, привели к резкому снижению прочностных и пластических свойств металла труб и повышению хрупкости.

**Анализ условий эксплуатации.** На развитие коррозионно-усталостных процессов могут указывать условия эксплуатации и вида повреждений металла труб топочного экрана.

Усталость металлов – явление разрушения в результате многократных повторных нагружений. Нагрузки, изменяющиеся во времени, возникают при пусках и остановах, а также при переходных режимах. Они связаны с изменением температуры, давления и состава рабочей среды.

Термическая усталость – разрушение от периодически возникающих и изменяющихся во времени термических напряжений. Трещины термической усталости соответствуют обычно

так называемой малоцикловой усталости, то есть макротрещина появляется при  $10^2$ – $10^5$  циклах. Наружные слои металла трубы нагреваются сильнее, и если бы они не были связаны с внутренними слоями, то длина их увеличилась бы в соответствии с законом линейного расширения, однако внутренние, более холодные слои препятствуют этому расширению. Поэтому наружные слои трубы оказываются сжатыми, а внутренние – растянутыми.

Поскольку термические напряжения определяются тепловыми расширениями, то они релаксируют со временем, поэтому трещины термической усталости обычно распространяются с затухающей во времени скоростью. После образования первых трещин в их окрестностях термические напряжения снижаются из-за повышения локальной податливости металла, и новые трещины возникают на соседних участках металла [1]. Для термической усталости характерна сетка трещин. Трещины термической усталости могут быть продольными и кольцевыми. Они развиваются с внутренней стороны в районе нейтральных волокон, где дополнительные изгибные растягивающие напряжения могут достигать большой величины. Когда оставшееся сечение металла при наличии концентрации напряжений не может выдержать нагрузки от внутреннего давления, происходит образование макротрещин.

Необходимо отметить, что углеродистые стали менее стойки против тепловой усталости, чем низколегированные стали ферритно-перлитного класса.

Наличие коррозионно-активной среды ускоряет появление и рост трещин термической усталости.

Развитие коррозионно-усталостных повреждений происходит по двухстадийному механизму. Из-за неоднородности проката, металла и среды, играющих роль концентраторов напряжений, происходят развитие пластической деформации и растрескивание продуктов коррозии с обнажением анодных участков и ускорением образования коррозионных язв. На втором этапе, преимущественно от очагов коррозионных язв, под воздействием коррозионной среды и высоких термомеханических напряжений происходит развитие трещин коррозионно-термической усталости металла.

**Выводы.** Проведенные исследования на вырезках труб топчного экрана водогрейного котла ПТВМ-30М показали, что основной причиной повреждений на внутренней поверхности прямых участков и гибов труб являются коррозионно-усталостные процессы, выразившиеся в образовании сетки разориентированных трещин на внутренней поверхности трубы. Этому процессу оказались подвержены все трубы топчного экрана, как гибы, так и прямые участки. Гибы, как более напряженные места трубопровода, подверглись более сильному процессу трещинообразования.

Для повышения срока эксплуатации тепловоспринимающих элементов водогрейных котлов из стали 20 должны быть предусмотрены мероприятия по предотвращению развития кислородной коррозии, для чего необходимо улучшить консервацию котлов во время остановов и проводить гидравлические опрессовки деаэрированной водой. При эксплуатации котельного оборудования более  $10^5$  часов во время плановых остановов выборочно, на самых теплонапряженных гибох с лобовой части, проводить неразрушающий контроль (методами цветной, магнитной или иной дефектоскопии) образования трещин, а при сроке эксплуатации более  $1,4 \cdot 10^5$  часов – контроль механических свойств и трещинообразования металла на вырезках.

Список литературы

1. Антикайн П. А. Металлы и расчет на прочность котлов и трубопроводов. М: Энергоатомиздат, 1990. 368 с.
2. ГОСТ 21014-88. Прокат черных металлов. Термины и определения дефектов поверхности.
3. Помазова А. В. Повышение коррозионной стойкости поверхностей нагрева котлоагрегатов за счет модификации режимов термической обработки труб из стали 20: дис. ... канд. технич. наук. Томск, 2017.
4. ГОСТ Р 58177-2018. Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Тепловые электрические станции. Оборудование тепломеханическое тепловых электростанций. Контроль состояния металла. Нормы и требования.
5. Каменецкий Б. Я. Прочность экранных труб водогрейных котлов // Новости теплоснабжения. 2012. № 5 (141). URL: [http://www.nts.ru/5\\_2012.html](http://www.nts.ru/5_2012.html)
6. РД 10-249-98. Нормы расчета на прочность стационарных котлов и трубопроводов пара и горячей воды (с изм. № 1).
7. ГОСТ 8733-87. Трубы стальные бесшовные холоднодеформированные и теплодеформированные. Технические условия.

**CORROSION-FATIGUE DAMAGE TO METAL HEAT ENGINEERING PURPOSE**

*Elena V. Alibekova., Olga N. Starodubceva, Vadim V. Lokshin*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*The characteristics of corrosion resistance, mechanical properties, operating conditions of metal pipes are considered. Visual and measuring control, mechanical tests and metallographic studies were carried out on the cuttings of straight sections and bends of the furnace-wall tube of the PTVM 30M hot water boiler after 144 thousand hours of operation on gaseous fuel. The calculation of the wall thickness and permissible operating pressure was carried out. The analysis of the causes of the occurrence of corrosion fatigue damage to the metal of steel 20 was carried out and measures were proposed to prevent them.*

**Keywords:** furnace wall; heat liberation rate; corrosion resistance; bend; fatigue damage; corrosion process; flaw; thermal fatigue.

УДК 621.8

**УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
ДЕТАЛЕЙ С НАКЛОННЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ ТРЕНИЯ**

*Осипов Владимир Игоревич, Охотин Юрий Вениаминович,  
Никоноров Константин Николаевич*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
E-mail: OsipovVI@volgatech.net

*Рассматриваются вопросы, связанные с особенностями изучения в техническом вузе взаимодействия деталей с наклонными поверхностями трения. Проводится анализ представления данного процесса в профильной литературе. Приводится описание конструкции устройства настольного типа, созданного для изучения этого процесса и выполнения демонстрационных и исследовательских студенческих работ. Формулируются методические предпосылки использования устройства при выполнении учебных действий.*

**Ключевые слова:** трение; наклонные поверхности; самоторможение; конструкции; угол трения; угол подъёма; измерения.

**Введение.** В машиностроении широко применяются различные узлы и устройства с поверхностями трения, имеющими отклонения (наклон) от линий симметрии геометрических форм, составляющих их деталей или их конструктивных элементов. Это и соединения (клиновые, штифтовые, конусные, резьбовые, коническими стяжными кольцами), и передачи (червячные, винтовые, волновые) и другие. В силу определённых функциональных преимуществ область применения этих устройств постепенно расширяется и пополняется новыми конструкциями.

Одним из основных параметров работоспособности данных конструкций является обеспечение наличия условия самоторможения, исключающего возможность обратного движения в передачах и гарантирующего неослабление затяжки (крепления) в соединениях или, наоборот, обеспечение отсутствия этого условия для возможности разборки разъёмных соединений или обратного движения в передачах. Этот дуализм предопределяет повышенный интерес к представленной области техники при изучении основ конструирования машин.

Условие самоторможения связано с возникновением и действием сил трения на наклонных рабочих поверхностях контактирующих деталей. Этот процесс в теоретическом плане коротко рассматривается в главе о трении раздела статики [1] как вариант равновесного положения тела на наклонной шероховатой плоскости. Но при этом изложение находится вне контекста решения практических инженерных задач и не рефлексивируется студентом как важный момент проектирования деталей и узлов машин.

В специализированной литературе по изучению принципов проектирования и конструирования деталей и узлов машин [2, 3, 4] данному вопросу не уделяется достаточного внимания. Или он совсем не рассматривается [5, 6]. Это побуждает исследователей продолжать конструировать установки для выполнения экспериментов с разными материалами [7, с. 6–8] в условиях лабораторий, но они не всегда становятся подходящими для стеснённых и мобильных условий учебной ситуации.

**Цель работы** – спроектировать устройство для испытаний образцов различных форм и материалов, располагаемых и нагружаемых на поверхности с изменяемым и измеряемым углом наклона, с возможностью визуального контроля относительного перемещения частей, удобное для аудиторного использования.

**Задачи**, способствующие достижению этой цели, включают в себя обеспечение ортогональности линии действия нагрузки к поверхности возможного движения, возможности кратного изменения величины нагрузки, простоты и доступности для понимания студентом физической сущности испытания и его связи с процессами трения, происходящими в упомянутых выше узлах и передачах.

В результате конструкторско-аналитического моделирования в трёхмерной проектной среде SolidWorks была создана документация на устройство, изображённое на рисунке 1, состоящее из пяти основных частей: неподвижное основание 1, подвижный столик 2, регулирующее 3, нагружающее 4, измерительное 5.

Неподвижное основание имеет четыре опоры 6, регулируемых с помощью резьбы по высоте. Нагружающее устройство жёстко связано с основанием 1. Остальные части расположены на подвижном столике 2.

