

*Журнал «Научное обозрение.
Технические науки»
зарегистрирован Федеральной службой
по надзору в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство ПИ № ФС77-57440
ISSN 2500-0799*

**Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,270
Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,242**

*Учредитель, издательство и редакция:
ООО НИЦ «Академия Естествознания»,
Почтовый адрес: 105037, г. Москва, а/я 47
Адрес редакции и издателя: 410056, Саратовская
область, г. Саратов, ул. им. Чапаева В.И., д. 56*

**Founder, publisher and edition:
LLC SPC Academy of Natural History,
Post address: 105037, Moscow, p.o. box 47
Editorial and publisher address: 410056,
Saratov region, Saratov, V.I. Chapaev Street, 56**

*Подписано в печать 28.02.2022
Дата выхода номера 31.03.2022
Формат 60×90 1/8*

*Типография
ООО НИЦ «Академия Естествознания»,
410035, Саратовская область,
г. Саратов, ул. Мамонтовой, д. 5*

**Signed in print 28.02.2022
Release date 31.03.2022
Format 60×90 8.1**

**Typography
LLC SPC «Academy Of Natural History»
410035, Russia, Saratov region,
Saratov, 5 Mamontovoi str.**

*Технический редактор Доронкина Е.Н.
Корректор Галенкина Е.С., Дудкина Н.А.*

*Тираж 1000 экз.
Распространение по свободной цене
Заказ НО 2022/1
© ООО НИЦ «Академия Естествознания»*

Журнал «НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ» выходил с 1894 по 1903 год в издательстве П.П. Сойкина. Главным редактором журнала был Михаил Михайлович Филиппов. В журнале публиковались работы Ленина, Плеханова, Циолковского, Менделеева, Бехтерева, Лесгафта и др.

Journal «Scientific Review» published from 1894 to 1903. P.P. Soykin was the publisher. Mikhail Filippov was the Editor in Chief. The journal published works of Lenin, Plekhanov, Tsiolkovsky, Mendeleev, Bekhterev, Lesgaft etc.



М.М. Филиппов (M.M. Philippov)

**С 2014 года издание журнала возобновлено
Академией Естествознания
From 2014 edition of the journal resumed
by Academy of Natural History**

**Главный редактор: М.Ю. Ледванов
Editor in Chief: M.Yu. Ledvanov**

**Редакционная коллегия (Editorial Board)
А.Н. Курзанов (A.N. Kurzanov)
Н.Ю. Стукова (N.Yu. Stukova)
М.Н. Бизенкова (M.N. Bizenkova)
Н.Е. Старчикова (N.E. Starchikova)
Т.В. Шнуровозова (T.V. Shnurovozova)**

НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ • ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

SCIENTIFIC REVIEW • TECHNICAL SCIENCES

www.science-education.ru

2022 г.



***В журнале представлены научные обзоры,
статьи проблемного
и научно-практического характера***

***The issue contains scientific reviews,
problem and practical scientific articles***

СОДЕРЖАНИЕ

Технические науки (05.09.00, 05.11.00, 05.12.00, 05.13.00)

СТАТЬИ

МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ЦИФРОВЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ДОКУМЕНТАЦИОННЫХ УСЛУГ ОБУЧАЮЩИМСЯ УНИВЕРСИТЕТА	5
<i>Сысоева Л.А.</i>	
РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ТАЙМ-МЕНЕДЖМЕНТА НА ЯЗЫКЕ KOTLIN	11
<i>Бужинская Н.В., Мащенко С.К.</i>	
РАЗРАБОТКА БЕССЕРВЕРНЫХ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНСТРУМЕНТОВ AMAZON WEB SERVICES	16
<i>Ганьжа А.Ю., Карелова Р.А.</i>	
СОЗДАНИЕ ПОДВОДНОГО БУКСИРУЕМОГО ВИДЕОКОМПЛЕКСА ДЛЯ ПОИСКА И ИССЛЕДОВАНИЙ МОРСКИХ ГАЗОГИДРАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ	24
<i>Лискин В.А., Егоров А.В., Анисимов И.М., Руссак Ю.С.</i>	
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ПАРКОВОЧНАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ	29
<i>Панина В.С., Амеличев Г.А., Белов Ю.С.</i>	
КОНСТРУКЦИИ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ МНОГОФАЗНЫХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ С ФАЗНО-ПОЛЮСНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ	34
<i>Бражников А.В., Савельев С.В., Куприянов Ф.М., Журавская А.В., Кузьмин А.Р.</i>	
АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЕМКОСТИ НЕОДНОРОДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	40
<i>Глуценко А.А., Глуценко А.Г., Глуценко В.А., Глуценко Е.П.</i>	
АВТОМАТИЗАЦИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ, ОПИСЫВАЕМЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМИ УРАВНЕНИЯМИ ВТОРОГО ПОРЯДКА	45
<i>Ильичев В.Ю., Назаров Е.С.</i>	
РАСПОЗНАВАНИЕ ЖЕСТОВ РУК В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕГМЕНТАЦИИ	50
<i>Кучер М.Ю., Белов Ю.С.</i>	

CONTENTS
Technical sciences (05.09.00, 05.11.00, 05.12.00, 05.13.00)
ARTICLES

PROCESS MODELS FOR DIGITAL INFORMATION AND DOCUMENTATION SERVICES FOR UNIVERSITY STUDENTS <i>Sysoeva L.A.</i>	5
DEVELOPMENT OF A MOBILE APPLICATION FOR TIME MANAGEMENT IN THE KOTLIN LANGUAGE <i>Buzhinskaya N.V., Maschenko S.K.</i>	11
DEVELOPMENT OF SERVERLESS WEB-APPLICATIONS USING AMAZON WEB SERVICES TOOLS <i>Ganzha A.Yu., Karelova R.A.</i>	16
CREATION OF UNDERWATER TOWED VIDEO COMPLEX FOR SEARCHING AND RESEARCH OF MARINE GAS-HYDRATE DEPOSITS <i>Liskin V.A., Egorov A.V., Anisimov I.M., Russak Yu.S.</i>	24
SMART PARKING SYSTEM BASED ON CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS <i>Panina V.S., Amelichev G.A., Belov Yu.S.</i>	29
INDUCTION MOTOR DESIGNS FOR MULTI-PHASE PHASE-POLE CONTROLLED AC ELECTRIC DRIVES <i>Brazhnikov A.V., Savelev S.V., Kupriyanov F.M., Zhuravskaya A.V., Kuzmin A.R.</i>	34
ANALYTICAL CALCULATION OF THE CAPACITANCE OF INHOMOGENEOUS ELEMENTS <i>Gluschenko A.A., Gluschenko A.G., Gluschenko V.A., Gluschenko E.P.</i>	40
AUTOMATION OF SOLVING PROBLEMS DESCRIBED BY DIFFERENTIAL EQUATIONS OF SECOND ORDER <i>Ilichev V.Yu., Nazarov E.S.</i>	45
REAL-TIME HAND GESTURE RECOGNITION USING FINGER SEGMENTATION <i>Kucher M.Yu., Belov Yu.S.</i>	50

СТАТЬИ

УДК 004.05

**МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ЦИФРОВЫХ
ИНФОРМАЦИОННО-ДОКУМЕНТАЦИОННЫХ УСЛУГ
ОБУЧАЮЩИМСЯ УНИВЕРСИТЕТА**

Сысоева Л.А.

*ФГБОУ ВО «Российский государственный гуманитарный университет», Москва,
e-mail: Leda@rggu.ru*

Современный этап цифровизации организаций высшего образования включает направление по разработке и внедрению цифровых услуг для участников образовательного процесса. К задачам данного направления относится предоставление информационно-документационных сервисов через личные кабинеты обучающихся, входящих в состав электронной информационно-образовательной среды университета. Целью исследования является разработка моделей процессов при реализации цифровых информационно-документационных услуг и их классификация. Применение процессного подхода при реализации цифровых услуг основывается на положениях и требованиях к системам управления документами, определенных в серии стандартов ГОСТ Р ИСО 3030х. В статье представлена классификация цифровых информационно-документационных услуг, с учетом видов запускаемых процессов: сервисы, выполняемые по запросам пользователей, сервисы по регламентным процессам организации, информационно-мониторинговые сервисы. Разработаны модели процессов информационно-документационных услуг. На основе моделей процессов определены группы документов, которые: необходимы для запуска процесса; формируются в ходе выполнения процесса; выполняют функции маршрутизации хода выполнения процесса; являются результатом выполнения процесса. Представлены примеры практической реализации моделей процессов информационно-документационных услуг в виде цифровых сервисов в разделе «Многофункциональный студенческий офис» в личном кабинете обучающегося: сервис по предоставлению сведений о ходе заполнения обходного листа выпускника университета и текущем статусе документа; сервис по заказу справок с возможностью получения документов как в электронной форме, так и на традиционном (бумажном) носителе.

Ключевые слова: система управления документами, электронная информационно-образовательная среда, цифровые услуги, модели процессов цифровых услуг, процессный подход в управлении

**PROCESS MODELS FOR DIGITAL INFORMATION
AND DOCUMENTATION SERVICES FOR UNIVERSITY STUDENTS**

Sysoeva L.A.

Russian State University for the Humanities, Moscow, e-mail: Leda@rggu.ru

The modern stage of digitalization of higher education organizations includes a direction for the development and implementation of digital services for participants in the educational process. The tasks of this direction include the provision of information and documentation services through the personal offices of students who are part of the electronic information and educational environment of the university. The aim of the study is to develop process models in the implementation of digital information and documentation services and their classification. The application of a process approach in the implementation of digital services is based on the provisions and requirements for document management systems defined in the GOST R ISO 3030x series of standards. The article presents the classification of digital information and documentation services, taking into account the types of processes launched: services performed at the request of users, services according to the regulatory processes of the organization, information and monitoring services. Models of information and documentation services processes have been developed. Based on process models, you define the document groups that are required to start the process; are generated during the process performing process progress routing functions; are the result of the process. Examples of practical implementation of models of information and documentation services processes in the form of digital services are presented in the section "Multifunctional Student Office" in the student's personal account: a service for providing information on the progress of filling out the university graduate's checklist and the current status of the document; service for ordering certificates of achievement with the possibility of obtaining documents both in electronic form and on a traditional (paper) medium.

Keywords: document management system, electronic information and educational environment, digital services, digital services process models, process approach in management

Современный этап цифровизации организаций высшего образования включает направление по разработке и внедрению цифровых услуг для участников образовательного процесса. К задачам данного направления относится предоставление информационно-документационных сервисов через личные кабинеты обучающихся, которые являются функциональным

компонентом электронной информационно-образовательной среды (ЭИОС) университета [1].

Предоставление цифровых информационно-документационных услуг входит в сферу систем управления документами в масштабе организации, поэтому применение процессного подхода при реализации цифровых услуг должно основываться на положе-

ниях и требованиях, определенных в серии стандартов ГОСТ Р ИСО 3030х [2, 3].

В соответствии с ГОСТ Р ИСО 30300 [2] процессный подход при управлении документами включает:

- формирование требований к документным процессам с учетом регламентов деловых процессов и интересов всех участников;
- создание моделей процессов, в ходе которых выполняется документирование;
- мониторинг и анализ документных процессов;
- совершенствование документных процессов на основе объективных измерений.

Под документными процессами понимаются процессы, выполняемые в ходе жизненного цикла документа: создание, регистрация, использование, хранение, передача, уничтожение [2], а также обеспечение требуемого уровня информационной безопасности.

Специфика процессного подхода при выполнении информационно-документационных услуг заключается в том, что в ходе реализации процесса документы могут выполнять различные роли:

- документ является условием запуска процесса;
- документ является результатом выполнения процесса;
- документ является средством маршрутизации хода выполнения процесса, определяет топологию выполнения процесса.

Кроме того, особенность процессного подхода при реализации управления документами проявляется в следующем:

- с одной стороны, деловой процесс сопровождается документированием, что требует управления жизненным циклом документов, т.е. управление документными процессами;
- с другой стороны, документ может рассматриваться как объект управления в ходе жизненного цикла делового процесса (при планировании, организации, выполнении и совершенствовании), что требует управления функциями мониторинга, контроля, оценки документов [4, с. 56].

При разработке и реализации цифровых информационно-документационных услуг в ЭИОС университета необходимо рассматривать документ как объект управления в ходе жизненного цикла делового процесса, а условия перехода с одного этапа жизненного цикла документа к другому должны определяться характеристиками и условиями выполнения делового процесса [2]. Для решения данной задачи в первую очередь требуется определить роль документов в каждом процессе, которые обеспечивают выполнение цифровых услуг.

Цель исследования – разработать модели информационно-документационных

процессов с учетом роли документов (условие запуска процесса, результат выполнения процесса, средство маршрутизации процесса) при реализации цифровых сервисов в ЭИОС университета.

Материалы и методы исследования

Цифровые услуги, предоставляемые пользователям (обучающимся, преподавателям) ЭИОС университета через их личные кабинеты [1], можно разделить на три группы (рис. 1):

- услуги, выполняемые по запросам пользователей (характеризуются тем, что при поступлении документа-запроса запускается определенный процесс, результатом выполнения которого является создание нового документа как в электронной, так и в традиционной форме представления);

- услуги по регламентным процессам организации (характеризуются тем, что путем создания соответствующего документа структурным подразделением запускается процесс, в котором участвует пользователь, и результатом выполнения является создание нового документа как в электронной, так и в традиционной форме представления);

- информационно-мониторинговые услуги, предоставляемые в соответствии с регламентами выполняемых процессов (мониторинг хода процессов и информирования участников о возможных действиях; публикация статусов документов, формируемых в соответствии с регламентами процессов; информирование о результатах выполнения процессов).

Данная классификация цифровых услуг основана на условиях запуска и групп участников процессов:

- 1) инициация процессов пользователями, исполнителями которых являются структурные подразделения организации;
- 2) инициация процессов структурными подразделениями, которые исполняются пользователями или в которых участвуют пользователи;
- 3) инициация процессов в соответствии с регламентами услуг, которые выполняют функции мониторинга и информирования о ходе реализации выполняемых сервисов.

Таким образом, формирование моделей информационно-документационных процессов с учетом роли документов (условие запуска процесса, результат выполнения процесса, средство маршрутизации и информирования о ходе выполнения процесса) при реализации цифровых сервисов в ЭИОС университета необходимо выполнять на основе классификации цифровых услуг с учетом видов запускаемых процессов.

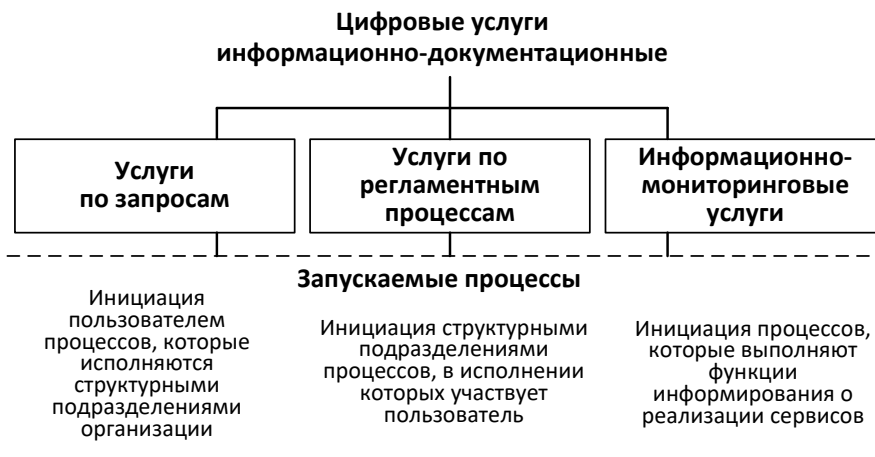


Рис. 1. Классификация цифровых информационно-документационных услуг с учетом видов запускаемых процессов

При исследовании применяется процессный подход [5, 6] и рекомендации международных и отечественных стандартов, регламентирующих процессы систем управления документами [7, 8].

Результаты исследования и их обсуждение

В соответствии с приведенной классификацией (рис. 1) в ЭИОС университета в личных кабинетах обучающихся были реализованы следующие модели информационно-документационных услуг.

1. «Электронный документ-запрос – Электронный и/или бумажный документ-результат» (инициация услуги по электронному запросу пользователя и предоставление результата в нескольких

формах представления). Модель процесса представлена на рис. 2.

2. «Электронный регламентный документ – Запуск и выполнение процесса» (инициатор процесса предоставляет участнику процесса в качестве услуги электронные документы, которые необходимы для выполнения процесса). Модель процесса инициации услуги по предоставлению документов пользователю представлена на рис. 3.

3. «Электронный документ – Информирование о статусе документа» (инициатор процесса предоставляет участнику процесса в качестве услуги информацию о ходе реализации процесса). Модель процесса по информированию о ходе реализации этапов работ и статусе документированной информации представлена на рис. 4.

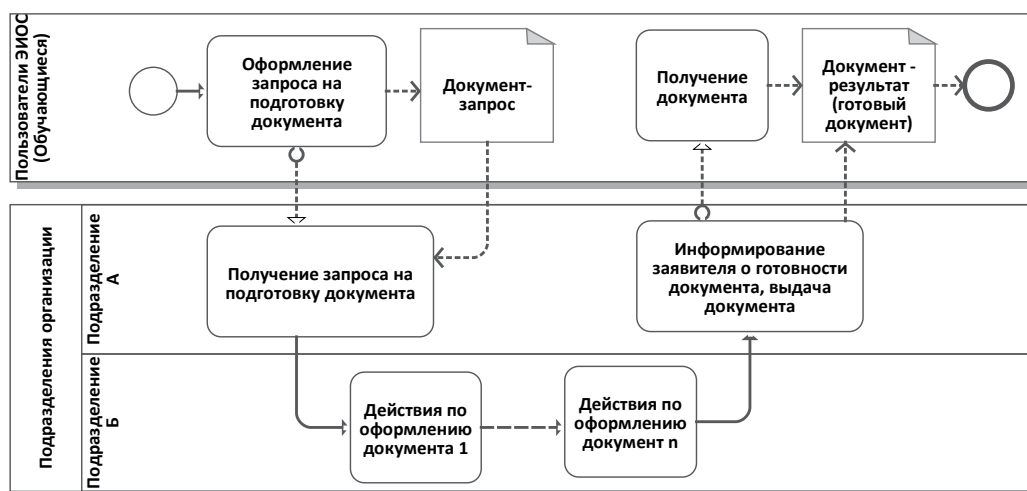


Рис. 2. Модель процесса инициации услуги по электронному запросу пользователя и предоставление результата в форме документа (Документ-запрос – Документ-результат)

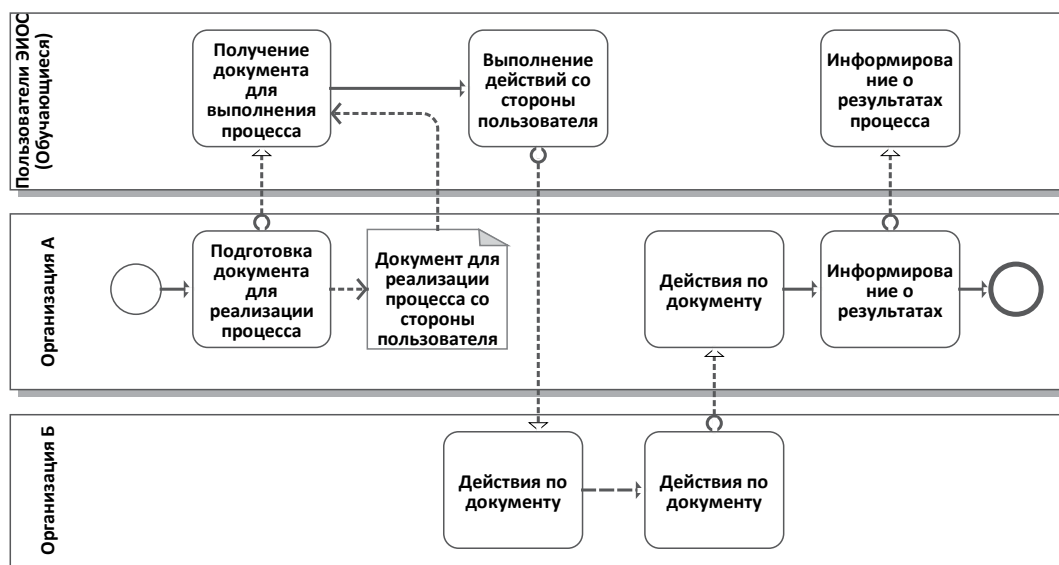


Рис. 3. Модель процесса инициации услуги по предоставлению документов пользователю как участнику делового процесса (Электронный регламентный документ – Запуск и выполнение процесса)

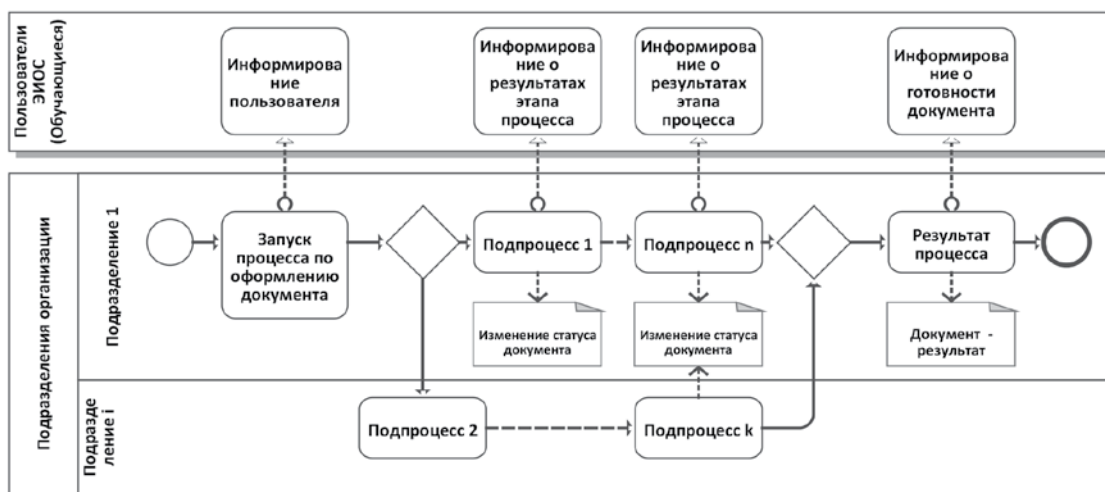


Рис. 4. Модель процесса инициации услуги по информированию о ходе реализации процесса и статусе документа (Электронный документ – Информирование о статусе документа)

Практическая реализация моделей процессов информационно-документационных услуг может быть представлена цифровыми сервисами в ЭИОС университета в разделе «Многофункциональный студенческий офис» (МСО) в личном кабинете обучающегося: справки, платежи, обходные листы и др.

Примером реализации модели процесса инициации услуги по информированию о ходе реализации процесса и статусе документа («Электронный документ – Информирование о статусе документа») является сервис по предоставлению сведений о ходе заполнения обходного листа выпускника

университета и текущем статусе документа (рис. 5).

Примером реализации модели процесса инициации услуги по электронному запросу пользователя и предоставление результата в нескольких формах представления («Электронный документ-запрос – Электронный и/или бумажный документ-результат») является сервис по заказу справок (справки с места обучения, справки-вызова, справки об успеваемости) через личный кабинет обучающегося с возможностью получения документов как в электронной форме, так и на традиционном (бумажном) носителе (рис. 6).

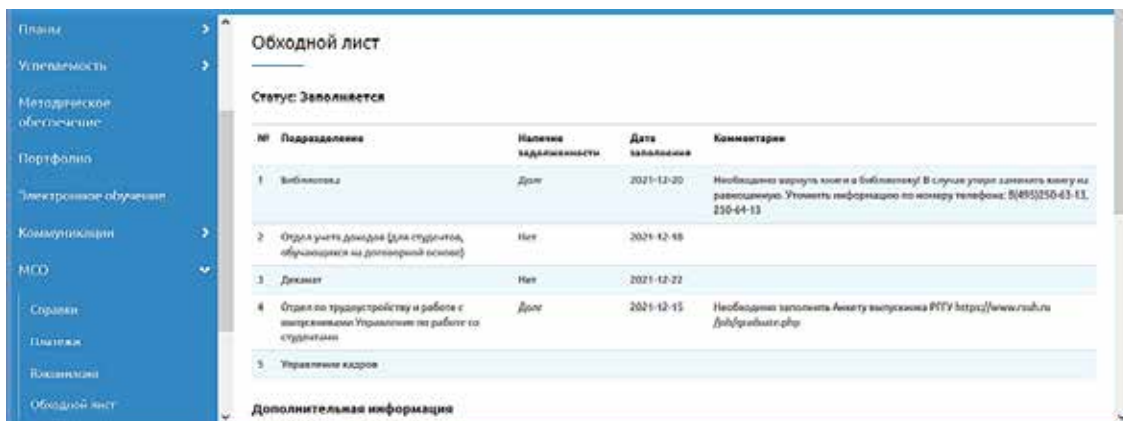


Рис. 5. Практическая реализация модели процесса инициации услуги по информированию о ходе реализации процесса и статусе документа в личном кабинете обучающегося

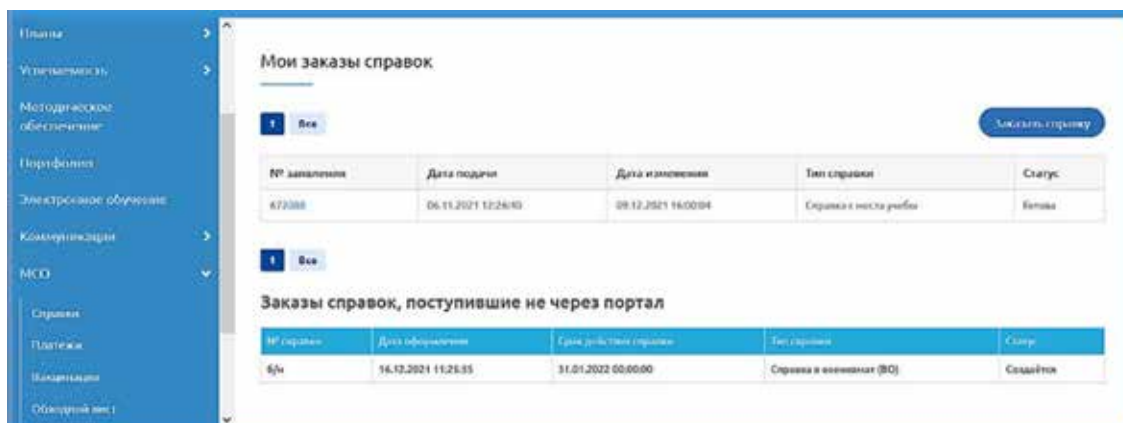


Рис. 6. Практическая реализация модели процесса инициации услуги по электронному запросу пользователя и предоставление результата в нескольких формах представления

Заключение

Модели процессов информационно-документационных услуг позволили структурировать документированную информацию, которая создается или используется при реализации процесса.

Для этого были определены группы документов, которые:

- необходимы для запуска процессов;
- формируются в ходе выполнения процесса;
- являются результатом выполнения процесса.

Разработанные модели процессов информационно-документационных услуг выявили такие их характеристики, как:

- предоставление цифровых услуг основано на реализации внешних и внутренних сквозных процессов;

– результатом выполнения услуг является документированная информация, которая имеет свой жизненный цикл и требует организации управления им.

Список литературы

1. Сысоева Л.А. Опыт разработки архитектуры электронной информационно-образовательной среды университета // Новые информационные технологии в образовании и науке. 2018. № 1. С. 27–31.
2. ГОСТ Р ИСО 30300-2015. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Информация и документация. Системы управления документами. Основные положения и словарь. Введ. 2015-12-09. М.: Стандартинформ, 2016. 14 с.
3. ГОСТ Р 7.0.101-2018 / ИСО 30301-2011. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Информация и документация. Системы управления документами. Требования. Введ. 2018-01-30. М.: Стандартинформ, 2020. 24 с.
4. Сысоева Л.А. Стандартизация требований к прикладным информационным системам организации для включе-

ния их в единую систему управления документами // Научное обозрение. Технические науки. 2021. № 3. С. 55–60.

5. Репин В. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов / В. Репин, В. Елиферов. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2013. 544 с.

6. Шёнталер Ф. Бизнес-процессы: языки моделирования, методы, инструменты: практическое руководство / Франк Шёнталер, Готфрид Фоссен, Андреас Обервайс, Томас Карле; пер. с нем. М.: Альпина Паблишер, 2019. 264 с.

7. ИСО 30302:2015. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Системы управления документами. Руководство по внедрению. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.iso.org/ru/standard/54673.html> (дата обращения: 18.12.2021).

8. Янковая В.Ф. Новый стандарт по управлению документами ГОСТ Р ИСО 15489-1-2019. Делопроизводство и документооборот на предприятии. 2019. № 9. С. 24–34.

УДК 004.432

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ТАЙМ-МЕНЕДЖМЕНТА НА ЯЗЫКЕ KOTLIN

Бужинская Н.В., Машенко С.К.