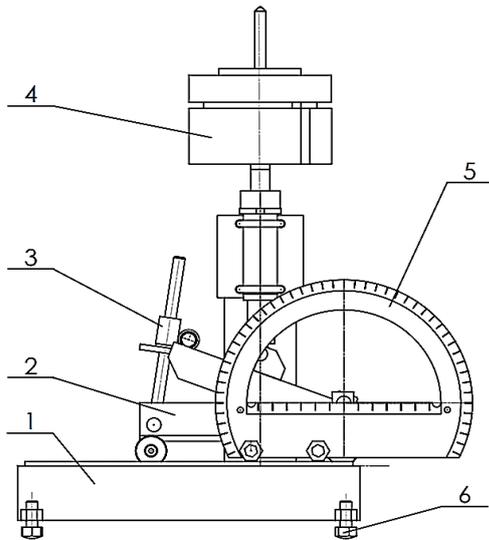


Рис. 1. Основные части установки

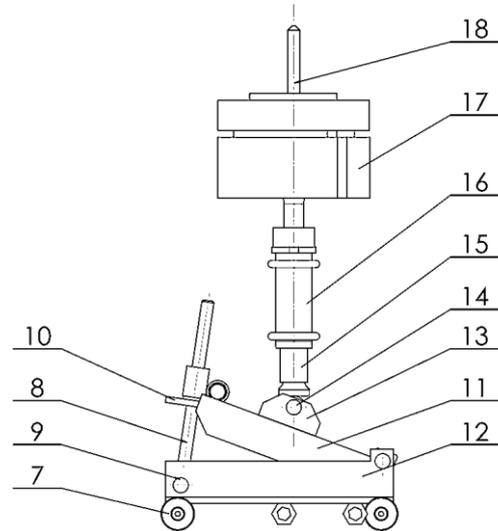


Рис. 2. Подвижный столик и нагрузочное устройство

Подвижный столик, изображённый на рисунке 2, опирается на свободно вращающиеся колёса 7, с левой стороны столика ходовой винт 8, регулирующий устройства, соединён с помощью оси 9 с бортами столика, на винте находится специальная гайка 10 с рифленой цилиндрической поверхностью. Подъёмный столик 11 с левой стороны опирается на гайку 10, а с правой стороны соединён с осью 12, также опирающейся на борта подвижного столика. На подвижном столике в специальных пазах закреплён с помощью винтов металлический транспортер 5 с ценой деления 0,5 градуса.

Нажимной башмак 13 нагружающего устройства с помощью оси 14 соединён с толкателем 15, расположенным в направляющей 16. Сменные грузы 17 опираются на тарелку штока 18, закреплённую на толкателе 15.

Регулируемые опоры 6 позволяют выставить неподвижное основание горизонтально по уровню или обеспечить устойчивость на неровной поверхности, или создать уклон для компенсации статического сопротивления движению подвижного столика без нагрузки.

Неподвижное основание 1 изготовлено из стали и имеет гладкую опорную поверхность длиной 240 мм для свободного перекатывания по ней подвижного столика. Перекатывание подвижного столика 2 с малым сопротивлением обеспечивается ещё высокой твёрдостью и малой шероховатостью поверхности качения колёс 7, выполненных из шарикоподшипников. Ходовой винт 8 имеет возможность отклонения в вертикальной плоскости благодаря шарнирному креплению на оси 9 для сопровождения изменения положения опорного конца подъёмного столика 11. Подъёмный столик в зависимости от положения гайки 10 может поворачиваться в вертикальной плоскости вокруг оси 12 на угол от 0 до 45 градусов.

Нажимной башмак 13 для обеспечения постоянного прилегания к рабочей поверхности подъёмного столика 11 шарнирно закреплён на оси 14 с возможностью свободного поворота в вертикальной плоскости на угол, равный углу поворота подъёмного столика. Для компенсации влияния погрешностей изготовления установки и неточностей расположения деталей при выполнении испытаний нажимной башмак и толкатель 15 имеют возможность свободно поворачиваться в горизонтальной плоскости (самоустанавливаться) в отверстии направляющей 16.

Для создания равномерного давления на поверхностях испытываемых материалов нажимной башмак 13 имеет симметричную форму относительно оси крепления к толкателю. Снижение влияния сил трения в паре толкатель–направляющая обеспечено подбором материалов с антифрикционными свойствами: сталь–чугун.

Подъёмный столик 11 имеет длину рабочей поверхности 100 мм и предназначен для расположения и закрепления на нём образцов из испытываемых материалов. Также для создания различных пар трения образцы материалов могут быть закреплены на опорной поверхности нажимного башмака длиной 30 мм.

Нагрузка создаётся установкой на тарелку штока сменных грузов массой от 0,5 до 5 кг с учётом собственной массы подвижной части нагружающего устройства.

Условие горизонтальной неподвижности столика 2 на основании 1 при действии на наклонную поверхность его подъёмного столика внешней силы давления описывается соотношением [1]

$$\alpha \leq \varphi,$$

где  $\alpha$  – угол наклона подъёмного столика;  $\varphi$  – угол трения данной пары материалов, определяемый как

$$\varphi = \arctg f,$$

где  $f$  – коэффициент трения.

В большинстве конструкций с наклонными поверхностями рабочих элементов процессы трения скрыты от возможности прямого наблюдения. Полученное устройство даёт возможность использования простой интерпретации с мысленной заменой взаимодействующих деталей установки на рабочие части или конструктивные элементы реальных объектов техники. Для усиления дидактического эффекта полезно предлагать студенту самостоятельно анализировать и формулировать объяснения этих действий с построением расчётных моделей. При этом можно «идти» как от реального объекта к физическому эффекту, так и наоборот. Учитывая, что используемые в лабораторных работах узлы и агрегаты (редукторы) часто бывают не в оптимально отрегулированном состоянии, истинная (физическая) причина самоторможения бывает не очевидна для студента. Выполняя физическое моделирование контакта трения можно определить истинную причину невозможности обратного движения.

На основании разработанной документации изготовлена установка общей массой 5 кг и с установленными сменными грузами, представленная на фото рисунка 3 в момент испытаний. Масса самой тяжёлой части – неподвижного основания с нагружающим устройством – составляет 3,8 кг без сменных грузов.

Относительно небольшие габариты и масса установки позволяют располагать её на испытывающих вибрацию поверхностях, например от работающей лабораторной установки, для определения влияния колебаний на изменение параметров процесса трения.



Рис. 3. Установка в момент испытаний

**Выводы.** Спроектированное и изготовленное устройство соответствует поставленной цели и обеспечивает функциональность, наглядность процесса взаимодействия деталей с наклонными поверхностями трения, достаточную для учебных целей точность измерений, мобильность.

*Список литературы*

1. Курс теоретической механики: учебник для вузов по направлению подгот. дипломиру. специалистов в обл. техники и технологии / В. И. Дронг, В. В. Дубинин, М. М. Ильин и др.; под ред. К. С. Колесникова. 3-е изд., стер. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. 735 с.
2. Детали машин: учебник для вузов / Л. А. Андриенко, Б. А. Байков, И. К. Ганулич и др.; под ред. О. А. Ряховского. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007. 520 с.
3. Чернилевский Д. В. Детали машин и основы конструирования: учебник. М.: Машиностроение, 2012. 672 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/5806>
4. Иванов М. Н., Финогенов В. А. Детали машин: учебник для вузов. М.: Высшая школа, 2010. 408 с.
5. Дунаев П. Ф., Леликов О. П. Конструирование узлов и деталей машин. М.: Высшая школа, 2009. 448 с.
6. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3 т. / под ред. И. Н. Жестковой. Изд. 9-е. М.: Машиностроение, 2006.
7. Экспериментальная установка для определения угла трения / С. Х. Галеев, К. В. Потапов, Б. А. Ильмянов, Д. Ю. Апташев, Н. С. Трушков // Двадцать шестые Вавиловские чтения: материалы Международной междисциплинарной научной конференции: в 2 ч. / под общ. ред. проф. В. П. Шалаева. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2023. Ч. 2. 172 с.

**DEVICE FOR STUDYING THE INTERACTION  
OF PARTS WITH INCLINED FRICTION SURFACE**

*Vladimir I. Osipov, Yuri V. Okhotin, Konstantin N. Nikonorov*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*The issues related to the peculiarities of studying the interaction of parts with inclined friction surfaces in the educational process of a technical university are considered. The analysis of the representation of this process in the profile literature is carried out. A description of the design of a desktop-type device created to study this process and perform demonstration and research student work is given. Methodological prerequisites for the use of the device when performing educational activities are formulated.*

**Keywords:** *friction; inclined surfaces; self-braking; structures; friction angle; lifting angle; measurements.*

# БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ. ИНЖЕНЕРИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 551.46.0

## МИРОВОЙ ОКЕАН – БУДУЩЕЕ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА

*Лаврентьев Борис Федорович*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола

E-mail: LavrentevBF@volgatech.net

*Мировой океан занимает 71 % поверхности нашей планеты и оказывает огромное влияние на все стороны жизни человека. Поэтому создание аппаратуры для исследования Океана является важнейшей задачей современности. В статье приводится информация, содержащаяся в работах ученых Поволжского государственного технологического университета, по созданию приборов для исследования Мирового океана. Сотрудники Волгатека принимали активное участие в исследовании волновых процессов в Океане в научных центрах Владивостока, на Сахалине, Курильских островах, а также в десяти международных научных экспедициях на научно-исследовательских судах АН СССР. Были созданы прибрежные мареографы, приборы для измерения внутренних волн, мареограф открытого моря, с помощью которого впервые в мире измерили приливные волны в открытой части Южно-Китайского моря и в открытом океане к востоку от острова Сахалин.*

**Ключевые слова:** *Мировой океан; аппаратура для исследования океана; животный мир океана; прибрежный мареограф; мареограф открытого моря; научные экспедиции.*

**Введение.** Мировой океан занимает 71 % поверхности нашей планеты и оказывает огромное влияние на все стороны жизни человека. Океан определяет климат на земле, является источником огромных минеральных и биологических ресурсов планеты, обеспечивает самые дешевые транспортные перевозки грузов и обладает самыми большими энергетическими ресурсами планеты при строительстве приливных электростанций. Поэтому важнейшей задачей современности является изучение Мирового океана.

В СССР задачам изучения Мирового океана придавали огромное значение. Был создан ряд океанологических научно-исследовательских институтов, открыты соответствующие факультеты в ведущих вузах страны по подготовке специалистов-океанологов, организованы многочисленные научные базы и построен лучший в мире научный флот для исследования Мирового океана.

Животный мир Океана чрезвычайно разнообразен. Больше всего в нем моллюсков – более 20 тыс. видов. Есть еще более 20 тыс. видов ракообразных, более 16 тыс. видов рыб, примерно 15 тыс. видов одноклеточных, преимущественно радиолярий, фораминифер и инфузорий, около 9 тыс. видов кишечнополостных, более 7 тыс. видов червей, 5 тыс. видов губок, столько же видов иглокожих, 3 тыс. видов мшанок. Среди позвоночных, кроме рыб, в океане живут 50 видов рептилий, в основном черепах и змей, и более 100 видов млекопитающих, главными из которых являются китообразные и ластоногие. Киты – самые большие животные в мире. Масса кита превышает массу слона в десятки раз. Среди ластоногих самые большие – моржи.

Жизнь в Океане существует во всей его толще, даже во мраке глубоких впадин, которые еще не открыли человеку всех своих тайн. Живые организмы моря делятся на два больших мира: *растения и животные*. Среди морских организмов преобладают микроскопические одноклеточные водоросли, их невозможно разглядеть невооруженным глазом. Это жгутиковые и диатомовые, бурые, красные и сине-зеленые. Некоторые морские животные обладают способностью светиться. Так, светятся животные, живущие на дне глубоководных впадин, а также некоторые рыбы и моллюски, бактерии и планктонные организмы в верхней толще воды. От их наличия вода в ночное время приобретает молочный оттенок, а при прохождении плавсредств они дают яркие вспышки, создавая рисунок огненного моря.

Все живые организмы распределены в Мировом океане неравномерно. На шельфе до глубины 200 м сосредоточено до 58 % всей биомассы Океана, а на глубинах от 200 до 400 м – 32 %. Всего над шельфом и материковым склоном сосредоточено 90 % всей биомассы. Жизнь в Океане охватывает всю толщу воды. Густо заселены прибрежные подводные равнины, устья рек, океанские горные цепи и отдельные горы, районы поднятия глубинных вод. В целом животной биомассы в Мировом океане почти в 20 раз больше, чем растительной.

Коралловые рифы – это одно из наиболее удивительных явлений природы. В тропических водах по своей биологической значимости и продуктивности они являются настоящими оазисами жизни. Пожалуй, нет ни одного описания путешествий в тропические моря, где бы ни упоминалось о коралловых рифах. Одни авторы восторженно отзываются о теплых водах прозрачных тихих лагун, на дне которых раскинулись необыкновенные по красоте подводные коралловые сады с удивительно красивыми рыбками и моллюсками, дающими человеку жемчуг и перламутр. Другие – с ужасом повествуют о гибели кораблей, неосторожно приблизившихся к скрытой в бурунах и прочной, как камень, известковой цитадели, построенной миллиардами таинственных существ, именуемых коралловыми полипами.

Удивительно разнообразны кораллы по форме и цвету. Густые заросли зеленых, желтых, бурых, кофейных, сиреневых и розовых кустов окаймляют гроты и туннели, на стенах которых лепятся кораллы самых причудливых форм. Картина фантастическая, только, в отличие от наземных садов, ветки здесь не колышутся. Необычна их форма – это могут быть массивные пластины, каменные чаши необычной формы, ажурные сооружения. На дне лагун, на ослепительном белом песке лежат кораллы в виде одиночных созвездий и мозговиков, удивительно похожих на мозг человека. Некоторые колонии кораллов представляют собой многометровые кусты или вертикальные столбы. Коралловые рифы встречаются в основном в тропической зоне и в основном в Тихом и Индийском океанах. Коралловые полипы питают-

ся планктоновыми организмами – крошечными рачками, личинками различных морских беспозвоночных животных и рыб.

Животный и растительный мир коралловых рифов необыкновенно богат: одних только коралловых рыбок насчитывается более двух тысяч видов. Характерная их особенность – яркость, пестрота окраски и форма. Заросли из полипов защищают рыбок от хищников. Среди кораллов следует выделить моллюсков, которые прячутся в очень прочных ракушках. Они располагаются на различной глубине, и их сбор превращается в увлекательную охоту. Питаются моллюски водорослевым налетом, который они соскабливают с рифа.

У кораллов есть враги – это, прежде всего, морские звезды и морские ежи. Несмотря на красоту, коралловые рифы таят в себе немало опасных хищных и ядовитых обитателей, встреча с которыми может привести к печальным последствиям. Однако, если надеть спортивный костюм, шапочку, носочки и перчатки и ничего вблизи не трогать, то можно долгое время быть зрителем подводного театра. Вот к тебе подплывает морской окунь с безумными глазами и гипнотическим взглядом, а рядом из-за ветки коралла выглядывает красная мурена. Кстати, кораллы таят в себе много неразгаданных загадок. Например, никто не может понять, как кораллы «организуют свадебные мероприятия» на атоллах длиной более тысячи километров в течение одной ночи.

Каждый, кто видел своими глазами подводный мир кораллового рифа, невольно сравнивает его с роскошным сказочным цветущим садом.

***Поволжский государственный технологический университет подключился к работам по океанологии в 1978 году, заключив целый ряд научных договоров с Тихоокеанским океанологическим институтом АН СССР [1–5]. Тематика договоров имела двойное применение и поэтому хорошо финансировалась. За 20 лет работы наши сотрудники создали целый ряд уникальных приборов и систем для изучения волновых процессов в океане, не имеющих аналогов в мировой практике [6, 7], и впервые в мире измерили приливные волны в открытом океане, подтвердив одну из четырех существующих теорий по их расчетам, в результате чего Академией наук СССР был выпущен «Атлас приливных волн Восточных морей Российской Федерации».***

За время работы сотрудники и студенты ПГТУ ежегодно принимали активное участие в работах на морских базах Академии наук и ***участвовали более чем в десяти Международных морских экспедициях на научных судах АН СССР, посетив более 25 стран мира.*** Во время экспедиций значительную часть времени приходилось работать на необитаемых островах Карибского моря, Сейшельских островов, Средиземного моря, Индийского и Тихого океанов, Южно-Китайского и Охотского морей. Учитывая, что разработанная нами аппаратура функционировала в основном в автоматическом режиме, сотрудники большую часть времени посвящали знакомству с архитектурой и культурой посещаемых стран или проводили время в рифовой зоне прибрежных островов, наслаждаясь коралловыми зарослями разных форм и цветов, в которых плавали золотые рыбка, прятались мурены, гипнотизировали каменные окуни, а еще – медузы, ракушки и неизвестные животные.

Как отмечалось выше, сотрудники и студенты ПГТУ ежегодно принимали активное участие в работах в научных центрах, специализирующихся на изучении Мирового океана: в Павловске Ленинградской области, Москве, Томске, во Владивостоке, на острове Попова на

научной базе института океанологии АН СССР, на Сахалине, Курильских островах и других научных центрах, а также принимали участие в десяти Международных экспедициях на научно-исследовательских судах АН СССР.

***К наиболее значимым морским научным экспедициям относятся:***

- *кругосветная научная экспедиция на научно-исследовательском судне «Академик Александр Виноградов» по маршруту: Рига – Копенгаген – Северное море – пролив Ламанш – Атлантический океан – Куба – Панама – Тихий океан – Филиппины – Сингапур – Японское море – Владивосток;*

- *научная экспедиция на научно-исследовательском судне «Академик Александр Несмеянов» по маршруту: Рига – Копенгаген – Северное море – пролив Ламанш – Бискайский залив – Гибралтар – Средиземное море – Греция – Суэцкий канал – Египет – Красное море – Йемен – Сейшельские острова – Индийский океан – Сингапур – Тихий океан – Японское море – Владивосток;*

- *научная экспедиция на научно-исследовательском судне «Академик Александр Несмеянов» по маршруту: Владивосток – Японское море – Курильские острова – Шанхай – Вьетнам – Дананг – острова Камбоджи – Сингапур – Тихий океан – Японское море – Владивосток;*

- *научная экспедиция на морской яхте по маршруту: Владивосток – Японское море – Татарский пролив – Охотское море – Шантарские острова – Татарский пролив – Находка – Владивосток.*

***Основные задачи научных исследований, выполняемые сотрудниками ПГТУ:***

- *исследование внутренних волновых процессов в океане по маршруту движения научного судна;*

- *исследование приливных волн в береговой зоне морей и океанов;*

- *исследование температурных характеристик поверхностей водной среды в районах морских течений;*

- *измерение приливных волн в районе Шантарских островов в Охотском море с целью проектирования в этом районе приливной гидростанции большой мощности для обеспечения Дальнего Востока дешевой электроэнергией;*

- *впервые в мире были измерены приливные волны в открытом океане в районе Южно-Китайского моря и в Тихом океане к востоку от островов Курильской гряды, в результате чего подтверждена одна из четырех существующих теорий расчета приливных волн в открытом океане, Академией наук России выпущен «Атлас приливных волн восточных морей Российской Федерации», который нашел широкое практическое применение. Данная работа была направлена на соискание Государственной премии СССР.*

**Заключение.** За двадцать лет работы с Академией наук СССР по исследованию Мирового океана сотрудниками ПГТУ было изготовлено более 20 приборов и установок для изучения Мирового океана, которые использовались на практике на научных полигонах Академии наук, а также в экспедициях на научных судах АН СССР. На все приборы и установки разработана техническая и эксплуатационная документация. Аппаратура изготовлялась на Марийском машиностроительном заводе с использованием специальных технологий.

За период работы университета по морской тематике были созданы и изготовлены:

- прибрежные мареографы – автономные глубоководные мареографы;
- системы измерения внутренних волн;
- система непрерывного измерения температуры поверхностного слоя воды при движении судна;
- приборы для решения специальных задач и др.

#### Список литературы

1. Лаврентьев Б. Ф. Буксируемая система сбора и обработки океанологической информации // Сборник докладов Третьего съезда океанологов. Ленинград, 1987.
2. Лаврентьев Б. Ф., Бакуменко М. Л., Бакуменко Н. И. Глубоководный гидрофизический комплекс // Сборник докладов Третьего съезда океанологов. Ленинград, 1987.
3. Лаврентьев Б. Ф., Богданов К. Т., Некрасов Н. И. Исследование приливов открытой части Южно-Китайского моря с применением глубоководного мареографа // Доклады Академии наук СССР. 1990. Т. 31. С. 733–735.
4. Автономный мареограф открытого океана / Б. Ф. Лаврентьев, К. Т. Богданов, М. Л. Бакуменко, Н. И. Бакуменко // Океанология. АН СССР, 1991. Т. 31.
5. Мареограф прибрежный МП–1 / Б. Ф. Лаврентьев, К. Т. Богданов, М. Л. Бакуменко, Н. И. Бакуменко // Океанология. АН СССР, 1993. Т. 33, № 1.
6. Авторское свидетельство № 974124 СССР, МПК G01C 13/00. Автономный волнограф: № 3297903 / А. Г. Карпов, Б. Ф. Лаврентьев. Заявл. 02.06.1981; опубл. 15.11.1982.
7. Авторское свидетельство № 1174750 А1 СССР, МПК G01C 13/00. Автономный волнограф: № 3672346 / Б. Ф. Лаврентьев, С. В. Пономарева; заявитель Марийский Орден Дружбы народов политехнический институт им. А. М. Горького. Заявл. 08.12.1983; опубл. 23.08.1985.