*ФГАОУ ВО «Российский государственный профессионально-педагогический университет»,
филиал, Нижний Тагил, e-mail: nadezhda_v_a@mail.ru, porenti.tv@gmail.com*

В настоящее время у любого специалиста возникает проблема рационального распределения времени на выполнение различных заданий. При этом необходимо выделить не только основные этапы работы, но и определить объем ресурсов, необходимых для реализации данного этапа. Умения в области тайм-менеджмента особенно важны для ИТ-специалистов (проектировщиков, тестировщиков, программистов, системных аналитиков), поскольку любой программный продукт должен быть закончен в установленные сроки в условиях ограниченного бюджета и иметь минимально допустимое количество ошибок. Одним из элементов тайм-менеджмента является матрица Эйзенхауэра, которая позволяет представить список заданий в виде четырех категорий – важные и срочные, важные и несрочные, неважные и срочные, неважные и несрочные. Матрица Эйзенхауэра является хорошим инструментом для планирования своей деятельности начинающими ИТ-специалистами, которые на начальном этапе своего профессионального роста предпочитают работать самостоятельно. В статье рассматривается процесс разработки мобильного приложения в Android Studio для тайм-менеджмента на основе матрицы Эйзенхауэра. Для разработки был выбран мультиплатформенный язык программирования Kotlin, на котором можно писать приложения для любой системы.

Ключевые слова: тайм-менеджмент, матрица Эйзенхауэра, ИТ-специалист, срочность, важность, мобильное приложение, Android, Kotlin

DEVELOPMENT OF A MOBILE APPLICATION FOR TIME MANAGEMENT IN THE KOTLIN LANGUAGE

Buzhinskaya N.V., Maschenko S.K.

*Russian State Vocational Pedagogical University, branch, Nizhny Tagil,
e-mail: nadezhda_v_a@mail.ru, porenti.tv@gmail.com*

Currently, any specialist has a problem of rational distribution of time to perform various tasks. At the same time, it is necessary to identify not only the main stages of work, but also to determine the amount of resources required for the implementation of this stage. Time management skills are especially important for IT professionals (designers, testers, programmers, system analysts), since any software product must be completed on time, with a limited budget and have a minimum amount of errors. One of the elements of time management is the Eisenhower Matrix, which allows you to present the list of tasks in the form of four categories – important and urgent, important and not urgent, not important and urgent, not important and not urgent. The Eisenhower Matrix is a good planning tool for IT beginners who prefer to work independently at the initial stage of their professional growth. The article discusses the process of developing a mobile application in Android Studio for time management based on the Eisenhower matrix. For development, the multi-platform programming language Kotlin was chosen, in which you can write applications for any system.

Keywords: time management, Eisenhower matrix, IT specialist, urgency, importance, mobile app, Android, Kotlin

На старте любого проекта у разработчика должны быть удобные инструменты для планирования работы, которые предполагают наличие четкого плана. Как известно, любой проект необходимо выполнить качественно в установленные сроки, с учетом требований заказчика. Тайм-менеджмент, как процесс управления, предполагает не только выделение основных этапов работы, оказания услуги или иного процесса, но и управление существующими ресурсами для достижения поставленной цели [1]. Тайм-менеджмент включает четыре основных элемента: философию, стратегию, технологию и эффективность [2]. Умение рационально распределять собственное время позволяет увеличивать эффективность своей деятельности, учит выделять наиболее важные на текущий момент дела [3].

Современные программные продукты, которые можно использовать для тайм-менеджмента, позволяют выполнить планирование задач не только каждому разработчику в отдельности, но и команде. Например, с помощью программного продукта Space от JetBrains можно создавать трекеры задач, списки дел, формировать отпуска и командировки, организовывать собрания с уведомлением всех участников (<https://www.jetbrains.com/ru-ru/space/>). Также данный продукт предлагает чаты, блоги и код-ревью для общения внутри коллектива. Несмотря на очевидные достоинства, можно отметить, что данный продукт больше рассчитан на работу больших корпораций. К недостаткам отнести и отсутствие локализации на русский язык, что затрудняет использование данной про-

граммы людям с низким уровнем знаний английского языка.

Еще одним продуктом для тайм-менеджмента является Azure DevOps (<https://azure.microsoft.com/ru-ru/services/devops/server/>). Данный продукт разработан компанией Microsoft. Он имеет четыре основных элемента:

- контроль исходного кода за счет одновременной множественной блокировки его для изменений;

- отчетность, при этом отчеты могут быть экспортированы в несколько различных форматов, таких как XML, PDF, Excel;

- портал проекта как индикатор прогресса и центр взаимодействия участников между собой;

- общие сервисы.

Базовый тариф имеет ограничения на 20 пользователей. Но при этом данный продукт не является кроссплатформенным и, соответственно, предоставляет наименьшую гибкость для командной работы. Также стоит заметить, что по сравнению со Spase от JetBrains он имеет более ограниченный функционал и во многом зависит от других Azure сервисов.

Таким образом, функции данных планировщиков подразумевают наличие команды и, как следствие, распределение членов команды по ролям. В зависимости от выполняемых функций каждого члена команды, планируется объем работы и фиксируются результаты. Начинающему ИТ-специалисту требуется потратить время на изучение интерфейса данных программных продуктов. Кроме того, достаточно большая часть ИТ-специалистов, без опыта работы, предпочитает рабо-

тать удаленно – в одиночку или постоянно меняя состав команды, в зависимости от решаемой задачи. Поэтому возникает необходимость в разработке программного продукта для планирования работы, функции которого будут понятны и удобны любому разработчику, независимо от уровня квалификации. Этот факт обуславливает цель данного исследования – описание процесса разработки мобильного приложения для тайм-менеджмента и обоснование выбора языка Kotlin для реализации основных функций приложения.

Материалы и методы исследования

Нами был проведен опрос студентов ИТ-специальностей, с целью выявления наиболее важных функций в программах для тайм-менеджмента. Результаты опроса представлены на рис. 1.

Результаты опроса свидетельствуют о том, что для большей части ИТ-специалистов важной составляющей их работы является распределение задач по степени важности.

На основе полученных данных нами было принято решение разработать мобильное приложение, функции которого достаточно просты для специалистов, начинающих построение своей карьеры в ИТ-сфере. В качестве основы для нашего приложения мы выбрали матрицу Эйхенхауэра (рис. 2). Матрица Эйзенхауэра (матрица решений) – метод американского президента Д.Д. Эйзенхауэра. На горизонтальной оси X показана срочность, от наиболее срочного слева до наименее срочного справа. Вертикальная ось Y показывает степень важности, от наименее важного внизу до наиболее важного наверху [4].

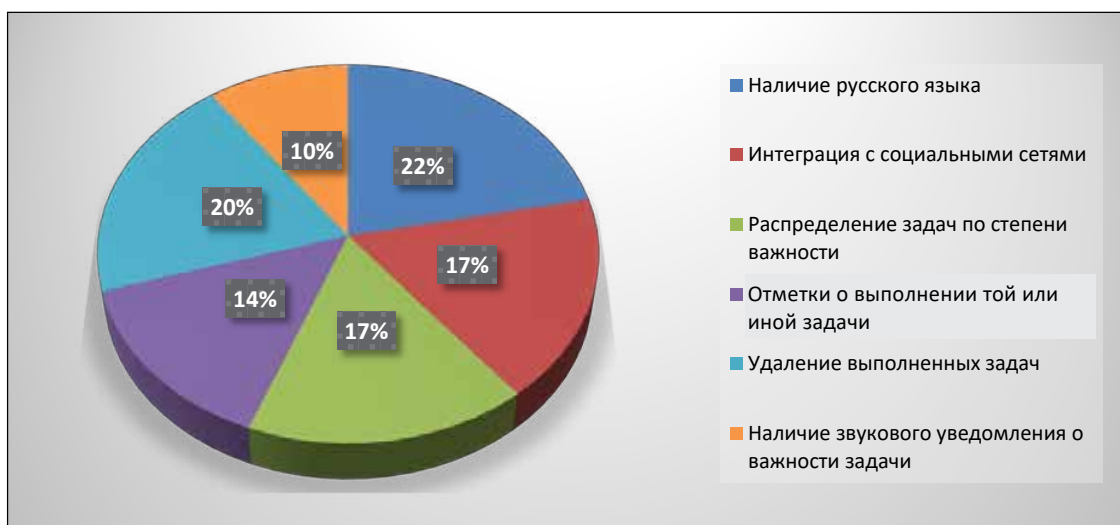


Рис. 1. Результаты проведения опроса потенциальных пользователей

	Срочно	Не срочно
Важно	Сделать Сделать это сейчас	Решить Выделить время в расписании
Не важно	Делегировать Кто это может сделать вместо меня?	Удалить Вычеркнуть и забыть

Рис. 2. Матрица Эйзенхауэра

В результате получается четыре важных сектора:

- срочное и важное (задания, которые должны быть выполнены в любом случае, иначе могут возникнуть затруднения в реализации проекта);
- менее срочное, но важное (задания, которым нужно уделять особое внимание, так как в данной категории сосредоточен основной объем работы);
- менее важное, но срочное (задания, которые мешают сосредоточиться на других более важных заданиях);
- менее важное и менее срочное (задания, которые не несут пользы).

Работая с данной матрицей, разработчик должен распределить поставленные перед ним задачи по этим секторам и оценить объем предстоящей работы. На первом этапе работы с матрицей обычно сложно выстроить градацию заданий и правильно выбрать категорию, в которую нужно занести то или иное задание. Самой важной является категория «Менее срочное, но важное». Если задания из данной категории не выполнить вовремя, то они переносятся в первую категорию и приходится тратить больше времени на их выполнение. По мнению Б. Трейси, успех и уважение в работе, обществе, команде зависит от умения концентрироваться на одной важной задаче и не оставлять незаконченных дел [5]. Умение планировать свое время и рационально распределять время на основные виды деятельности является показателем самоорганизации и самодисциплины человека, характеризует его с лучшей стороны.

Работая с мобильным приложением, можно представить данный список дел в виде таблицы.

Список дел, представленный на экране мобильного приложения

Показатель	Срочно	Не срочно
Важно	Сделать	Составить расписание
Не важно	Делегировать	Забыть

Для решения данной задачи были сопоставлены с каждым делом из списка две переменные, которые будут отвечать за важность и срочность соответственно. После этого, перебирая все возможные варианты, мы можем рассмотреть все различные последовательности действий.

Мобильное приложение разрабатывалось нами для операционной системы Android, которая является в настоящее время одной из самых популярных [6]. При разработке приложения в Android Studio использовался элемент LinearLayout. Внутри макета мы разместили следующие компоненты:

- TextView – имя нашего приложения;
- EditText – список дел;
- кнопки «Добавить», «Удалить» и «Очистить» для выполнения желаемых операций;
- TextView – обозначение названия списка дел;
- ListView – хранение всех элементов в списке.

Мобильное приложение разрабатывалось на языке Kotlin.

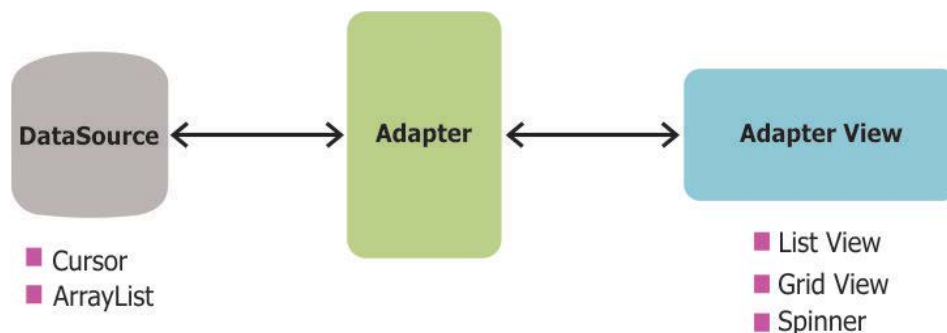


Рис. 3. Схема работы Adapter

Kotlin – это мультиплатформенный язык общего назначения: на Kotlin можно писать приложения для Windows, MacOS, Android. Независимость от системы подразумевает широкий спектр применения Kotlin [7]. Язык Kotlin развивается быстрыми темпами. Код, написанный на данном языке, напоминает обычный текст на английском языке, поэтому искать в нем ошибки становится проще. Также он совместим со всеми существующими библиотеками Java, что увеличивает количество получаемых возможностей при разработке.

При разработке мобильных приложений для Android зачастую используются адаптеры, которые упрощают связывание данных с элементом управления. Например, у нас есть набор объектов (список задач) и есть компонент View. Назначение адаптера заключается в том, чтобы предоставлять дочерние виды для контейнера. Адаптер «берет» данные и метаданные определенного контейнера и строит каждый дочерний вид. В нашем случае ArrayAdapter предназначен для работы с ListView. Данные представлены в виде массива, которые размещаются в отдельных элементах TextView (рис. 3).

Каждому виду работы, который заносит в приложение пользователь, присваивается индекс. Для хранения индексов используется массив ArrayList. Затем адаптер ArrayAdapter преобразовывает сгенерированные массивы объектов в представление ListView. Adapter используется для организации взаимодействия между источником данных (ArrayList) и визуальным представлением (ListView), а также осуществляет две функции:

- выбор использованных данных в качестве источника;
- преобразование любого заданного элемента, в массиве, в соответствующий объект просмотра.

Важно обратить внимание, что существуют и другие источники данных кроме ArrayList. Например, Cursor, который напрямую связывает данные с набором результатов из локальных баз данных.

Чтобы использовать базовый адаптер ArrayAdapter, необходимо инициализировать адаптер и подключить его к ListView.

Для кнопки «Добавить» написана функция, в которой основным методом является setOnClickListener. Этот метод используется для указания действий при нажатии, т.е. добавления нового элемента из текста редактирования в новый список. На каждом шаге мы обновляем адаптер. При этом каждый раз, когда пользователь вводит новый элемент в текстовом окне редактирования, а затем нажимает кнопку «Добавить», этот элемент будет автоматически добавлен в список.

Для того чтобы выполнить операцию удаления, необходимо использовать другой метод. Когда пользователь добавляет элемент в список, его позиция запоминается. Потом, в зависимости от номера позиции элемента, он удаляется из списка. Для удаления всех видов работы используется функция очистки. Стоит учесть, что после обновления списка нужно уведомить адаптер об изменении данных.

Результаты исследования и их обсуждение

Интерфейс приложения представлен на рис. 4.

После входа в приложение пользователю доступен менеджер заданий. Для добавления новой задачи пользователь заходит в редактор. Добавляя новое задание, пользователь должен указать его срочность и важность. Если задание выполнено, то его можно удалить.