## THE WORLD OCEAN IS THE FUTURE OF HUMANITY

*Boris F. Lavrentiev*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*The world ocean occupies 71 % of the earth's surface of our planet and has a huge impact on all aspects of human life. Therefore, the creation of equipment for his study of the Ocean is the most important task of our time. The article provides information on the work of scientists of the Volga State Technological University on the creation of instruments for the study of the World Ocean. University staff took an active part in the study of wave processes in the Ocean in the scientific centers of Vladivostok, on Sakhalin, the Kuril Islands, and also took part in ten International scientific expeditions to the research vessel of the USSR Academy of Sciences. Coastal tide gauges, instruments for measuring internal waves, and an open sea tide gauge were created, with the help of which, for the first time in the world, tidal waves were measured in the open part of the South China Sea and in the open ocean east of Sakhalin Is-land.*

**Keywords:** *World ocean; ocean research equipment; ocean fauna; coastal tide gauge; open sea tide gauge; scientific expeditions.*

УДК 541.183.5:539.143.43

## ИССЛЕДОВАНИЕ АДСОРБЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В УГЛЕРОДНЫХ АДСОРБЕНТАХ МЕТОДАМИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

*Ладычук Дмитрий Владимирович, Гогелашвили Гоча Шотаевич*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола

E-mail: LadychukDV@volgatech.net

*Физико-химические методы анализа использованы для исследования системы «углеродные адсорбенты–вода». Методами адсорбции и ЯМР проанализированы изотермы адсорбции паров воды в углеродных адсорбентах, полученных из отходов целлюлозно-бумажной промышленности, проведена количественная оценка первичных адсорбционных центров для адсорбции молекул воды.*

**Ключевые слова:** адсорбция; вода; активные угли; углеродные адсорбенты; ядерный магнитный резонанс; магнитная релаксация; черный щелок; гидролизный лигнин; щелочная активация.

**Введение.** Адсорбцию паров веществ на поверхности материалов описывают различные теории [1]. В частности, теория Ленгмюра основана на представлениях об образовании одного сплошного адсорбционного слоя на поверхности адсорбента. В теории Брунауэра-Эммета-Теллера (БЭТ) ленгмюровские представления расширены и перенесены на образование нескольких слоев адсорбата (полимолекулярная адсорбция) и дополнены процессом капиллярной конденсации. Также для описания адсорбции газов и паров на твердой поверхности часто используется теория объемного заполнения микропор (ТОЗМ) М. М. Дубинина. В рамках теоретических моделей из линеаризованных форм уравнений, связывающих величины сорбции ( $a$ ) с относительными давлениями паров адсорбтива ( $p/p_s$ ) можно определить сорбционные и структурные параметры адсорбата и адсорбента.

В настоящее время в связи со сложной экологической обстановкой представляет интерес анализ свойств углеродных адсорбентов (УА), полученных из отходов целлюлозно-бумажного производства – черного щелока и гидролизного лигнина. Указанные синтезированные материалы широко используются в различных отраслях промышленности и народного хозяйства.

**Цель работы** – установление взаимосвязи между изменением структуры углеродных адсорбентов (УА), состоянием адсорбированной в них воды и технологическими условиями активации.

### **Решаемые задачи:**

- 1) анализ системы углеродный адсорбент–адсорбированная вода;
- 2) оценка количества первичных адсорбционных центров (ПАЦ) в исследуемых УА различными методами.

**Техника эксперимента и методика обработки результатов.** Исследованы пять образцов УА, полученных из черного щелока и гидролизного лигнина, методом щелочной активации (см. табл. 1).

Технологические и адсорбционные характеристики исследованных УА

Образец УА	Концентрация NaOH, моль/л	Сорбционная активность по I <sub>2</sub> , %	Осветляющая способность по метиленовому голубому, мг/г
ЧЩН-34	1,4	114,7	597,4
ЧЩН-36	1,0	107,9	594,1
ЧЩН-37	0,8	109,7	566,0
ЧЩН-40	0,7	112,3	505,3
ЧЩН-41	0,6	68,6	46,1

Экспериментальные изотермы адсорбции (ИА) паров воды определялись при  $T=293$  К. При сорбционном анализе образцы (объемом около  $0,8$  см<sup>3</sup>) в измерительных ампулах насыщались влагой в течение двух недель изопиестическим методом до достижения равновесия. Заполнение всех пор молекулами воды достигалось при выдерживании образцов в насыщенных парах воды. Для оценки количества ПАЦ методом ЯМР сухие образцы УА дейтерировались тяжелой водой ( $D_2O$ ) с последующим монотонным повышением температуры до  $T=393$  К и далее высушивались до постоянной массы. Измерения параметров ЯМР-релаксации проводились на спектрометре с рабочей частотой 42 МГц по стандартным методикам [2]. Для анализа экспериментальных данных применялась компьютерная математическая программа Origin 6.1.

**Интерпретация результатов.** Адсорбционная способность УА, в частности активных углей (АУ), по отношению к парам воды определяется их микропористой структурой и химическим состоянием поверхности [3]. В изучении механизма адсорбции молекул воды на углеродных адсорбентах наиболее распространенной следует считать концепцию о первичных адсорбционных центрах (ПАЦ). Природа активных центров также влияет на характер сорбционных процессов на разнообразных адсорбентах. Роль ПАЦ в углеродных адсорбентах играют поверхностные кислородсодержащие кислотные группы, а также молекулы хемосорбированной воды, для которых характерна специфическая адсорбция, связанная с образованием водородных связей. Молекулы воды, адсорбируясь на этих центрах, становятся, в свою очередь, вторичными адсорбционными центрами, удерживающими другие молекулы воды за счет водородных связей. С повышением равновесного давления адсорбтива вероятность адсорбции, таким образом, увеличивается, поскольку увеличивается число вторичных адсорбционных центров. Этим объясняется «лавинообразный» характер адсорбции паров воды.

Полученные изотермы адсорбции (ИА) паров воды на изученных УА (рис. 1) имеют форму, характерную для I типа по классификации Брунауэра [1]. Каждая из представленных ИА имеет три характерных участка. На первом из них ( $p/p_s < 0,15-0,20$ ) молекулы воды сорбируются непосредственно на ПАЦ на поверхности адсорбента в соответствии с ленгмюровским механизмом адсорбции. Второй участок соответствует резкому росту величины адсорбции ( $p/p_s = 0,20-0,40$ ) с дальнейшим выходом на плато (до  $p/p_s = 0,90$ ). В этом диапазоне происходит объемное заполнение микропористого пространства адсорбента с формированием системы мостиковых связей между молекулами воды, находящихся на ПАЦ, и образованием вторичных центров сорбции.

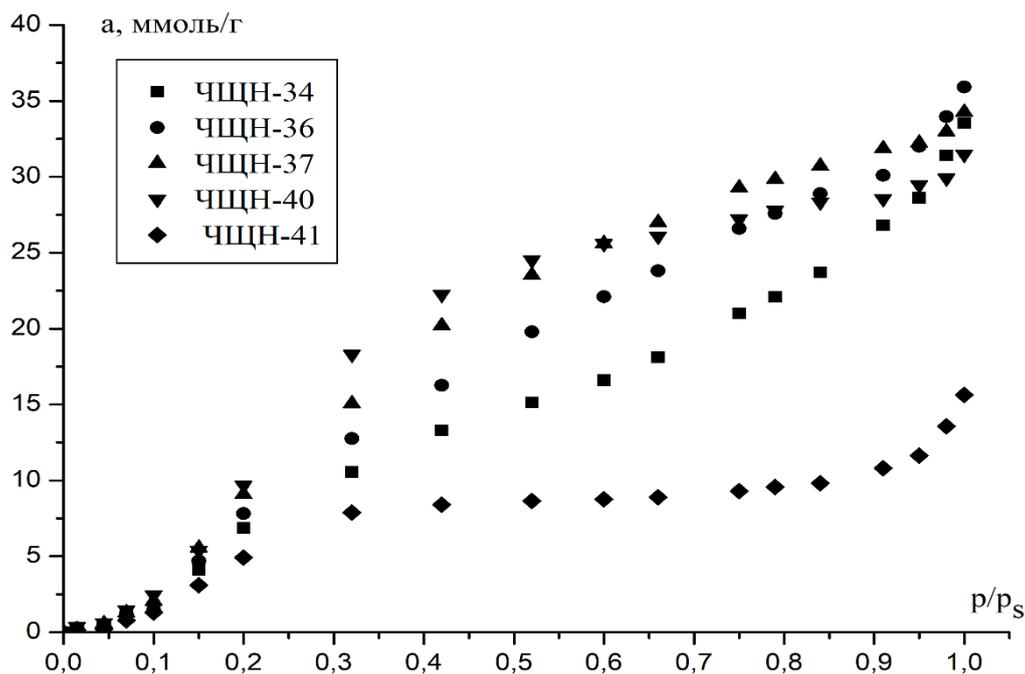


Рис. 1. Изотермы адсорбции паров воды для исследованных УА при 293 К

Следует отметить, что с ростом концентрации активатора ( $C_{\text{NaOH}}=0,7-1,4$  М) на ИА для УА ЧЩН-34-40 наблюдается резкий подъем величины сорбции на среднем участке изотермы, практически отсутствующей у образца ЧЩН-41 ( $C_{\text{NaOH}}=0,6$  М). Данный факт, вероятно, связан с развитием супермикропористости в структуре адсорбентов и различным распределением микропор по размерам. Небольшое увеличение адсорбции на третьем участке ( $p/p_s > 0,90$ ) свидетельствует о капиллярной конденсации в мезопорах УА и заполнении внешней поверхности адсорбента. Таким образом, в результате щелочной активации происходит физико-химическое преобразование внутренней структуры УА, а также качественное и количественное изменение в них состава функциональных групп, специфичных к адсорбции молекул воды. Очевидно, что вода, являясь полярным веществом, характеризуется особыми сорбционными свойствами и механизмом взаимодействия с поверхностью адсорбента, отличающимися от других неполярных и малополярных адсорбтивов (бензол, азот, инертные газы, алканы).

Как правило, количество ПАЦ ( $a_m$ ) в УА определяется по экспериментальной изотерме адсорбции паров воды с применением уравнений Дубинина-Серпинского (ДС-1 и ДС-2) [4, 5], а также при помощи сравнительного метода анализа, основанного на использовании уравнения Ленгмюра, описывающего изотерму адсорбции в начальной области давлений паров воды [3]. В работе проводилось сравнение изотерм УА с изотермой паров воды на непористой графитированной саже Vulcan-7H ( $a_m=0,004$  ммоль/г), используемой в качестве опорного образца. На непористых образцах в области низких  $p/p_s$  адсорбция происходит непосредственно на ПАЦ, и по наклону сравнительных графиков ( $a_{УА}=f((a/a_m)_{\text{сажа}})$ ) можно определить величину ПАЦ для исследуемого адсорбента.

Дополнительную важную информацию о количестве ПАЦ может дать импульсный метод ЯМР. Принцип определения количества ПАЦ методом ЯМР заключается в следующем. Известно [2], что макроскопическая намагниченность  $M$  образца равняется

$$M = \frac{\gamma * N * \hbar^2 * (I + 1) * I * H_0}{3 * \kappa * T}, \quad (1)$$

где  $\gamma$  – гиромагнитное отношение протона;  $N$  – количество протонов, ммоль;  $\hbar = h/2\pi$ , где  $h$  – постоянная Планка;  $I$  – спин ядра;  $H_0$  – напряженность внешнего постоянного магнитного поля, А/м;  $\kappa$  – постоянная Больцмана;  $T$  – абсолютная температура вещества, К.

В данном соотношении все величины являются постоянными, за исключением количества протонов  $N$ . Поэтому намагниченность  $M$  пропорциональна величине  $N$ , следовательно, и амплитуда сигнала свободной индукции (ССИ)  $A$  пропорциональна  $N$ .

Предлагаемый метод заключается в том, что измеряются амплитуды ССИ до и после дейтерирования высушенных образцов УА. При этом необходимо исходить из условия нижеследующих пропорциональностей:

$$A \sim N, \quad A_\delta \sim N_\delta, \quad A_\delta \sim N_\delta, \quad (2)$$

где  $A$  – амплитуда ССИ образца углеродного адсорбента до дейтерирования, отн. ед.;  $A_\delta$  – амплитуда ССИ образца углеродного адсорбента после дейтерирования, отн. ед.;  $A_\delta$  – амплитуда ССИ эталонного образца, отн. ед.;  $N_\delta$  – количество протонов в эталонном образце, ммоль.

Тогда количество ПАЦ (ммоль) определяется количеством протонов, подвергшихся дейтерированию,

$$a_m = \Delta N = (N - N_\delta) \sim (A - A_\delta). \quad (3)$$

При известном количестве протонов в эталонном образце ( $N_\delta \sim A_\delta$ ) через амплитуды ССИ  $A$  и  $A_\delta$  можно пересчитать количество активных центров, подвергшихся дейтерированию. Из (2) и (3) получаем количество ПАЦ (ммоль):

$$N_m = \frac{(A - A_\delta) * N_\delta}{A_\delta}, \quad (4)$$

$$\text{или (ммоль/г)} \quad a_m = \frac{N_m}{m} = \frac{(A - A_\delta) * N_\delta}{A_\delta * m}, \quad (5)$$

где  $m$  – масса образца УА.

Результаты измерений приведены в таблице 2.

Таблица 2

**Количество первичных адсорбционных центров (ПАЦ) в активных углях, подвергнутых щелочной активации**

Образец УА	Концентрация NaOH, моль/л	$a_m$ , ммоль/г (метод ЯМР)	$a_m$ ср, ммоль/г (сравнительный адсорбционный метод)
ЧЩН-34	1,4	0,75	0,70
ЧЩН-36	1,0	0,64	0,62
ЧЩН-37	0,8	0,57	0,53
ЧЩН-40	0,7	0,52	0,48
ЧЩН-41	0,6	0,32	0,28

Из таблицы 2 видно, что данные, полученные импульсным методом ЯМР, в целом не противоречат результатам, полученным с применением сравнительного метода анализа из ИА паров воды, в частности, наблюдается симбатный характер изменения количества ПАЦ, определенных различными методами.

Некоторые различия в величинах  $a_m$  и  $a_{m\text{ ср}}$  объясняются следующими причинами. Метод ЯМР позволяет определять количество активных центров, находящихся в ультрамикropорах с размерами менее чем диаметр молекулы воды. Это обусловлено тем, что дейтерирование гидроксильных групп в ультрамикropорах происходит не вследствие проникновения молекулы  $D_2O$ , а вследствие проникновения только ионов дейтерия под действием флуктуирующих электростатических полей. По-видимому, мелкие ультрамикropоры размерами меньше молекулы воды есть в исследованных УА, для которых величина  $a_m$  больше, чем  $a_{m\text{ ср}}$ . Вторая возможность различия величин  $a_m$  и  $a_{m\text{ ср}}$  заключается в том, что в АУ может происходить дейтерирование протонов, не входящих в состав ПАЦ. В частности, АУ содержат «структурные» протоны (водород, химически связанный с углеродным скелетом АУ), которые вряд ли могут играть роль ПАЦ. Это связано с тем, что только часть хемосорбированного кислорода, входящего, как правило, в состав гидроксильных групп АУ, находится в составе ПАЦ. По всей видимости, в проведенных опытах имеет место дейтерирование части этих «структурных» протонов, что приводит к более высоким значениям величины  $a_m$  по сравнению с  $a_{m\text{ ср}}$ .

На рисунке 2 представлен график зависимости количества ПАЦ, определенного методом ЯМР, от условий щелочной обработки УА.

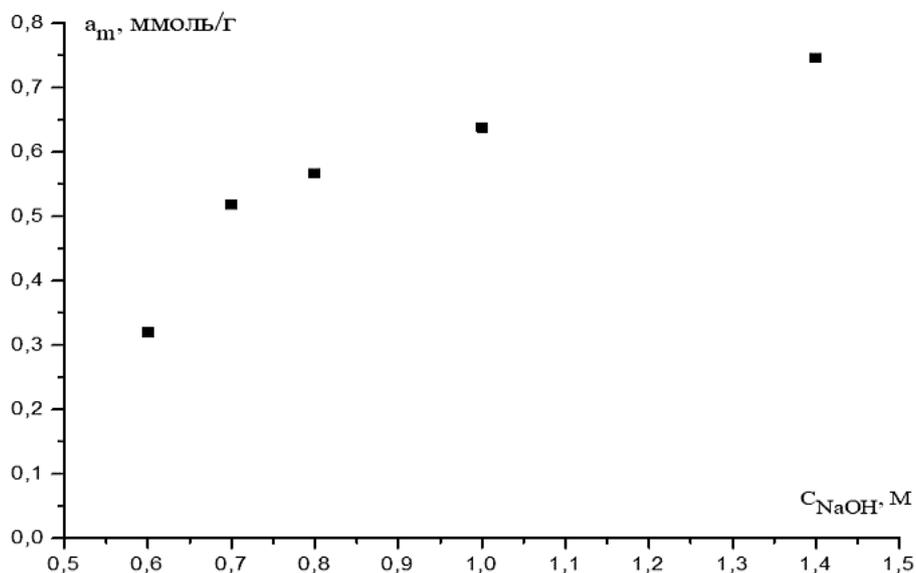


Рис. 2. Зависимость количества ПАЦ ( $a_m$ ) в УА, определенного методом ЯМР, от условий щелочной активации ( $C_{NaOH}$ )

Как видно на рисунке 2, количество ПАЦ в УА растет с увеличением концентрации раствора NaOH. Вероятно, это может объясняться тем, что уже при непродолжительной обработке растительного сырья горячими растворами щелочей, используемых при щелочной варке древесины с целью получения целлюлозы, происходит частичное растворение лигнина и других компонентов древесины; щелок после такой обработки приобретает желто-бурый

цвет, постепенно усиливая окраску. Переход в раствор происходит путем разрыва части кислородных мостиков с сохранением основного углеродного скелета лигнина и образованием повышающих растворимость солеобразных групп фенолятного типа [6].

Расщепление фурановых гетероциклов, вероятно, происходит постепенно, не сразу во всех звеньях сложного комплекса лигнина, по мере углубления степени провара древесных волокон. На этой стадии реакции скорость процесса определяется при прочих равных условиях концентрацией реагирующей щелочи. Фенолятные группы появляются сначала на поверхности ультрамикроскопических частиц, пептизируют и постепенно переводят лигнин в раствор. Образование фенольных гидроксиллов в лигнине возможно также путем частичного отщепления метоксильных групп за счет щелочного гидролиза с одновременным образованием метилового спирта. После процессов углефикации черного щелока образовавшиеся поверхностные функциональные группы могут играть роль ПАЦ при адсорбции молекул воды.

### Выводы

1. Анализ изотерм адсорбции показал, что щелочная активация приводит к изменению структуры и сорбционной способности исследованных УА по отношению к адсорбции молекул воды.
2. Методом импульсного ЯМР осуществлена количественная оценка содержания первичных адсорбционных центров для адсорбции молекул воды в УА, найдено, что увеличение концентрации активатора (NaOH) способствует росту количества ПАЦ.