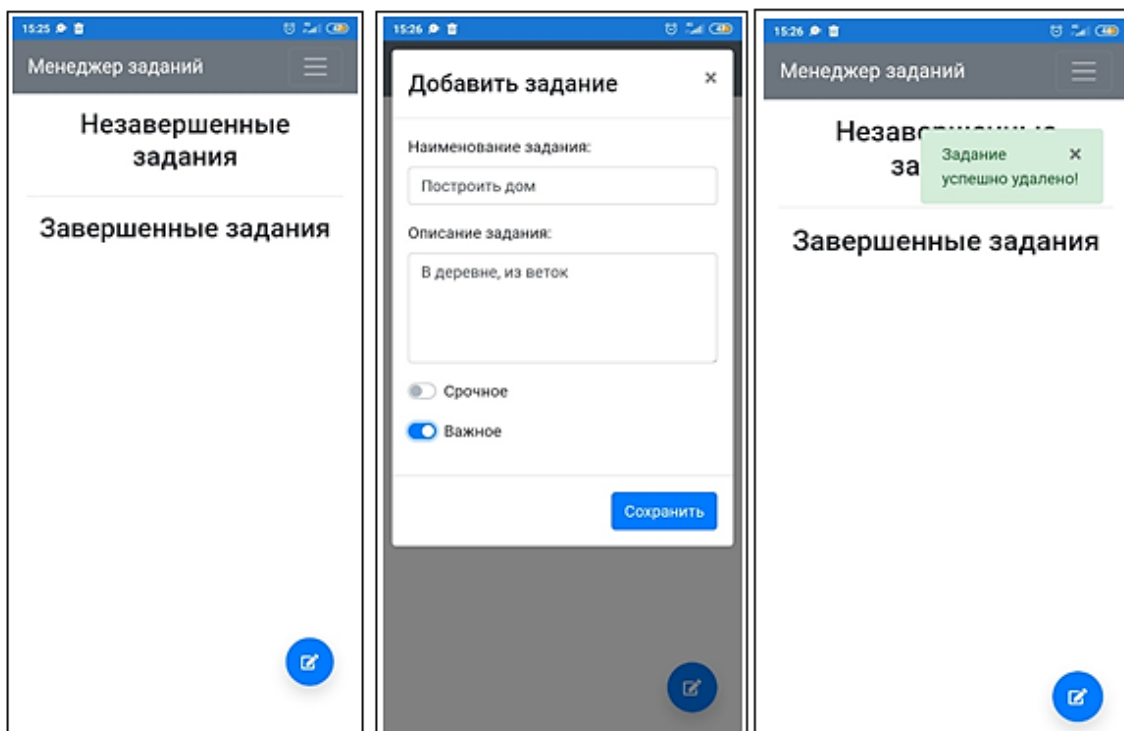


Рис. 4. Интерфейс пользователя

Мобильное приложение «Менеджер заданий» обладает удобным интерфейсом, а также обладает такими важными функциями для начинающих специалистов, как:

- создание новых записей – заданий;
- удаление заданий, как единичных, так и всех сразу;
- отметка о выполненных заданиях;
- сортировка заданий по важности и срочности;
- скроллинг списка заданий (для большого объема заданий);
- дополнение примечаний к заданиям;

Заключение

В ходе проделанной работы было разработано мобильное приложение «Менеджер заданий». В дальнейшем планируется добавить в мобильное приложение адаптивное изменение цвета под тип задания, а также

возможность добавления заданий в зависимости от роли участника в команде.

Список литературы

1. Ильина О.Ю. Использование элементов тайм-менеджмента в процессе формирования профессиональных компетенций магистров (на примере изучения семейного права) // Вестник ТвГУ. Серия «Право». 2015. № 4. С. 110–119.
2. Архангельский Г.А. Тайм-менеджмент. Полный курс: учебное пособие. М.: Альпина Паблишер, 2012. 310 с.
3. Петрова А.С. Обучение студентов принципам тайм-менеджмента // Научное обозрение. Педагогические науки. 2017. № 4. С. 124–127.
4. Кузьмин А.М. Матрица Эйзенхауэра // Методы менеджмента качества. 2016. № 11. С. 19.
5. Трейси Б. Выйди из зоны комфорта. Измени свою жизнь. 21 метод повышения личной эффективности. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2014. 144 с.
6. Клифтон Ян. Проектирование пользовательского интерфейса в Android. М.: ДМК-Пресс, 2017. 452 с.
7. Скин Дж. Kotlin. Программирование для профессионалов. СПб.: Питер, 2020. 464 с.

РАЗРАБОТКА БЕССЕРВЕРНЫХ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНСТРУМЕНТОВ AMAZON WEB SERVICES

Ганьжа А.Ю., Карелова Р.А.

Нижнетагильский технологический институт (филиал)

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России

Б.Н. Ельцина», Нижний Тагил, e-mail: riya2003@mail.ru

Данная статья посвящена обзору основных особенностей бессерверной архитектуры как способа реализации веб-приложений. Бессерверная архитектура подразумевает, что инфраструктура программного средства поддерживается сторонними провайдерами, а необходимая функциональность предоставляется в форме сервисов, отвечающих за процессы аутентификации, отправки уведомлений и интеграции со сторонними ресурсами. В статье рассматриваются ключевые особенности структуры бессерверных веб-приложений, а также реализация сервисных моделей BaaS (Backend-as-a-Service) и FaaS (Function-as-a-Service), раскрываются преимущества бессерверной архитектуры по сравнению с клиент-серверной реализацией веб-приложений. В представленных материалах описывается назначение облачных сервисов платформы Amazon Web Services, таких как API Gateway, Lambda и DynamoDB. В качестве примера совместного использования инструментов облачной платформы AWS демонстрируется процесс реализации гибкого API бессерверного веб-приложения для ведения блога. Пошагово описываются такие процессы, как создание таблиц базы данных DynamoDB, объявление HTTP API, а также реализация обработчиков POST и GET-запросов. Приводятся примеры кода в виде листингов. Результатом проведенной работы является систематизация теоретических сведений и демонстрация практических приемов для разработки бессерверных веб-приложений с использованием инструментов Amazon Web Services.

Ключевые слова: serverless, бессерверная архитектура, облачные сервисы, веб-приложения, Amazon Web Services

DEVELOPMENT OF SERVERLESS WEB-APPLICATIONS USING AMAZON WEB SERVICES TOOLS

Ganzha A.Yu., Karelova R.A.

Nizhny Tagil Technological Institute (branch) UrFU, Nizhny Tagil, e-mail: riya2003@mail.ru

This article is devoted to an overview of the main features of a serverless architecture as a way to implement web applications. Serverless architecture implies that the infrastructure of the software is supported by third-party providers, and the necessary functionality is provided in the form of services responsible for the processes of authentication, sending notifications and integration with third-party resources. The article discusses the key features of the structure of serverless web applications, as well as the implementation of the BaaS (Backend-as-a-Service) and FaaS (Function-as-a-Service) service models, reveals the advantages of a serverless architecture compared to the client-server implementation of the web.-applications. This presentation describes the purpose of Amazon Web Services platform cloud services such as API Gateway, Lambda, and DynamoDB. As an example of sharing AWS cloud platform tools, we demonstrate how to implement a flexible API for a serverless blogging web application. There is a description through processes such as creating DynamoDB database tables, declaring an HTTP API, and implementing POST and GET request handlers. There are code examples in the form of listings. The result of this work is the systematization of theoretical information and demonstration of practical techniques for developing serverless web applications using Amazon Web Services tools.

Keywords: serverless, serverless architecture, cloud serviced, web applications, Amazon Web Services

Многие разрабатываемые в настоящее время веб-приложения обладают функциями аутентификации пользователя, хранения пользовательской информации, а также рассылки уведомлений (по e-mail и/или SMS). Реализация такого функционала, как правило, предполагает наличие клиентской (front-end) части веб-приложения, базы данных и серверной (back-end) его части. По мере расширения функциональных возможностей таких приложений увеличивается и количество ресурсов, необходимых для поддержания производительности системы.

Снижение затрат на разработку серверной части веб-приложения путем ее пере-

носа в готовые облачные технологии может значительно сократить сроки ввода приложения в эксплуатацию, а также освободить ресурсы для работы над клиентской частью. Такой подход к разработке веб-приложений называется бессерверным.

На сегодняшний день существует множество инструментов, способных помочь в создании бессерверных веб-приложений. Наиболее эффективными из них являются облачные сервисы таких крупных компаний, как Google, Microsoft и Amazon.

Цель исследования заключалась в иллюстрации особенностей применения инструментов AWS для разработки бессерверных веб-приложений.

Материалы и методы исследования

В рамках работы был проанализирован и систематизирован опыт современных разработчиков программного обеспечения, отраженный в публикациях, в том числе тематических форумах.

Результаты исследования и их обсуждение

Бессерверная архитектура представляет собой технологическое решение, в рамках которого задачи управления инфраструктурой и вычислительные процессы веб-приложения выполняются сторонними поставщиками облачных услуг [1, с. 3].

Как правило, бессерверный подход подразумевает использование предварительно настроенных событий, а для оптимизации процесса развертывания веб-приложения применяется ряд распределенных облачных сервисов. При таком подходе обычно реализуются две взаимодополняющие сервисные модели:

- back-end как услуга (BaaS);
- функция как услуга (FaaS).

Модель BaaS предоставляет разработчикам возможность связывать веб-приложения с серверным облачным хранилищем и API, а также реализовывать такие функции, как аутентификация пользователей, хранение данных в облаке и рассылка извещающих уведомлений [2, с. 1].

Назначение модели BaaS состоит в том, чтобы вместо разработки и поддержки собственных сервисов использовать готовые решения, набор которых формирует универсальный back-end для любого проекта.

В свою очередь, модель FaaS предоставляет возможность вызова серверного кода без необходимости управления серверами. Идея данной модели заключается в том, чтобы разбить серверную часть веб-приложения на набор не фиксирующих состояние функций для обработки событий и запросов [3, с. 8].

Таким образом, совместное использование моделей BaaS и FaaS позволяет разработчикам решать сложные задачи по размещению данных, инфраструктуры и элементов бизнес-логики будущего продукта.

Рассмотрим подробнее вариант применения данных моделей на примере сравнения классической клиент-серверной и бессерверной архитектур.

При клиент-серверном подходе веб-приложение разбивается на три уровня: клиентский уровень, уровень серверной логики и уровень данных (рис. 1). Так, клиентский уровень представляет собой веб-интерфейс, с которым непосредственно взаимодействуют пользователи. Уровень серверной логики, в свою очередь, отвечает за поведение веб-приложения, служит для обработки запросов клиентской части. Уровень данных представляет собой хранилище, в котором размещаются данные приложения.

При таком подходе вся логика веб-приложения располагается на серверном уровне.

При бессерверном подходе процессы аутентификации и обращения к базе данных реализуются с помощью модели BaaS. Кроме того, часть серверной логики передается на клиентский уровень, и, таким образом, помимо отображения информации, он занимается отслеживанием сессии пользователя, навигацией на странице, а также чтением из базы данных. Обработкой данных в базе занимается функция модели FaaS [4, с. 17–18].

Вариант архитектуры бессерверного веб-приложения представлен на рис. 2.

Таким образом, можно выделить ряд характерных преимуществ бессерверной архитектуры. Первое из них – сокращение финансовых затрат на разработку и развертывание веб-приложения за счет оплаты только используемых ресурсов.

Вторым характерным преимуществом бессерверной архитектуры является высокая скорость разработки: отсутствие необходимости в работе над второстепенными задачами, например, такими как обслуживание инфраструктуры или синхронизация данных, способно упростить и ускорить процесс разработки веб-приложения. За счет этого достигается не только снижение затрат на разработку, но и сокращение времени выхода программного продукта на рынок [5, с. 308].



Рис. 1. Архитектура клиент-серверного веб-приложения

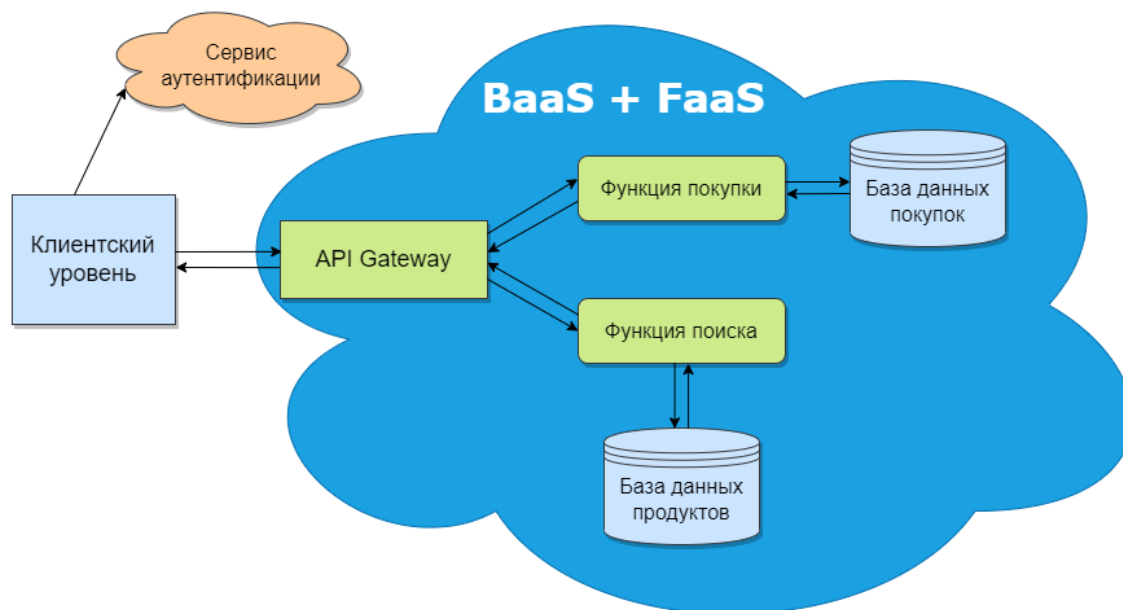


Рис. 2. Архитектура бессерверного веб-приложения

Еще одно преимущество такой архитектуры – автоматическое масштабирование. При использовании бессерверного подхода масштабирование вычислительных ресурсов и функциональных возможностей веб-приложения выполняется поставщиком бессерверной услуги именно тогда, когда в этом появляется необходимость.

Безопасность является одним из важнейших условий размещения веб-приложения в облачном сервисе. Так, возникает необходимость в обеспечении платформой трех основных аспектов безопасности: доступности, конфиденциальности и целостности данных.

Поставщики облачных услуг обеспечивают высокую доступность данных (в течение 99,5–99,9 % времени) [6]. Это означает, что потребители, имеющие доступ к информации, смогут получить её в нужное время.

Для обеспечения конфиденциальности пользовательских данных поставщики облачных услуг применяют шифрование. К наиболее распространенным способам шифрования относят использование криптографического протокола SSL, а также алгоритмов хеширования, таких как MD5 и SHA-2.