### Список литературы

1. Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость. М.: Мир, 1984.
2. Вашман А. А., Пронин И. С. Ядерная магнитная релаксационная спектроскопия. М.: Энергоатомиздат, 1986. 232 с.
3. Вартапетян Р. Ш., Волощук А. М. Успехи химии. 1995. Т. 64, вып. 11. С. 1055–1072.
4. Адсорбция паров воды и микропористые структуры углеродных адсорбентов. Сообщение 4. Изотермы адсорбции паров воды в области малых относительных давлений / Р. Ш. Вартапетян, А. М. Волощук, М. М. Дубинин, Н. С. Поляков, В. В. Серпинский // Известия АН СССР. Серия Химическая. 1982. С. 1215–1217.
5. Адсорбция паров воды и микропористые структуры углеродных адсорбентов. Сообщение 7 / Г. А. Андреева, Р. Ш. Вартапетян, А. М. Волощук, М. М. Дубинин, Н. С. Поляков, В. В. Серпинский // Известия АН СССР. Серия Химическая. 1983. № 7. С. 1474–1478.
6. Никитин Н. И. Химия древесины и целлюлозы. М.-Л.: Лесная промышленность, 1978. 367 с.

### INVESTIGATION OF ADSORPTION PROCESSES IN CARBON ADSORBENTS BY THE METHODS OF PHYSICO-CHEMICAL ANALYSIS

*Dmitry V. Ladychuk, Gocha Sh. Gogelashvili*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*Physic-chemical methods of analysis were used to study systems carbon adsorbents – water. Adsorption and NMR methods were used to analyze the adsorption isotherms of water vapor in carbon adsorbents obtained from pulp and paper industry waste, and to quantify the primary adsorption sites for the adsorption of water molecules.*

**Keywords:** *adsorption; water; activated carbons; carbon adsorbents; nuclear magnetic resonance; magnetic relaxation; black liquor; hydrolytic lignin; alkaline activation.*

УДК 628.356

## АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТОВ УСТРОЙСТВА ДЛЯ АЭРАЦИИ ВОДОХРАНИЛИЩ

*Поздеев Анатолий Геннадиевич, Кузнецова Юлия Анатольевна*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола  
E-mail: PozdeevAG@volgatech.net

*Рассмотрен процесс аэрации водоемов, приводящий к росту концентрации кислорода в воде, расходуемого на природно-техногенные процессы. Определено конструктивное оформление аэратора на основе виброструйного эффекта с использованием энергии волн для приведения устройства в рабочее состояние. Дана схема устройства с конусным рабочим органом, помещенным в корпус, снабженный впускным и выпускным клапанами. При расчете основных параметров устройства рассматриваются гидравлические задачи вычисления в автоматизированной среде разряжения под конусом в камере при движении рабочего элемента в верхнее положение. При этом происходит всасывание воздуха с поверхности. Во второй фазе при противоположном движении конуса происходит выталкивание воздуха в водную среду. Приведена эквивалентная гидравлическая схема волнового аэратора. На этой основе рассчитаны потери в системе. В символьном режиме найдены уравнения давления под поршнем при всасывании и выпуске воздуха. Оценена глубина, на которой реализуется работоспособность аэратора.*

**Ключевые слова:** аэрация водоемов; аэратор; виброструйный эффект; гидравлическая схема; Mathcad.

**Введение.** Под аэрацией водоемов понимается процесс насыщения водных объемов воздухом, содержащим кислород, обеспечивающий жизнедеятельность водных организмов и протекание химических реакций, приводящих за счет окисления к разрушению вредных веществ. Увеличение концентрации кислорода в водоеме обеспечивает снижение концентраций растворенных в воде гидроокиси железа, сероводорода и прочих вредных химических и органических веществ.

Процесс аэрации в зимний период способствует улучшению кислородного баланса и развитию флоры и фауны водоемов. В летний период при росте циркуляционных процессов аэрация приводит к усилению тепло-массообменных процессов и снижает тепловую и кислородную стратификацию, что ведет к понижению концентрации сине-зеленых водорослей в составе фитопланктона и замедляет ход цветения воды.

Высокая значимость процесса искусственной аэрации водоемов не привела к ее широкому распространению, оставаясь основой совершенствования качества вод только для систем водоснабжения, биологической очистки сточных вод. В этой связи разработка устройств для аэрации водоемов является актуальной.

**Цель работы** состоит в составлении автоматизированных методик расчета и программ вычисления параметров виброструйного аэратора на основе рабочей камеры с конусным колеблющимся элементом [4, 8], приводимым в движение энергией волн, для насыщения кислородом водоемов и водотоков.

Научной новизной отличаются алгоритмы и автоматизированные расчеты виброструйного аэратора, энергии колебаний конуса и гидравлических потерь при работе аэратора в фазах всасывания и нагнетания.

Объектом исследования являются системы аэрации водных объектов.

Предмет исследования состоит в автоматизации расчетов и составлении алгоритмов для обоснования принципа действия, параметров конструкции и составных частей аэраторов с использованием ветровых волн.

**Техническое моделирование.** Для привода аэратора на основе виброструйного эффекта [1, 5] используется энергия волн (см. рис. 1). При возвратно-поступательных движениях штока 7, приводимого в действие от плавучей емкости, совершающей вертикальные колебания на свободной поверхности 10 под действием волн, конический рабочий элемент 1 совершает вертикальные колебания. При колебаниях конуса внутри корпуса 2 давление периодически изменяется [2]. При движении корпуса вверх происходит увеличение объема в рабочей камере и через обратный клапан 4, соединенный воздухозаборной трубкой 5 с поплавком воздухозаборника 6, воздух со свободной поверхности воды 10 поступает в камеру устройства. Воздух на заданной глубине выпускается в воду посредством трубки 11 аналогичной воздухозаборной трубке 5. При движении конуса вниз происходит сжатие воздуха в камере, и он выталкивается через насадок выпуска воздушной струи с клапаном 3. Мембрана 8 и крышка сальника 9 служат для герметизации рабочего объема устройства.

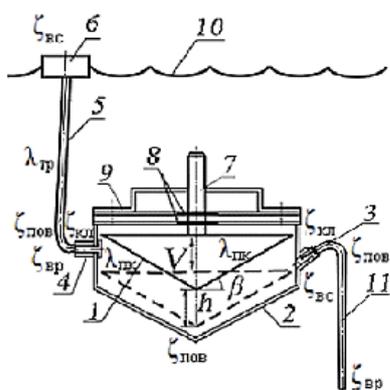


Рис. 1. Схема устройства волнового аэратора с конусным рабочим органом и рабочей камерой

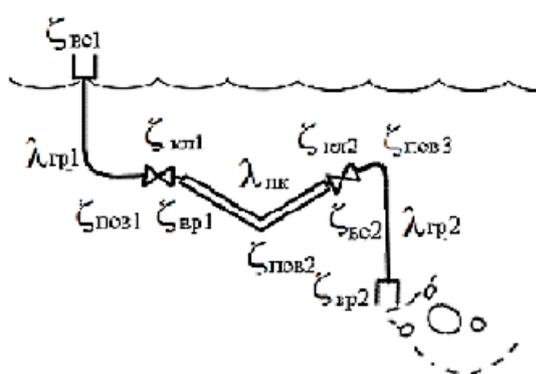


Рис. 2. Эквивалентная гидравлическая схема волнового аэратора с конусным рабочим органом и рабочей камерой

Для обеспечения работы камеры аэратора водоемов она устанавливается под свободной поверхностью и присоединяется верхней частью корпуса к плавучему основанию, на котором закреплена воздухозаборная трубка. Нагнетательная трубка погружена в глубину водоема для создания воздушного потока. Камера аэратора с помощью удерживающего каната нижней частью связана со сферическим подплавом, пропущенным через верхнее кольцо якоря-присоса. При волновых колебаниях свободной поверхности подплав, связанный с конусом в камере аэратора, колеблется внутри камеры, корпус которой удерживается канатом [9]. Сферический подплав позволяет обеспечивать работу системы при подъемах и опусканиях невозмущенного уровня поверхности воды [3].

Потери в системе рассчитаны на основе эквивалентной гидравлической схемы волнового аэратора (рис. 2) [7].

На рисунке указаны:

- местные сопротивления при внезапных сужениях трубопровода ( $\zeta_{вс1}$ ,  $\zeta_{вс2}$ );
- коэффициент гидравлического трения потока в камере ( $\lambda_{нк}$ );
- коэффициенты гидравлического трения заборной и выпускной трубок ( $\lambda_{мп1}$ ,  $\lambda_{мп2}$ );
- местные сопротивления поворотов ( $\zeta_{пов1}$ ,  $\zeta_{пов2}$ ,  $\zeta_{пов3}$ );
- местные сопротивления клапанов ( $\zeta_{кл1}$ ,  $\zeta_{кл2}$ );
- местные сопротивления на внезапных расширениях ( $\zeta_{рп1}$ ,  $\zeta_{рп2}$ ) [7].

**Математическое моделирование.** В первой части гидравлического расчета аэратора определяется вакуум, возникающий при движении конуса вверх (фаза всасывания воздуха). Для расчета вводятся давление на свободной поверхности, глубина погружения всасывающей и выпускной трубок, длина и диаметр условного прохода всасывающей трубы, скорость жидкости в произвольном сечении трубопровода.

Для вывода выражения, определяющего давление под рабочим органом, используется уравнение движения реальной жидкости.

Первый член уравнения представляет собой изменение полной удельной энергии жидкости на единицу длины пути, которое затрачивается на преодоление силы инерции и сопротивлений. В данном уравнении Бернулли для неустановившегося потока глубина погружения нижней точки объема камеры принимается отрицательной. Погружение конуса в жидкость не зависит от длины трубопровода, что позволяет определить интегралы удельных энергий силы тяжести, давления и кинетической энергии, а также интеграл, определяемый глубиной погружения нижней точки объема камеры.

Для вычисления второго интеграла используется уравнение неразрывности потока при условии, что площади поперечного сечения всех участков всасывающего трубопровода, кроме участка движения через камеру, равны между собой, это позволяет определить скорости жидкости на данных участках на основе уравнения неразрывности потока.

В результате дифференцирования уравнения неразрывности и преобразований и интегрирования определяется интеграл, равный удельной энергии инерции потока. Последний член исходного уравнения есть сумма потерь энергии на преодоление сопротивлений трения и местных сопротивлений по длине всасывающего трубопровода.

В результате суммирования результатов вычислений выводится выражение для давления под поршнем.

Во второй части расчета производится определение избыточного давления при движении конуса вниз (фаза выпуска воздуха).

Аналогично предыдущему, используется уравнение неустановившегося движения к потоку жидкости в напорном трубопроводе [8].

**Результаты расчета.** Далее приводятся элементы листинга программы расчета вибро-струйного аэратора в прикладной среде Mathcad [6].

Определим изменение давления  $p_в$  под рабочим органом устройства в период всасывания. Примем следующие обозначения:

$p_0$  – давление на свободной поверхности жидкости;

$z_0$  – глубина погружения всасывающей трубы;

$z_1$  – глубина погружения выпускной трубы;

$l_{мп}$  – длина всасывающей трубы;

$d_{мп}$  – диаметр условного прохода всасывающей трубы;

$v_{мп}$  – скорость жидкости в произвольном сечении трубопровода.

Суммируя результаты вычислений, получим

$$h_T(t) - z_1 + \frac{p_K(t)}{g \cdot \rho_{возд.}} + \frac{-p_0}{g \cdot \rho_{возд.}} + \frac{v_{тр.}(t)^2}{2 \cdot g} + \frac{F_K \cdot l_{вс.}}{F_{тр.}} \cdot \frac{d}{dt} v_K(t) + \sum h_{i1} = 0.$$

Из этого уравнения найдем давление под поршнем, Па

$$p_K(t) = p_0 - g \cdot \rho_{возд.} \cdot \left( h_T(t) - z_1 + \frac{v_{тр.}(t)^2}{2 \cdot g} + \frac{F_K \cdot l_{вс.}}{F_{тр.}} \cdot \frac{d}{dt} v_T(t) + \sum h_{i1} \right).$$

Из этого выражения видно, что давление под поршнем будет тем больше, чем больше давление  $p_0$  и чем меньше сумма членов, стоящих в скобках.

Динамика давления в камере (рис. 3) определяется отношением вертикальной силы ударной присоединенной массы конуса [10] к площади сечения камеры  $p_1(t) = \frac{P_1(t)}{F_K}$ .

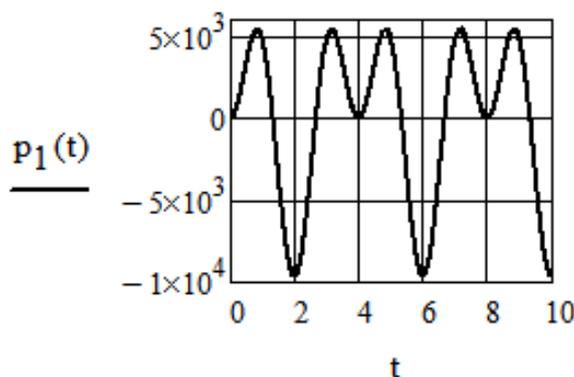


Рис. 3. Динамика давления в камере при колебаниях конуса (полезное рабочее давление)

Для определения избыточного давления при движении конуса вниз (фаза выпуска воздуха), аналогично предыдущему, применим уравнение неустановившегося движения к потоку жидкости в напорном трубопроводе.

Суммируя результаты вычислений, получим

$$h_T(t) + z_2 + \frac{p_K(t)}{g \cdot \rho_{возд.}} + \frac{-p_0}{g \cdot \rho_{возд.}} + \frac{v_{тр.}(t)^2}{2 \cdot g} + \frac{F_K \cdot l_{н.}}{F_{тр.}} \cdot \frac{d}{dt} v_K(t) + \sum h_{i2} = 0.$$

Из этого уравнения найдем давление под поршнем, Па

$$p_K(t) = p_0 - g \cdot \rho_{\text{возд.}} \cdot \left( h_T(t) + z_{1.} + \frac{v_{\text{тр.}}(t)^2}{2 \cdot g} + \frac{F_K \cdot l_{H.}}{F_{\text{тр.}}} + \frac{d}{dt} v_K(t) + \sum h_{12} \right).$$

Из этого выражения видно, что давление под поршнем будет тем больше, чем больше давление  $p_0$  и чем меньше сумма членов, стоящих в скобках.

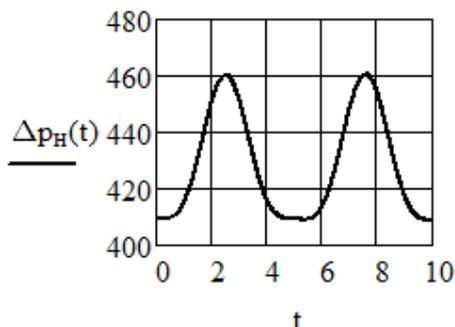


Рис. 4. Динамика потерь давления в рабочей камере при фазе нагнетания

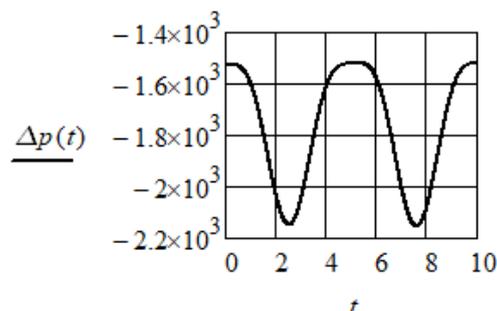


Рис. 5. Динамика потерь давления в рабочей камере при фазе всасывания

**Интерпретация результатов.** В первой части гидравлического расчета аэратора определены параметры работы конуса в рабочей камере, которые показывают, что при заданных параметрах волнения и геометрических характеристиках устройства аэрация водоемов может быть достигнута до глубин более 3,5 м.

Динамика давления в камере определяется отношением вертикальной силы ударной присоединенной массы конуса к площади сечения камеры.

График динамики давления в камере при колебаниях конуса (см. рис. 3) показывает, что пиковое значение разрежения составляет 10 кПа.

Амплитуда пикового значения избыточного давления в рабочей камере составляет 5 кПа (рис. 3).

Установлено, что пиковое избыточное давление в камере в фазе нагнетания (5 кПа) превышает сумму потерь давления на преодоление сопротивлений по длине нагнетательного трубопровода, местных сопротивлений и затрат на работу конуса в рабочей камере, которая, как следует из графика динамики потерь давления, не превышает 0,46 кПа (см. рис. 4).

Из результатов расчетов следует, что пиковое давление в камере в фазе всасывания (10 кПа) превышает сумму потерь давления на преодоление сопротивлений по длине всасывающего трубопровода, местных сопротивлений и затрат на работу конуса, которая, как следует и графика динамики потерь давления (см. рис. 5), составляет 2,2 кПа.

### Выводы

1. Установлена необходимость проведения аэрации водоемов, используемых для обеспечения технологических процессов водопользования с целью повышения концентрации кислорода до значений, достаточных для сохранения экологического равновесия.

2. Предложена схема аэратора на основе виброструйного эффекта с использованием энергии волн для приведения устройства в рабочее состояние и произведен расчет устройства с конусным рабочим органом, помещенным в корпус, снабженный впускным и выпускным клапанами.

3. Приведена эквивалентная гидравлическая схема волнового аэратора. На этой основе рассчитаны гидравлические потери в системе.

4. В режиме символьных вычислений среды Mathcad составлены уравнения для вычисления давления под поршнем рабочей камеры, содержащей колеблющийся конический элемент, в режимах всасывания и выпуска воздуха.

5. В результате расчета установлены параметры виброструйного эффекта и определена предельная глубина погружения аэратора, обеспечивающая сохранение его работоспособности.

#### Список литературы

1. Габтрахманов И. Н. Разработка устройства для аэрации природных вод на основе виброструйного эффекта: сборник статей студентов, аспирантов и докторантов по итогам научно-технических конференций МарГТУ в 2010 г. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2011. С. 119–121.

2. Патент 2193534 РФ, МПК 7 С 02 F 7/00 Вибрационный аэратор для объемов жидкости со свободной поверхностью / В. В. Багнюк, А. Г. Поздеев. № 2001100976/12; заявл. 09.01.2001; опубл. 27.11.2002. Бюл. № 33. 1 с.

3. Бреббиа К., Уокер С. Динамика морских сооружений. Л.: Судостроение, 1983. 232 с.

4. Быховский И. И. Основы теории вибрационной техники. М.: Машиностроение, 1969. 162 с.

5. Вибрации в технике: справочник: в 6 т. Вибрационные процессы и машины / под ред. Э. Э. Лавендела. М.: Машиностроение, 1981. Т. 4, 508 с.

6. Гурский Д. А. Вычисления в Mathcad. М.: Новое знание, 2003. 814 с.

7. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям: 3-е изд. перераб. и доп. / под ред. М. О. Штейнберга. М.: Машиностроение, 1992. 672 с.

8. Кузнецова Ю. А., Трухан А. Е., Габтрахманов И. Н. Основы теории гидромониторов на основе виброструйного эффекта // Народное хозяйство. М.: МИИ Наука, 2011. № 2. С. 264–273.

9. Логвинович Г. В. Гидродинамика течений со свободными границами. Киев: Наукова думка, 1969. 209 с.

10. Риман И. С., Крепс Р. Л. Присоединение массы тел различной формы. М.: Бюро новой техники, 1947. 47 с.: ил.; 29 см. (Труды ЦАГИ / М-во авиац. пром-сти СССР. Центр аэрогидродинам. ин-т им. проф. Н. Е. Жуковского; № 635).