Также провайдеры облачных сервисов гарантируют обеспечение целостности пользовательских данных. Для этого клиентам предоставляются специальные возможности для резервирования данных веб-приложения, что позволяет сохранять целостность данных в резервной копии.

Перед началом создания любого бессерверного веб-приложения необходимо определиться с прикладными инструментами разработки.

На сегодняшний день существует множество различных инструментов для работы с бессерверной архитектурой, поддерживаемых такими крупными компаниями, как Google, Microsoft и Amazon. Наиболее гибким решением считается платформа Amazon Web Services (далее – AWS) компании Amazon.

Облачная платформа AWS предлагает надежные, масштабируемые и недорогие сервисы облачных вычислений, такие как AWS Lambda, AWS API Gateway и AWS DynamoDB. Рассмотрим каждый из этих сервисов подробнее.

AWS Lambda представляет собой вычислительный сервис, который отвечает за выполнение определенных функций в ответ на события в веб-приложении, например, на HTTP-вызовы или обновление таблицы в базе данных.

AWS API Gateway – это сервис, предназначенный для создания, публикации и обслуживания API. С помощью API реализуется доступ к данным и функциональным возможностям веб-приложения. API Gateway является основной частью бессерверного API, отвечающей за связь между определенным API и функцией, обрабатывающей запросы к этому API.

AWS DynamoDB представляет собой бессерверную базу данных NoSQL на осно-

ве пар «ключ – значение», предназначенную для хранения данных высоконагруженных веб-приложений [7, с. 3].

Совместное использование перечисленных сервисов способно значительно упростить разработку бессерверных веб-приложений, позволяя при этом создавать гибкий API для безопасного доступа, манипулирования и объединения данных из нескольких источников.

В качестве примера рассмотрим реализацию API веб-приложения для ведения блога. Для решения этой задачи необходимо зарегистрировать аккаунт AWS, а также установить фреймворк AWS Serverless Application Model (далее – SAM), предназначенный для создания и администрирования бессерверных веб-приложений.

После установки SAM необходимо перейти в директорию проекта и инициализировать его следующей командой (листинг 1).

Листинг 1. Инициализация проекта

```
sam init -r nodejs12.x -n blog
```

После выполнения команды в директории проекта появится каталог с установочными файлами. В файле `template.yml` необходимо определить таблицу DynamoDB, в которой будут храниться записи блога (листинг 2).

Листинг 2. Объявление таблицы DynamoDB

```
Resources:
BlogPostsTable:
  Type: AWS::DynamoDB::Table
  // Объявление свойств таблицы
Properties:
  // Название объявляемой таблицы
  TableName: blog-posts-table
  // Объявление атрибутов таблицы
AttributeDefinitions:
  // Создание атрибута partKey
  - AttributeName: partKey
    // Тип атрибута partKey – строковый
    AttributeType: S
  // Создание атрибута createdAt
  - AttributeName: createdAt
    // Тип атрибута createdAt – числовой
    AttributeType: N
  // Объявление первичных ключей таблицы
KeySchema:
  // Создание ключевого атрибута partKey
  - AttributeName: partKey
    // Тип ключевого атрибута partKey – ключ партиции
    KeyType: HASH
  // Создание ключевого атрибута createdAt
  - AttributeName: createdAt
    // Тип атрибута createdAt – ключ сортировки
    KeyType: RANGE
  // Установка режимов чтения и записи для таблицы
ProvisionedThroughput:
  ReadCapacityUnits: 5
  WriteCapacityUnits: 5
```

Платформа AWS создаст таблицу DynamoDB «blog-posts-table», где ключом партиционирования будет выступать атрибут `partKey`, а ключом диапазона – атрибут `createdAt`.

Далее необходимо объявить HTTP API, связывающий все конечные точки и функции веб-приложения (листинг 3).

Листинг 3. Объявление HTTP API веб-приложения

```
// Объявление HTTP API веб-приложения
BlogHttpApi:
  Type: AWS::Serverless::HttpApi
  // Объявление свойств создаваемого API
  Properties:
    // Объявление пути API
    StageName: Test
    CorsConfiguration: True
```

Объявление функции представлено на листинге 4.

Листинг 4. Объявление функций

```
// Объявление функции CreatePostFunction
CreatePostFunction:
  Type: AWS::Serverless::Function
  // Указание свойств объявляемой функции
  Properties:
    // Указание пути к функции
    Handler: src/handlers/createPost.handler
    // Указание среды выполнения лямбда-функции
    Runtime: nodejs12.x
    // Установка ограничения по использованию оперативной памяти на 128 МБ
    MemorySize: 128
    // Установка пятисекундного таймаута для функции
    Timeout: 5
    // Объявление события CreatePost
    Events:
      CreatePost:
        // Указание типа события HttpApi
        Type: HttpApi
        // Указание свойств события
        Properties:
          // Привязка события к созданному BlogHttpApi
          ApiId: !Ref BlogHttpApi
          // Указание, при каком запросе будет вызываться событие
          Method: POST
          // Указание пути вызова запроса
          Path: /posts
        Policies:
          - AmazonDynamoDBFullAccess

// Объявление функции GetPostsFunction
GetPostsFunction:
  Type: AWS::Serverless::Function
  // Указание свойств объявляемой функции
  Properties:
    // Указание пути к функции
    Handler: src/handlers/getPosts.handler
    // Указание среды выполнения лямбда-функции
    Runtime: nodejs12.x
    // Установка ограничения по использованию оперативной памяти на 128 МБ
    MemorySize: 128
    // Установка пятисекундного таймаута для функции
    Timeout: 5

// Объявление события GetPosts
Events:
  GetPosts:
    // Указание типа события HttpApi
    Type: HttpApi
    // Указание свойств события
```

```

Properties:
    // Привязка события к созданному BlogHttpApi
    ApiId: !Ref BlogHttpApi
    // Указание, при каком запросе будет вызываться событие
    Method: GET
    // Указание пути вызова запроса
    Path: /posts
Policies:
    - AmazonDynamoDBFullAccess
    
```

Функции *CreatePostFunction* и *GetPostsFunction* выступают в роли обработчиков для запросов *POST* и *GET*.

Программный код обработчиков располагается в директории «src/handlers». Для этого в данной директории создается файл «createPost.js», в котором описывается алгоритм работы обработчика *POST*-запроса (листинг 5).

Листинг 5. Программный код обработчика *POST*-запроса

```

// Подключение необходимых модулей
const AWS = require('aws-sdk');
const dynamodb = new AWS.DynamoDB();

// Объявление обработчика POST-запроса
exports.handler = async (event) => {
    // Получение тела запроса
    const { body } = event;
    try {

        // Получение названия и тела записи из тела запроса
        const { title, text } = JSON.parse(body);
        // Возврат ошибки, если отсутствует название или текст записи
        if (!title || !text) {
            return {
                statusCode: 403,
                body: 'title and text are required!'
            }
        }

        // Если название и текст записи были получены, то занесение их в созданную таблицу
        // DynamoDB
        await dynamodb.putItem({
            // Указание названия таблицы, в которую помещаются данные о записи
            TableName: 'blog-posts-table',
            // Указание элементов для отправки данных в таблицу
            Item: {
                postId: { S: 'blog' },
                title: { S: title },
                text: { S: text },
                createdAt: { N: String(Date.now()) }
            }
        }).promise();
        return {
            // Возврат сообщения о том, что запись успешно создана
            statusCode: 200,
            body: 'Post was created!'
        }
    } catch (err) {
        return {
            // Возврат сообщения об ошибке в случае сбоя
            statusCode: 500,
            body: 'Something went wrong!'
        }
    }
};
    
```

При обработке POST-запроса данная функция получает из тела запроса название и содержимое записи блога, а затем сохраняет их в базу данных DynamoDB.

Аналогичным образом создается файл «getPosts.js» для обработчика GET-запроса, с помощью которого будут получены пять последних записей блога (листинг 6).

Листинг 6. Программный код обработчика GET-запроса

```
// Подключение необходимых модулей
const AWS = require('aws-sdk');
const dynamodb = new AWS.DynamoDB();

// Объявление обработчика GET-запроса
exports.handler = async () => {
  try {
    // Создание запроса на получение записей блога
    const result = await dynamodb.query({
      // Название таблицы, из которой будут получены записи
      TableName: 'blog-posts-table',
      // Объявление ключа, по которому будут получены записи
      KeyConditionExpression: 'partKey = :partKey',
      // Отображение последних записей сверху
      ScanIndexForward: false,
      // Указание лимита на кол-во возвращаемых записей
      Limit: 5,
      ExpressionAttributeValues: {':partKey': {S: 'blog'}}
    }).promise();
    return {
      // Возврат полученных записей в случае успешной обработки запроса
      statusCode: 200,
      headers: {
        'Content-Type': 'application/json',
      },
      body: JSON.stringify(result.Items),
    }
  } catch (err) {
    console.log(err);
    return {
      // Возврат сообщения об ошибке в случае сбоя
      statusCode: 500,
      body: 'Something went wrong!',
    }
  }
};
```

Для запуска созданного API необходимо развернуть его с помощью соответствующей команды (листинг 7).

```
sam deploy – guided
```

Листинг 7. Команда развертывания API

Таким образом, с помощью облачных сервисов AWS API Gateway, AWS Lambda и AWS DynamoDB был реализован простой API бессерверного веб-приложения для ведения блога (рис. 3).

Заключение

Применение бессерверной архитектуры является перспективным подходом к созданию веб-приложений. Это обусловлено

такими преимуществами, как снижение затрат на разработку и развертывание веб-приложения, а также сокращение сроков выхода программного продукта на рынок. Кроме того, перспективность бессерверной архитектуры объясняется продвижением и поддержкой облачных технологий мировыми IT-гигантами. Одним из таких крупных поставщиков облачных сервисов является компания Amazon.

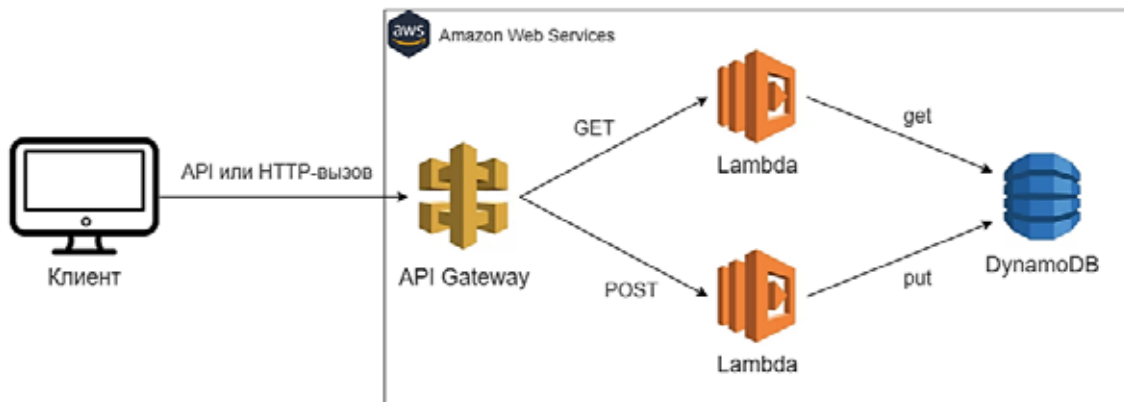


Рис. 3. Принцип работы реализованного API бессерверного веб-приложения

На сегодняшний день платформа Amazon Web Services, разработанная этой компанией, считается одним из лучших решений в работе с бессерверной архитектурой, предоставляющим такие инструменты, как AWS API Gateway, AWS Lambda и AWS DynamoDB. Использование перечисленных сервисов способно значительно упростить процесс разработки бессерверных веб-приложений, делая их гибкими, надежными и производительными.

Список литературы

1. Дешко И.П., Кряженков К.Г., Тулинов С.В., Цветков В.Я. Микросервисы и serverless платформы: учебное пособие. М.: МАКС Пресс, 2020. 64 с.
2. Мархакшинов А.Л., Тонхоноева А.А., Урмакшинова Е.Р. Разработка бессерверных мобильных приложений //

Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии. 2019. Т. 17. № 4. С. 66-73.

3. Дешко И.П., Кряженков К.Г., Тулинов С.В., Цветков В.Я. Основы serverless: учебное пособие. М.: МАКС-Пресс, 2020. 72 с.

4. Казаков В.Е., Кузнецов А.А., Мурычева В.В. Архитектура serverless // Материалы докладов 54-й международной научно-технической конференции преподавателей и студентов. 2021. С. 16–18.

5. Пантелеев А.С., Соловьев Т.Г. Особенности разработки serverless приложений // Математика и математическое моделирование. 2021. С. 307–308.

6. 99.99 % uptime for Azure Active Directory [Электронный ресурс]. URL: <https://techcommunity.microsoft.com/t5/azure-active-directory-identity/99-99-uptime-for-azure-active-directory/ba-p/1999628> (дата обращения: 20.11.2021).

7. Макоший А.И., Макоший Р. Современная облачная инфраструктура: бессерверные вычисления // Вестник Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова. 2019. № 2. С. 13–16.

УДК 681:551.46.09

СОЗДАНИЕ ПОДВОДНОГО БУКСИРУЕМОГО ВИДЕОКОМПЛЕКСА ДЛЯ ПОИСКА И ИССЛЕДОВАНИЙ МОРСКИХ ГАЗОГИДРАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Лискин В.А., Егоров А.В., Анисимов И.М., Руссак Ю.С.

ФГБУН «Институт океанологии им. П.П. Ширшова» РАН, Москва, e-mail: liskin@ocean.ru

Объектом исследований являются скопления на морском дне газогидратов, относящихся к перспективным энергетическим ресурсам, и технические средства, необходимые для их поиска и разведки. Целью исследований является разработка телеуправляемого придонного комплекса и видеоаппаратуры для него, регистрирующей в том числе пузырьковую разгрузку метана. Комплекс предназначен для обнаружения и исследований морских газогидратных скоплений, что связано в том числе с исследованиями аномалий содержания метана в осадочном слое дна. Выполнена разработка и изготовление подводного видеомодуля с видеосистемой высокого разрешения, обеспечивающей эффективный выбор рабочей зоны применения разрабатываемой аппаратуры. Одной из основных частей передающей видеокамеры является оптическая подсистема, включающая наружное защитное стекло и несколько сменных объективов, обладающих различными углами зрения. Решены основные задачи по разработке и реализации структурных и функциональных схем подводного видеоконспекса, электрических схем отдельных электронных узлов и комплекса в целом. Определен и апробирован принцип взаимодействия между составными частями видеоконспекса. Разработаны оптимальные конструктивные решения создания комплекса, а также проведены макетирование и отработка информационного взаимодействия составляющих микропроцессорных контроллеров и вспомогательных электронных узлов. Реализована возможность включения в состав комплекса эхолота, позволяющего определять расстояние от аппарата до дна, а также передавать информацию о режимах буксировки на борт судна обеспечения по оптоволоконному кабель-тросу. В результате исследований и разработок создан подводный буксируемый видеоконспекс, являющийся одним из компонентов комплекса технических и методических средств исследований природных газовых гидратов в акваториях.

Ключевые слова: газовые гидраты, подводный, буксируемый, видеоконспекс, телекамера, светильники

CREATION OF UNDERWATER TOWED VIDEO COMPLEX FOR SEARCHING AND RESEARCH OF MARINE GAS-HYDRATE DEPOSITS

Liskin V.A., Egorov A.V., Anisimov I.M., Russak Yu.S.

Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Science, Moscow, e-mail: liskin@ocean.ru

The object of research is the accumulation of gas hydrates on the seabed, related to promising energy resources, and the technical means necessary for their search and exploration. The aim of the research is to develop a remotely controlled bottom complex and video equipment for it, recording, inter alia, the bubble discharge of methane. The complex is designed to detect and study marine gas hydrate accumulations, which is associated, among other things, with studies of methane anomalies in the sedimentary layer of the bottom. The development and manufacture of an underwater video module with a high-resolution video system that provides an effective choice of the working area for the application of the developed equipment has been completed. One of the main parts of the transmitting video camera is the optical subsystem, which includes an external protective glass and several interchangeable lenses with different viewing angles. The main tasks for the development and implementation of structural and functional circuits of an underwater video complex, electrical circuits of individual electronic components and the complex as a whole have been solved. The principle of interaction between the constituent parts of a video complex is defined and tested. The optimal design solutions for the creation of the complex were developed, as well as the prototyping and refinement of the information interaction of the components of microprocessor controllers and auxiliary electronic nodes. The ability to include an echo sounder in the complex, which allows you to determine the distance from the apparatus to the bottom, as well as transmit information about the towing modes to the side of the support vessel via a fiber optic cable – cable, has been realized. As a result of research and development, an underwater towed video system was created, which is one of the components of a complex of technical and methodological tools for researching natural gas hydrates in water areas.

Keywords: gas hydrates, underwater towed, video module, TV camera, LED lights

Для исследований газогидратных энергетических ресурсов окраинных морей России в ближайшем обозримом будущем предполагается достаточно интенсивное использование подводной буксируемой видеоаппаратуры, которая ранее использовалась в достаточно широком спектре исследований акваторий. Ее применяют для исследования микрорельефа и особенностей строения морского дна, для поиска

и выполнения обследования затонувших судов, проведения спасательных работ. С ее помощью проводятся обзорные работы подводных частей различных гидротехнических сооружений, изучение обстановки в местах предполагаемых подводных работ. Глубоководные видеоконспексы успешно применяются при сильных течениях, в широком диапазоне температур и практически неограниченное время. Существенным фак-

тором, ограничивающим дальность видения в воде, является ослабление света в воде из-за его поглощения и рассеяния, из-за чего в значительной степени ограничивается область использования средств подводной видеотехники. На этапе детального обследования подводного объекта и его классификации прежде всего ведется визуализация подводного объекта, а дальнейшие исследования достигаются как фотографическими, так и телевизионными средствами. Проведенные исследования по изучению газовых гидратов на дне показывают эффективность применения для этих целей подводных телеуправляемых видеокомплексов. В этой связи, прежде всего, были рассмотрены теоретические модели механизмов вертикального переноса метаносодержащих флюидов, на основании которых происходит формирование скоплений газовых гидратов на дне, а также предложены оригинальные технические решения по конструированию комплекса гидрохимической аппаратуры для исследований и количественных расчетов восходящих потоков химических элементов через морское дно.

Назначение и область применения

Основным назначением создаваемого глубоководного буксируемого видеокомплекса является поиск и оценка ресурсов газогидратных месторождений, что является достаточно непростой задачей. В этой связи следует отметить, что предполагаемые ресурсы залежей морских газогидратов представляют собой привлекательный, но все еще не вовлеченный в практическую плоскость вид энергетического сырья. В настоящее время только начинается развитие технологий поиска, разведки и освоения месторождений газовых гидратов, но многие вопросы, связанные с этой проблемой, остаются нерешенными. В этой связи предлагается, например, проведение целенаправленных исследований на уже открытых газогидратных месторождениях с целью определения тех параметров видеоизображений объектов исследований, которые следует получать с помощью буксируемых видеосредств. Далее, следует использовать микрокомпьютерную обработку полученных материалов непосредственно на борту видеокомплекса, с целью возможности «распознавания образов», а именно, признаков наличия газовых гидратов на полученных видеоизображениях. Основным назначением подводного буксируемого видеокомплекса является обследование морского дна в режиме буксировки, в местах предполагаемого присутствия газовых гидратов в осадках. Передача получаемых

видеоизображений должна осуществляться по оптоволоконному кабель-тросу на цифровые средства регистрации, находящиеся на судне. Кроме того, буксировки видеокомплекса для обследования дна проводятся в местах, которые связаны с локализацией мест подводной пузырьковой разгрузки газа со дна и намеченных для последующих постановок донных станций. По выделению газов осуществляется локализация бактериальных матов, а также мест возрастания плотности бентосных организмов с чем, в свою очередь, связаны признаки мест нахождения на дне газовых гидратов. Следует отметить, что обработка получаемых массивов видеоданных с помощью современных компьютерных технологий и технологий «распознавания образов» в режиме реального времени позволит значительно повысить вероятность обнаружения признаков наличия газовых гидратов непосредственно в процессе буксировки. Кроме того, видеокомплекс может быть применен для специальных постановок донных станций в выбранных местах, по результатам предварительно проведенных видеосъемок. Другим возможным использованием буксируемого видеокомплекса является поиск, идентификация и фиксация координат затонувших объектов.

Специфика подводной видеотехники

Применение средств подводной видеоаппаратуры в реальных условиях имеет свою специфику, связанную со свойствами воды как оптической среды. Световой поток, проходя через толщу водной среды, ослабляется, то есть происходит его поглощение и рассеяние и вследствие этого падение интенсивности. Поглощение и рассеяние светового потока осуществляется не только водой, но и содержащимися в ней взвешенными частицами и растворенными веществами. Вопросу выбора оптимальных источников света в подводной видеотехнике уделяется большое внимание, так как дальность обнаружения объектов и качество изображения напрямую связаны с условиями освещения. На определенном этапе разработок подводной видеотехники проводились исследования условий и эффективности применения подводных светильников различной мощности. В результате опыт исследований с применением видеосистем показал, что, как правило, необходимо опытным путем подбирать оптимальные источники света как по мощности, так и по спектральному составу. Кроме того, необходимо оптимально подбирать расположение источников света относительно наблюдаемого объекта, так же как приемника отраженного

света. Многочисленные исследования показали, что мощные источники подсветки следует использовать только в очень прозрачной среде. Там, где водная среда менее прозрачна, следует использовать несколько источников небольшой мощности, в связи с тем, что в малопрозрачной воде мощные лампы вызывают сильное обратное рассеяние света. Далее отметим, что одним из эффективных средств видеорегистрации является подводная фотография. Подводная фотография обладает высокой разрешающей способностью, информативностью, а также возможностью масштабирования и размножения получаемых материалов. Кроме того, в подводной фотографии существует возможность создания стереоэффекта, что позволяет получить большую пространственно-информационную емкость формы изображения. Другим более эффективным способом визуального обнаружения объектов и их исследования является подводное телевидение, которое позволяет получать видеоинформацию о подводных объектах непосредственно в момент обнаружения, обеспечивает большую производительность съемки и соответствующие оперативные возможности. В итоге отметим, что при работе рассматриваемых оптических видеосредств свет, в общем случае, последовательно проходит цепь: источник освещения – водная среда – приемник отраженного света. При этом решающее влияние на дальность видимости и на качество изображения оказывает водная среда, ее первичные и зависящие от них вторичные оптические характеристики [1–3].

Подходы к созданию комплекса

Проведенный анализ последовательности и условий этапов разработок видеокomплекса показал, что следует создавать проектируемый телеуправляемый видеокomплекс, предназначенный для обнаружения и исследования газовых гидратов, в виде двух независимых подсистем, а именно: блока буксируемого видеокomплекса и постановочного блока донной станции с автономной видеосистемой. Отметим при этом, что в режиме буксировки видеокomплекс должен выполнять свою основную функцию – видеонаблюдение за поверхностью дна и при необходимости фотографирование объектов на дне. Предлагаемое функциональное и аппаратное разделение видеокomплекса на две подсистемы: буксируемый видеомодуль и устанавливаемую с автономной видеосистемой донную (возможно гидрохимическую) станцию – позволит решить многие проблемы. Так, в режиме обследования акваторий бук-

сируемый комплекс освобождается от необходимости транспортировать в течение многих часов неиспользуемую подсистему постановочного блока гидрохимической станции. Далее, в соответствии с программой исследований, с буксируемым видеокomплексом на этапе постановки стыкуется донная станция. Используя предлагаемую схему, буксируемый видеокomплекс позволит прицельно вывести донную станцию на выявленный в ходе предыдущих видеосъемок объект (место подводной разгрузки газообразных углеводородов и флюидов) и провести точную постановку донной гидрохимической станции.

Особенности разработок и реализации

На базе проведенных предварительных исследований выполнена разработка принципиальных схем и базовых блоков буксируемого видеокomплекса. Согласованы рабочие параметры различных элементов комплекса и разработаны электронные блоки, необходимые для синхронизации работы элементов комплекса. Рассчитаны оптимальные размеры и определены материалы для изготовления элементов конструкции, разработана спецификация комплектующих элементов. Проведено макетирование элементов конструкции и электроники видеосистемы как буксируемого, так и постановочного модуля, а также комплекса аппаратуры сбора гидрохимических данных. Рассмотрены особенности реализации и применения подводных видеосистем, сформулированы требования к источникам заливающего света подводных видеосистем, на основании чего предложена методика расчета фотометрических характеристик светового поля. Проведенные работы позволили предложить способы гибкого комплексирования элементов и оптимальные режимы сборки, отладки и испытаний световидеокomплекса и блока гидрохимической аппаратуры в его составе.

Конструкторская проработка

Проведена конструкторская проработка компоновки буксируемого видеокomплекса. Предложена несущая рама, состоящая из трех эллиптических контуров, сваренных из нержавеющей трубы диаметром 40 мм. Эти три контура соединены вертикальными трубными стойками. Дополнительные трубы, сваренные между вертикальными стойками, служат для крепления светильников и корпуса фотовидеокамеры. Подвес для блоков изготавливается из полосы нержавеющей стали. Он крепится на осях в передней половине рамы к центральному эллипсу. Крепление светильников (светиль-

ники на базе светодиодных матриц особой яркости) осуществляется с помощью специальных хомутов. Бортовой эхолот также крепится с помощью хомутов. Стабилизаторы из листовой нержавеющей стали привариваются к раме со стороны, противоположной подвесу. Для блока питания предусмотрено место ниже оси крепления подвеса, а для его фиксации вварены две несущие трубы. Для лучшего обтекания видеокomплекса и защиты внутренних элементов от ударов о посторонние предметы предусмотрен съемный защитный кожух [4, 5].

Описание и принципы работы

Основным режимом работы подводного буксируемого видеокomплекса является режим телевидения, при котором производится получение и запись телевизионного изображения морского дна. Для решения этих задач, в процессе буксировки с судового устройства управления на подводный носитель по кабелю передаются команды управления видеокамерой, включения видеозаписи, регулирования четкости изображения и выключения видеозаписи. Получаемое телевизионное изображение записывается в блоки памяти компьютера подводного носителя и, кроме того, передается в судовой блок, откуда поступает на вход судового видеомонитора. При этом оператором на судне ведется наблюдение видеоизображения морского дна и показаний эхолота. На основании получаемой информации оператор, с помощью органов управления судовой лебедкой, может эффективно управлять движением подводного буксируемого видеокomплекса, сводя до минимума возможность ударов о дно и, соответственно, повреждения подводного носителя.

Конкретный функциональный состав носителя подводного буксируемого видеокomплекса включает: несущую раму со стабилизаторами, обтекателем и балластными грузами, блок телекамеры, прочный корпус, телекамеру и, при необходимости, фотоустановку.

Блок управления включает: прочный корпус, комплект передатчика и приемника для передачи видеосигнала по оптоволоконной линии связи, плату эхолота, плату управления, плату коллектора, антенну эхолота с кабелем, светодиодные светильники, блоки питания светильников, блок микрокомпьютерных компонентов.

Судовое оборудование подводного буксируемого видеокomплекса включает: судовой приемо-передающий блок, микрокомпьютерный блок управления и индикации, комплект передатчика и приемника для передачи видеосигнала по оптоволоконной ли-

нии связи, блок питания, развязывающий трансформатор, буксировочный оптоволоконный кабель-трос, длиной до 3000 м, герметичные электроразъемы.

Основные технические характеристики, подводного буксируемого видеокomплекса:

глубины буксировки – 2000–3000 м, скорость буксировки – до 2 узлов, максимальное расстояние от дна до подводного буксируемого видеокomплекса не более 4 м (зависит от прозрачности воды), максимальная дальность действия бортового эхолота 100 м, минимальное расстояние от дна – 0,3 м, буксировочный оптоволоконный кабель-трос с герморазъемами 3500 м, тип ламп освещения – матрицы светодиодные 2–4 шт., мощность одного светильника 100 Вт.

Постановочный блок комплекса

Постановочный блок комплекса был разработан на базе «лендера ИО РАН». Блок, в дополнение к прототипу, имеет видеосистему, независимую от видеосистемы буксируемого комплекса. Задача этой видеосистемы – отслеживать во времени масштабы и изменчивость газовыделения со дна в ближайшей окрестности от точки постановки донного комплекса. Предполагается также снабдить постановочный модуль простыми видеосистемами для фиксации основных этапов срабатывания автоматики постановочного блока (наблюдение за подвижными элементами). Видеофотоконтроль работы подсистем постановочного блока (контроль выполнения заданных программ работы подсистем, включающих подсистему автоматического пробоотбора, а также подвижных крышек рабочего и фонового боксов) позволит повысить надежность интерпретации данных, собранных комплексом во время экспозиции на дне. Возможна установка дополнительных подсистем внутреннего и внешнего видеонаблюдения для расширения функциональных возможностей комплекса.

Внешняя и внутренняя видеосистемы

Внешняя видеосистема постановочного комплекса должна охватить наблюдением всю окружающую постановочный комплекс среду и иметь от одной до четырех камер. Количество камер определяется функциональной необходимостью, а увеличение числа камер связано с техническими возможностями. Возможно решение этой проблемы созданием поворотного устройства, с помощью которого одна камера последовательно обходит все секторы обзора. При этом необходимо соответствующее перемещение осветительного устройства.