## AUTOMATION OF DEVICE CALCULATIONS FOR RESERVOIR AERATION

*Anatoly G. Pozdeev, Yulia A. Kuznetsova*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

*The process of aeration of water bodies leading to an increase in the concentration of oxygen in water consumed by natural-technogenic processes is considered. The design of an aerator based on vibro-jet effect using wave energy to bring the device into operation is defined. The scheme of the device with the cone-shaped working body placed in the casing equipped with an inlet and outlet valve is given. In calculating the main parameters of the device, we consider the hydraulic problems of calculating the rarefaction under the cone in the chamber when the working element moves to the upper position in an automated environment. In this case there is suction of air from the surface. In the second phase, when the cone moves in the opposite direction, air is pushed into the aqueous medium. An equivalent hydraulic scheme of the wave aerator is given. Losses in the system are calculated on this basis. Pressure equations under the piston at air inlet and outlet are found in the symbol mode. The depth at which the aerator's operability is realized is estimated.*

**Keywords:** reservoir aeration; aerator; vibrojet effect; hydraulic scheme; Mathcad.

## Сведения об авторах

*АКТУГАНОВ Анатолий Николаевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций и водоснабжения

*АКТУГАНОВ Олег Анатольевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций и водоснабжения

*АЛИБЕКОВА Елена Владимировна* – кандидат технических наук, доцент кафедры машиностроения и материаловедения

*БУСЫГИН Георгий Валентинович* – старший преподаватель кафедры проектирования и производства электронно-вычислительных средств

*ВАФИН Тимур Динарович* – студент ПГТУ

*ГОГЕЛАШВИЛИ Гоча Шотаевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры физики

*ЕГОШИНА Наталья Николаевна* – студент ПГТУ, преподаватель ГБПОУ РМЭ «Марийский радиомеханический техникум»

*ЕФРЕМОВ Дмитрий Александрович* – аспирант ПГТУ

*КОРНИЛОВ Артём Сергеевич* – студент ПГТУ

*КУДРЯВЦЕВ Игорь Аркадьевич* – главный конструктор ООО «Мехатронные системы»

*КУЗНЕЦОВА Юлия Анатольевна* – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций и водоснабжения

*КУРАСОВ Павел Александрович* – кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования и производства электронно-вычислительных средств

*ЛАВРЕНТЬЕВ Борис Федорович* – кандидат технических наук, профессор-консультант кафедры проектирования и производства ЭВС

*ЛАДЫЧУК Дмитрий Владимирович* – кандидат технических наук, доцент кафедры физики

*ЛОКШИН Вадим Владимирович* – аспирант ПГТУ

*МОРОХИН Дмитрий Витальевич* – кандидат технических наук, заведующий кафедрой информационно-вычислительных систем

*МУХАМАДШИНА Ирина Васильевна* – студент ПГТУ

*НИКОНОРОВ Константин Николаевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических машин

*ОСИПОВ Владимир Игоревич* – кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических машин

*ОХОТИН Юрий Вениаминович* – заведующий лабораторией кафедры транспортно-технологических машин

*ПЕНКИН Юрий Афанасьевич* – доцент кафедры проектирования зданий

*ПОЗДЕЕВ Анатолий Геннадиевич* – доктор технических наук, профессор кафедры строительных конструкций и водоснабжения

*САБАНЦЕВ Игорь Леонидович* – заведующий лабораторией кафедры проектирования и производства электронно-вычислительных средств

*САВИНОВ Александр Николаевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры информационно-вычислительных систем

*СТАРОДУБЦЕВА Ольга Николаевна* – аспирант ПГТУ

*ЧЕШОКОВ Сергей Евгеньевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры информатики

*ФЛЕГЕНТОВА Елена Игоревна* – студент ПГТУ

*ШУМИЛИНА Вера Александровна* – студент ПГТУ

# СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие .....	3
-------------------	---

## РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ, ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ И МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

<i>Лаврентьев Б. Ф., Кудрявцев И. А., Курасов П. А., Бусыгин Г. В., Сабанцев И. Л., Вафин Т. Д.</i> Робототехническая конструкция «Попугай» .....	5
--	---

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ

<i>Егошина Н. Н.</i> Анализ и сравнение библиотек для лемматизации слов русского языка .....	9
<i>Корнилов А. С., Морохин Д. В.</i> Система аренды специализированной техники .....	14
<i>Чесноков С. Е., Флегентова Е. И.</i> Сравнительный анализ классификаторов намерений в диалогах и их влияние на эффективность работы цифровых ассистентов .....	20
<i>Чесноков С. Е.</i> Формирование критериев оценки качества работы моделей глубокого обучения цифровых ассистентов .....	26

## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

<i>Актуганов А. Н., Актуганов О. А., Ефремов Д. А.</i> Прогнозирование долговечности строительных металлических конструкций и цинкового покрытия .....	33
<i>Пенкин Ю. А., Мухамадишина И. В., Шумилина В. А.</i> Аналитический обзор стоимости жизненного цикла монопроекта «Многоэтажный жилой дом в городе Йошкар-Оле» .....	38

## ТРАНСПОРТ. ЭНЕРГЕТИКА. МАШИНОСТРОЕНИЕ

<i>Алибекова Е. В., Стародубцева О. Н., Локшин В. В.</i> Коррозионно-усталостное поражение металла теплотехнического назначения .....	45
<i>Осипов В. И., Охотин Ю. В., Никоноров К. Н.</i> Устройство для исследования взаимодействия деталей с наклонными поверхностями трения .....	51

**БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ.  
ИНЖЕНЕРИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

*Лаврентьев Б. Ф.*

Мировой океан – будущее человечества ..... 56

*Ладычук Д. В., Гогелашвили Г. Ш.*

Исследование адсорбционных процессов в углеродных адсорбентах методами физико-химического анализа ..... 61

*Поздеев А. Г., Кузнецова Ю. А.*

Автоматизация расчетов устройства для аэрации водохранилищ ..... 67

Сведения об авторах ..... 73

*Научное издание*

# ТРУДЫ Поволжского государственного технологического университета



ВЫПУСК 11

Серия Технологическая

Ответственный за выпуск

*Д. В. Иванов*

Редактор

*Н. М. Москвичева*

Компьютерная верстка

*Т. В. Отмахова, Е. В. Смирнова*

Переводы на английский язык предоставлены  
авторами статей

Поволжский государственный технологический университет  
424000, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

## ПРИГЛАШАЕМ К СОТРУДНИЧЕСТВУ

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет» приглашает Вас опубликовать свои статьи в сборнике «Труды ПГТУ». Сборнику присвоен Международный стандартный номер сериального издания (ISSN). Материалы сборника постатейно отражаются в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ).

В сборнике публикуются результаты оригинальных авторских исследований (ранее нигде не печатавшихся и не переданных в другие редакции) по следующим направлениям:

- серия Технологическая (физико-математические науки; радиотехнические инфокоммуникационные и медико-биологические системы; лес, экология, природопользование; транспорт, энергетика, машиностроение; технологии и оборудование лесопромышленных и деревообрабатывающих производств; строительство и архитектура; биологические и естественные науки, инженерия окружающей среды);
- серия Социально-экономическая (экономика, управление и право, философия, культурология, педагогика, психология, история, социология, политология и др.).

### Требования к оригиналам предоставляемых работ

**Основные требования к содержанию статей:** актуальность, научная новизна, практическая значимость.

**Структура научной статьи:**

- Заголовок (наименование публикации).
- Ф.И.О. авторов (с указанием места работы, должности, ученой степени, звания).
- Аннотация (3-4 предложения, 50-100 слов).
- Ключевые слова или словосочетания (5-10 слов).

Желательно наличие в статье следующих **рубрик:**

• Введение (оценка состояния вопроса, основанная на обзоре литературы с мотивацией актуальности; выявленное противоречие, позволяющее сформулировать проблемную ситуацию).

- Цель работы, направленная на преодоление проблемной ситуации.
- Решаемые задачи, способствующие достижению цели.
- Математическое, аналитическое или иное моделирование.
- Техника эксперимента и методика обработки или изложение иных полученных результатов.
- Интерпретация результатов или их анализ.
- Выводы, отражающие новизну полученных результатов, показывающие, что цель, поставленная в работе, достигнута.
- Список используемой литературы.

• Сведения об авторах, название статьи, аннотация и ключевые слова на английском языке (авторы должны обеспечить аутентичный перевод).

**Требования к оформлению статьи:**

Статья должна быть представлена в электронном варианте и распечатанном виде.

- ✓ Объем статьи – 5 страниц формата А4 (до конца заполненных);
- ✓ основной шрифт – 12 пт Times New Roman; межстрочный интервал – одинарный;
- ✓ поля – 2 см;
- ✓ отступы в начале абзаца – 0,75 см;
- ✓ УДК оформляется в левом углу листа, светлым шрифтом, без отступа;
- ✓ нумерация страниц – внизу по центру, 12 пт;
- ✓ **НАЗВАНИЕ** статьи печатается по центру, прописными буквами, полужирным прямым шрифтом (Times New Roman, 12 пт);
- ✓ **Фамилия, имя и отчество авторов** (полностью) должны быть напечатаны по центру жирным курсивом, 12 пт;
- ✓ место работы, страна, город – шрифт 10 пт светлый прямой;
- ✓ электронный адрес одного из авторов – шрифт 10 пт;
- ✓ аннотация и ключевые слова – шрифт 11 пт, светлый курсив;
- ✓ основной текст статьи – с отступом в один интервал после аннотации. Выравнивание текста – по ширине; переносы ставятся автоматически. Выделения в тексте выполняются светлым курсивом;
- ✓ **заголовки рубрик** выделяются полужирным шрифтом;
- ✓ таблицы, рисунки, графики (печатаются только в черно-белом исполнении, цветные иллюстрации доступны лишь в электронной версии сборника) должны иметь нумерационный и тематический заголовки (размер шрифта 10 пт, заголовки **полужирным**, по центру); таблицы и рисунки следует по возможности вставлять в текст после абзацев, содержащих ссылку на них; размеры иллюстраций не должны превышать размеров текстового поля (не более 15 см);
- ✓ после списка литературы – сведения об авторах, название статьи, аннотация и ключевые слова – на *английском языке*, шрифт 10 пт;
- ✓ *список литературы:* заголовки – строчными курсивом шрифт 11 пт, список – прямым, шрифт 11 пт;
- ✓ ссылки на литературу в тексте даются в квадратных скобках, литература оформляется согласно ГОСТ Р 7.05-2008; количество источников – не более 10; обязательны ссылки на работы, опубликованные в последние 5-10 лет; ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

Статьи проходят редакционно-издательскую обработку. При необходимости принципиальных изменений правка согласовывается с автором.

**Надеемся на взаимноинтересное сотрудничество.**

*Департамент научной и международной деятельности  
Поволжского государственного технологического университета*

424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3, ПГТУ, ауд. 423а (I). Тел. 8 (8362) 68-60-62. E-mail: SmirnovaEV@volgatech.net