Кроме того, использование нескольких видеокамер требует высокой энергооборуженности. Более простым вариантом является использование фотокамер с частотой кадров порядка 1–5 мин. Однако за такой интервал времени могут быть пропущены важные периоды изменчивости параметров подводной разгрузки газообразных углеводородов и флюидов. Эта проблема требует детальной проработки в дальнейшем. Внутренняя видеосистема постановочного комплекса предназначена для технического видеонаблюдения за функционированием аппаратуры комплекса и может иметь всего одну камеру с широким углом обзора, размещенную на верхнем периметре рамы, посередине между блоками автоматического пробоотбора. Как показали эксперименты, с этой позиции видны все элементы пробоотборников. Кроме того, нет необходимости использовать непрерывно работающую видеокамеру для технического наблюдения, для этого достаточно сделать несколько фотоснимков, согласованных по времени со срабатыванием шприцев (пробоотборников) [6, 7].

Заключение

Выполнена разработка, предложены комплекс аппаратуры и ее компоновка в составе подводного видеокомплекса, на базе несущей рамы со стабилизаторами и обтекателем, на которую установлены блоки телекамеры и управления, светодиодные светильники, блоки питания и блоки обеспечения информационного обмена данными. Разработана и создана подсистема передачи видеосигнала от подводного источника к судовому приемнику, по кабельной оптоволоконной линии связи. Отработана оптическая система передающей видеокамеры, состоящей из наружного защитного стекла и одного или нескольких дистанционно сменяемых объективов, имеющих различные углы зрения. Базируясь на исследованиях влияния гидрооптических характеристик среды на специфику функционирования видеооптических средств под водой, были разра-

ботаны, изготовлены и включены в состав подводного буксируемого видеокомплекса модернизированная видеосистема, а также источники заливающего света, что обеспечило увеличение дальности видимости видеокомплекса. Были проведены предварительные испытания комплекса функциональных блоков видеосистемы, системы осветителей, а также основные узлы управляющего блока бортовой микрокомпьютерной подсистемы. Разработаны и испытаны элементы судового блока, обеспечивающие управление и оптимальные режимы работы, подводного свето- и видеокомплекса. Разработанный и испытанный глубоководный буксируемый видеокомплекс является одним из компонентов, создаваемых технических и методических средств исследования природных газовых гидратов.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № 0128-2021-0010).

Список литературы

1. Егоров А.В., Рожков А.Н. Формирование залежей газовых гидратов в подводных грязевых вулканах // Известия РАН. Механика жидкости и газа. 2010. № 5. С. 102–112.
2. Римский-Корсаков Н.А., Егоров А.В., Лискин В.А. Обзор и обоснование методов обнаружения и исследования газовых гидратов // Научное обозрение. Технические науки. 2018. № 1. С. 27–31.
3. Пальшин Н.А. Электромагнитные методы исследования геологического строения дна морей и океанов // Современные методы и средства океанологических исследований «МСОИ-2015»: материалы XIV Международной научно-технической конференции. М., 2015. Т. 1. С. 304–305.
4. Саломатин А.С., Юсупов В.И., Верещагина О.Ф., Черных Д.В. Акустическая оценка концентрации метана в областях пузырьковой разгрузки // Акустический журнал. 2014. Т. 60. № 6. С. 636–644.
5. Сергеев В.В., Карпов В.В., Прибылов Ю.С., Соколов В.А. Активная система подводного видения для автономных необитаемых подводных аппаратов // Вопросы радиоэлектроники, сер. Техника телевидения. 2019. Вып. 2. С. 53–61.
6. Гамазов Н.И., Новиков В.И. Моделирование движения кабельной линии подводного аппарата в пакете Blender Game Engine // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Приборостроение. 2017. № 3. С. 47–64.
7. Зеньков А.Ф., Мاستрюков С.И. Состояние и тенденции развития систем оперативной океанологии в ВМС зарубежных стран // Навигация и гидрография. 2016. № 45. С. 69–76.

УДК 004.89

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ПАРКОВОЧНАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Панина В.С., Амеличев Г.А., Белов Ю.С.

*ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана»,
филиал, Калуга, e-mail: vpanina11.04@gmail.com*

Наблюдая и классифицируя проблемы, с которыми сталкиваются водители в крупных городах по всему миру, как основные можно выделить две – это нехватка парковочных мест и заторы на дорогах. С ростом населения спрос на транспортные средства растет день ото дня. Изучая способы решения этих проблем, можно рассмотреть такое возможное решение, как увеличение числа парковочных мест или эффективное использование и управление доступными парковочными местами. Последний способ является более эффективным и предпочтительным. Для надлежащего использования имеющихся ресурсов необходимо разработать разумный и эффективный способ, позволяющий избежать потерь времени, затрат и топлива. В частности, говоря о парковке, необходима разработка безопасной и умной системы парковки. Интеллектуальные транспортные системы (ИТС) превратились в ключевую тему исследований в последние годы, предоставляя набор передовых услуг и приложений. Несмотря на прогресс, по-прежнему существует потребность в улучшенном и распределенном решении, которое может использовать данные из доступных систем и обеспечивать надлежащую реакцию на транспортные системы в реальном времени. В этой статье представлена интеллектуальная парковочная система на основе сверточных нейронных сетей.

Ключевые слова: интеллектуальная транспортная система, интеллектуальная парковочная система, нейронные сети, сверточные нейронные сети, компьютерное зрение

SMART PARKING SYSTEM BASED ON CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS

Panina V.S., Amelichev G.A., Belov Yu.S.

Bauman Moscow State Technical University, Kaluga branch, Kaluga, e-mail: vpanina11.04@gmail.com

Observing and classifying the problems that drivers face in major cities around the world, two main problems can be identified – lack of parking spaces and traffic congestion. With the growing population, the demand for vehicles is increasing day by day. While exploring ways to address these issues, one could consider a possible solution such as increasing the number of parking spaces or efficient use and management of available parking spaces. The latter method is more efficient and preferred. For the proper use of available resources, it is necessary to develop a reasonable and efficient way to avoid wastage of time, costs and fuel. In particular, when talking about parking, it is necessary to develop a safe and smart parking system. Intelligent Transportation Systems (ITS) has emerged as a key research topic in recent years, providing a suite of advanced services and applications. Despite the progress, there is still a need for an improved and distributed solution that can use data from available systems and provide proper real-time response to transport systems. This article presents an intelligent parking system based on convolutional neural networks.

Keywords: intelligent transport system, smart parking system, neural networks, convolutional neural networks, computer vision

Поиск свободного места для парковки является распространенной проблемой в большинстве городов, особенно в популярных и посещаемых местах, таких как торговые комплексы, стадионы и другие часто посещаемые места или туристические достопримечательности. Эта ситуация становится более серьезной, особенно в пиковое время, будь то праздничные сезоны, карнавалы, распродажи или любые другие фестивали. Эта проблема возникает в большинстве случаев, когда посетители приезжают на собственном транспорте, что приводит к избытку или большому количеству транспортных средств, конкурирующих за несколько свободных парковочных мест [1]. Ограниченная доступность свободных парковочных мест часто приводит к пробкам на дорогах, а также к тому, что водитель

не может найти свободное парковочное место. На самом деле это одна из основных проблем, которые приводят к пробкам на дорогах.

Прогресс в урбанизации и зависимость от транспорта приводят к очевидному увеличению количества транспортных средств на дорогах по всему миру, что отрицательно сказывается на качестве жизни. Заторы на дорогах, выбросы CO₂, потери энергии, дорожно-транспортные происшествия и повышенный уровень стресса – вот некоторые из проблем, которые серьезно влияют на здоровье населения и тратят впустую полезные ресурсы. Ясно, что необходимы инновационные решения, и именно здесь интеллектуальные транспортные системы (ИТС) должны сыграть свою роль в быстром и эффективном обеспечении ощути-

мых результатов. Следовательно, необходимо внедрять новые прорывные технологии и методы, которые гарантируют, что ИТС будут более эффективными, безопасными и энергетически устойчивыми [2].

Для того чтобы решить проблему отсутствия хорошо организованной и полезной системы парковки, еще в 1970-х гг. во многих странах Европы, Соединенного Королевства и даже азиатских странах, таких как Япония, была внедрена интеллектуальная система парковки. «Умная» система парковки концентрируется на решении проблемы надлежащего управления парковкой с использованием передовых технологий, которые определенно помогут облегчить, если не решить текущую проблему с дорожным движением.

Цель исследования: изучить понятие интеллектуальной парковочной системы, а также рассмотреть архитектуру и особенности построения интеллектуальной парковочной системы на основе сверточных нейронных сетей.

Интеллектуальная парковочная система – это стратегия парковки, которая сочетает в себе технологии и человеческие инновации, стремясь использовать как можно меньше ресурсов, таких как топливо, время и пространство, для более быстрой, простой и плотной парковки транспортных средств в течение большей части времени, когда они простаивают.

Интеллектуальная парковочная система – это решение для парковки, которое может включать встроенные датчики, камеры или датчики подсчета. Эти устройства обычно встраиваются в парковочные места или располагаются рядом с ними, чтобы определить, свободны ли парковочные места или заняты. Это происходит за счет сбора данных в режиме реального времени. Затем данные передаются в мобильное приложение или веб-сайт умной парковки, которые сообщают о доступности своим пользователям. Некоторые компании также предлагают другую информацию в приложении, например цены на парковку и ее местоположение. Это дает вам возможность изучить все доступные варианты парковки.

«Умную» парковку и ее датчики можно рассматривать как часть «умных» городов. «Умные» города – это города, которые управляются ИТ-инфраструктурой, и с помощью этой инфраструктуры города могут повысить качество жизни и улучшить экономическое развитие своих жителей. Становление «умным» городом может быть хорошим способом сбора исторических

данных относительно простым способом. Собирая эти данные, города могут анализировать, как можно оптимизировать такие процессы, как парковка.

В результате использования интеллектуальной парковочной системы люди, которые ищут место для парковки, найдут его наиболее эффективным способом, а компании или муниципалитеты смогут оптимизировать свои парковочные территории. Использование такой системы сможет сделать города более пригодными для жизни, безопасными и менее загруженными.

Компьютерное зрение в интеллектуальных парковочных системах. Существуют различные методы, позволяющие организовать такую систему. Одним из способов построения интеллектуальной парковочной системы является использование искусственного интеллекта, а в частности компьютерного зрения для распознавания свободных парковочных мест [3].

Искусственный интеллект стал свидетелем колоссального роста в преодолении разрыва между возможностями людей и машин. И исследователи, и энтузиасты работают над многочисленными аспектами этой области, чтобы добиться удивительных результатов. Одна из многих таких областей – это компьютерное зрение.

Главное в этой области состоит в том, чтобы позволить машинам видеть мир, как люди, воспринимать его подобным образом и даже использовать знания для множества задач, таких как распознавание изображений и видео, анализ и классификация изображений, воссоздание медиа, системы рекомендаций, обработка естественного языка и т.д. Достижения в области компьютерного зрения с глубоким обучением были созданы и усовершенствованы с течением времени, в первую очередь над одним конкретным алгоритмом – сверточной нейронной сетью (Convolutional neural network, CNN) [4].

Технология распознавания парковочных мест на основе алгоритма сверточной нейронной сети. Первым шагом интеллектуальной парковочной системы является обнаружение, идентификация и местонахождение свободного места на парковке для получения информации о занятости в режиме реального времени. В этой статье алгоритм на основе CNN используется для извлечения характеристик собранного изображения парковки, определения цели транспортного средства, а затем оценки занятости парковки. Процесс извлечения и распознавания признаков показан на рис. 1.

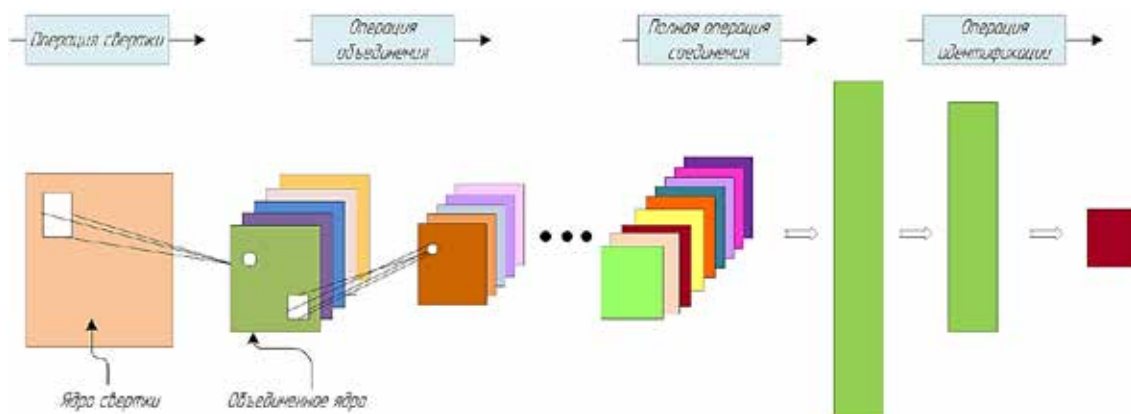


Рис. 1. Извлечение признаков и распознавание сверточной нейронной сети

Алгоритм, принятый экстрактором признаков, является алгоритмом многоуровневых CNN. Процесс выделения признаков состоит в том, чтобы сначала выделить все особенности изображения, а затем создать области-кандидаты. Как показано на рисунке, экстрактор признаков CNN выбирает сверточный слой свертки в сети Visual Geometry Group (VGG16) для вывода карты признаков и генерирования области интереса кандидата (ROI). Затем область интереса объединяется с соответствующей картой функций, которая будет вырезана для формирования целевого функционального блока. После объединения ROI функциональные блоки преобразуются в фиксированный размер и переходят на полный уровень соединения. Затем они классифицируются и размещаются на уровне полного соединения, и получают результаты классификации и распознавания. Модель CNN может точно определять парковочные места, но производительность в реальном времени оставляет желать лучшего.

Интеллектуальные парковочные системы на основе нейронной сети используются для распознавания автомобильных номеров с использованием видеоданных в реальном времени. CNN и машинное зрение реализованы для определения статуса занятости парковки. CNN также могут предоставлять информацию о дорожном движении по различным маршрутам [5].

Исходное изображение, полученное камерой, обрабатывается для обнаружения краев. Цветное изображение должно быть преобразовано в различные формы следующим образом.

Преобразование цвета в серый преобразует исходное цветное изображение в изображение в масштабе серого, отменяя информацию об оттенке и насыщенности

при сохранении яркости. Далее следует логарифмическое преобразование, которое отображает узкий диапазон низких значений уровня серого во входном изображении в более широкий диапазон выходных уровней.

Вторая производная дает более сильный отклик на мелкие детали, такие как тонкие линии и изолированные точки на входном изображении.

Следующее преобразование – двоичное преобразование, которое напоминает цифровое изображение, имеющее только два возможных значения для каждого пикселя, т.е. черное и белое. Выходное изображение заменяет все пиксели входного изображения на 1 (белый) и 0 (черный) в соответствии с яркостью. Обнаружение краев – это комбинация различных математических методов, направленных на идентификацию точек на цифровом изображении, в которых яркость изображения резко меняется или, более формально, имеет разрывы. Это становится наиболее фундаментальным инструментом в обработке изображений, машинном зрении и компьютерном зрении, особенно в областях обнаружения объектов и извлечения объектов [6]. На рис. 2 показаны этапы предварительной обработки изображения.

Сверточная нейронная сеть – это расширение искусственной нейронной сети. Они различаются использованием сверточных слоев и слоев объединения. Сверточные слои всегда стоят на первом месте в CNN. Можно представить сверточный слой в виде фонарика, который освещает изображение и скользит по области во время процесса. Сверточная операция очень проста: она умножает значения в фильтре на исходные значения пикселей изображения. Карта активации или карта объектов получается на выходе сверточного слоя [7].



Рис. 2. Этапы предварительной обработки

Архитектура CNN состоит из нескольких уровней, так что более высокие уровни представляют собой более высокие уровни абстракции, которые способны изучать отличительные аспекты из необработанных входных данных без создания специфических функций вручную для конкретной проблемы. В целом структура CNN состоит из нескольких функциональных блоков. Фильтры свертки применяются для извлечения локальных особенностей из входных изображений. Размер фильтра определяет размер принимаемого поля, а количество фильтров представляет собой количество признаков, которые необходимо извлечь. Обычно используется нелинейная функция активации, которая активируется при обнаружении заданного шаблона. Для уменьшения размерности вводятся объединяющие слои, которые в сочетании со сверточными фильтрами получают инвариантные поступательные и вращательные свойства. В задаче классификации верхние слои сети часто образуют полносвязный слой, который связывает все узлы предыдущего слоя с оценкой класса выходного слоя с помощью функции активации softmax [8].

Другим важным слоем, который следует за сверточным слоем, является объединяющий слой, который также называется нижним слоем выборки. Существует множество уровней объединения, но максимальное объединение является наиболее популярным.

Его можно визуализировать как фильтр, который при применении к входному объему выдает результат с максимальным числом в каждой подобласти, вокруг которой фильтр свертывается.

За каждым слоем свертки следует слой ReLu для введения нелинейности в систему, которая в основном только что вычислила линейную операцию во время процесса свертки. Слой ReLu предпочтительнее, потому что он работает лучше, чем нелинейные функции. Используя эту функцию, сеть способна обучаться намного быстрее, не внося существенного изменения в точность.

Полностью связанный слой, наконец, появляется после нескольких слоев свертки и максимального объединения, которые выполняют высокоуровневые рассуждения в нейронной сети. Полностью связанные слои имеют нейроны, которые имеют связи со всеми активациями в предыдущих слоях.

Пример архитектуры интеллектуальной парковочной системы на основе сверточной нейронной сети представлен на рис. 3.

Заключение

Это исследование показывает эффективность использования интеллектуальной парковочной системы для облегчения и решения общей проблемы распределения парковочных мест в оживленных районах больших городов, таких как торговые комплексы, стадионы и другие популярные места, особенно в часы пик. Интеллектуальная парковочная система также предлагает лучшую и более эффективную альтернативу управлению автостоянками. Используя технологии обработки изображений для определения состояния доступности парковочных мест в среде беспроводной сенсорной сети, предлагаемая интеллектуальная система парковки предлагает лучшее решение для управления автостоянками. Помимо всех технологий, «умная» парковочная система представляет собой ориентированную на пользователя, а также удобную для пользователя систему, которая уделяет первостепенное внимание помощи пользователям с момента их прибытия на автостоянку до момента, когда они уезжают [9].

Интеллектуальные парковочные системы обычно получают информацию о доступных парковочных местах в определенной географической области и обрабатывают в режиме реального времени, чтобы разместить автомобили на доступных парковочных местах. В этой статье в качестве решения выступает компьютерное зрение и обработка изображений для определения доступных парковочных мест по изображениям с камер парковки.

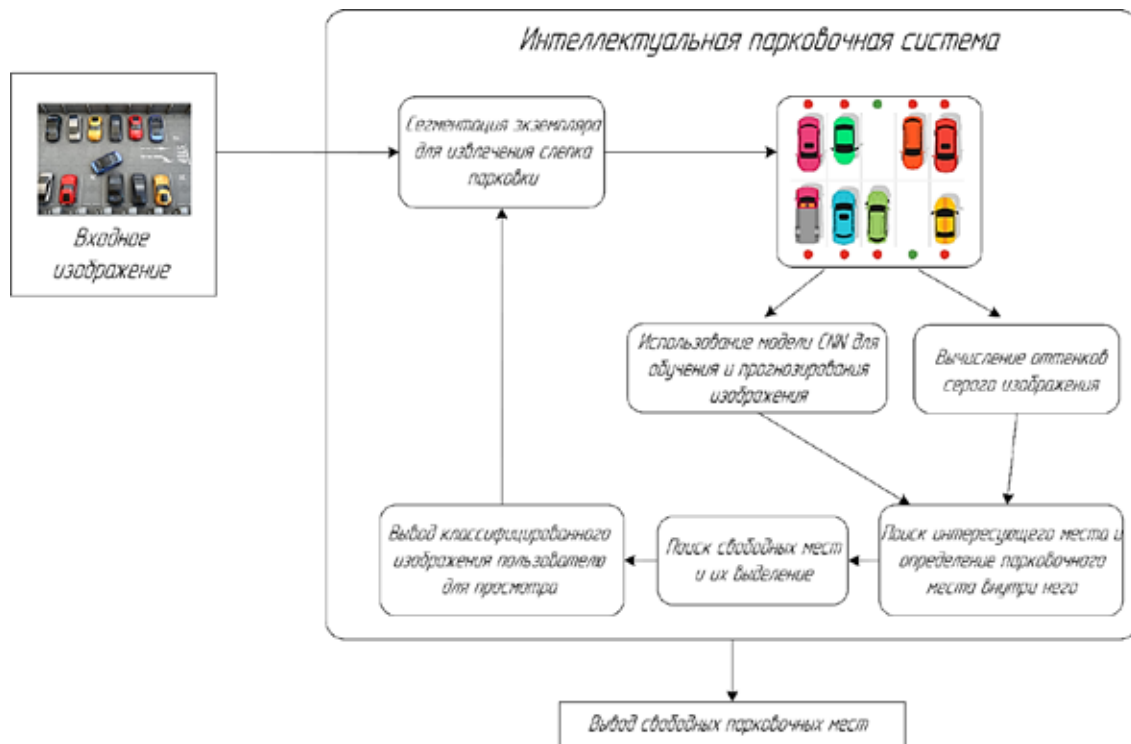


Рис. 3. Архитектура интеллектуальной парковочной системы на основе сверточной нейронной сети

Использование сверточных нейронных сетей для обнаружения свободных парковочных мест является отличным решением. Однако помимо решения, основанного на сверточных нейронных сетях, существуют и другие способы реализации интеллектуальной парковочной системы в городах [10].

Список литературы

1. LeBeau E.R., Contreras Albuja J.D., Altavilla M.D., Li S. Developing Future Smart Parking Solutions for Hangzhou's IoT Town. 2018. [Электронный ресурс]. URL: http://web.cs.wpi.edu/~rek/Projects/Smart_Cities_B18.pdf (дата обращения: 25.01.2022).
2. Ionita A., Pomp A., Cochez M., Meisen T., Decker S. Where to park? Predicting free parking spots in un-monitored city areas. Proceedings of the 8th International Conference on Web Intelligence, Mining and Semantics. Novi Sad, Serbia, 2018. P. 1–12. DOI: 10.1145/3227609.3227648.
3. Ruili J., Haocong W., Han W., O'Connell E., McGrath S. Smart parking system using image processing and artificial intelligence. Proceedings of the 2018 12th International Conference on Sensing Technology (ICST). Sydney, Australia, 2018. P. 232–235.
4. Kanteti D., Srikar D.V.S., Ramesh T.K. Intelligent smart parking algorithm. Proceedings of the 2017 International Conference on Smart Technologies for Smart Nation (SmartTech-Con). Bengaluru, India, 2017. P. 1018–1022.
5. Anagnostopoulos T., Fedchenkov P., Tsotsolas N., Ntalianis K., Zaslavsky A., Salmon I. Distributed modeling of smart parking system using LSTM with stochastic periodic predictions. Neural Computing & Applications. 2020. Vol. 32. No. 1. P. 10783–10796.
6. Бойков Д.Ю., Каунг М.С., Белов Ю.С. Использование сверточных нейронных сетей в задаче сегментации изображений. Colloquium-journal. 2019. № 10–1 (34). С. 54–58.
7. Белов Ю.С., Демин И.С. Особенности обработки спутниковых снимков для обучения сверточной нейронной сети // Наука, техника и образование. 2019. № 1 (23). С. 62–69.
8. Bai X.L.v., Wang J., Wenjie Z. Application of directional transmission data technology for transmission lines. Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1584. Article ID 012040.
9. Chong M., Habib A., Evangelopoulos N., Park H.W. Dynamic capabilities of a smart city: An innovative approach to discovering urban problems and solutions. Government Information Quarterly. Vol. 35. No. 4. P. 682–692.
10. Khan H., Luoto P., Samarakoon S., Bennis M., Latva-Aho M. Network slicing for vehicular communication. Transactions on Emerging Telecommunications Technologies. 2021. Vol. 32. No. 1. e3652. DOI: 10.1002/ETT.3652.

КОНСТРУКЦИИ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ МНОГОФАЗНЫХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ С ФАЗНО-ПОЛЮСНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Бразжников А.В., Савельев С.В., Куприянов Ф.М., Журавская А.В., Кузьмин А.Р.
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, e-mail: andrey-brazhnikov@mail.ru

Многофазные инверторные электроприводы переменного тока обладают большими регулировочными возможностями, чем их трехфазные аналоги, за счет того, что при числе фаз системы электропривода более четырех появляется возможность для реализации ряда специфических, нетрадиционных алгоритмов управления преобразователями частоты (т.е. таких алгоритмов, которые в принципе не могут быть реализованы при числе фаз, меньших пяти). Использование этих алгоритмов позволяет улучшить ряд технико-экономических показателей электроприводов переменного тока и значительно расширить область их применения. К числу таких нетрадиционных алгоритмов управления относится пропорционально-фазовое управление, разновидностью которого является фазно-полосное управление. Использование фазно-полосного управления (в сочетании с классическим способом частотного регулирования скорости электродвигателя) в системе многофазного электропривода позволяет в ряде случаев уменьшить массогабаритные показатели и себестоимость изготовления системы, а также повысить ее быстродействие и надежность. В статье приведено описание особенностей фазно-полосного управления многофазными (с числом фаз, равным шести и более) асинхронными электроприводами. Сущность пропорционально-фазового управления и его основное отличие от традиционных способов управления заключается в увеличении в целое число раз фазовых смещений между напряжениями (токами) соседних фаз статорной обмотки двигателя. При этом реализация фазно-полосного управления требует применения специфических конструкций многофазных асинхронных электродвигателей, описание которых представлено в статье.

Ключевые слова: многофазные электроприводы переменного тока, многофазные асинхронные электродвигатели, алгоритмы управления преобразователем частоты, пропорционально-фазовое управление, фазно-полосное управление

INDUCTION MOTOR DESIGNS FOR MULTI-PHASE PHASE-POLE CONTROLLED AC ELECTRIC DRIVES

Brazhnikov A.V., Savelev S.V., Kupriyanov F.M., Zhuravskaya A.V., Kuzmin A.R.
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: andrey-brazhnikov@mail.ru

Multi-phase AC inverter drives have greater adjustment capabilities than their three-phase counterparts, due to the fact that when the number of phases of the drive system is more than four, it becomes possible to implement a number of specific, non-traditional frequency converter control algorithms (i.e. such algorithms that in principle cannot be realized with the number of phases less than five). The use of these algorithms makes it possible to improve a number of technical and economic indicators of AC electric drives and significantly expand the scope of their application. Such non-traditional control algorithms include proportional-phase control, a variation of which is phase-pole control. The use of phase-pole control (in combination with the classical method of frequency control of the electric motor speed) in the system of a multi-phase electric drive makes it possible in some cases to reduce the weight and size indicators and the cost of manufacturing the system, as well as to increase its speed and reliability. This paper describes the features of the phase-pole control of multi-phase (with the number of phases equal to six or more) asynchronous electric drives. The essence of proportional-phase control and its main difference from traditional control methods is an increase in an integer number of times of phase displacements between voltages (currents) of adjacent phases of the motor stator winding. At the same time, the implementation of phase-pole control requires the use of specific designs of multi-phase asynchronous electric motors, the description of which is presented in this paper.

Keywords: multi-phase AC drives, multi-phase induction motors, frequency converter control algorithms, proportional-phase control, phase-pole control

Многофазные инверторные электроприводы переменного тока (ЭП) обладают большими регулировочными возможностями, чем их трехфазные аналоги, за счет того, что при числе фаз системы ЭП более четырех появляется возможность для реализации ряда нетрадиционных алгоритмов управления преобразователями частоты (т.е. алгоритмов, которые в принципе не могут быть реализованы при числе фаз, меньших пяти). Использование этих алгоритмов позволяет улучшить ряд технико-экономи-

ческих показателей ЭП и значительно расширить область их применения [1–3].

К числу таких нетрадиционных алгоритмов управления относится пропорционально-фазовое управление, разновидностью которого является фазно-полосное управление (ФПУ). Использование ФПУ (в сочетании с классическим способом частотного регулирования скорости электродвигателя) в системе многофазного ЭП позволяет в ряде случаев уменьшить массогабаритные показатели и себестоимость изготовления

системы, а также повысить ее быстродействие и надежность.

Целью данного исследования является изучение характеристик многофазного асинхронного двигателя (АД) в системе электропривода при использовании ФПУ и (на основе полученных результатов) разработка оптимальных конструкций АД, использование которых позволит применять ФПУ в системе ЭП с максимальной эффективностью.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования является многофазная система асинхронного ЭП с числом фаз шесть и более, в которой наряду с традиционным частотным управлением применяется ФПУ.

Методы исследования – математическое и цифровое моделирование установившихся электромагнитных процессов, происходящих в многофазном асинхронном ЭП с ФПУ. При этом результаты моделирования

сопоставляются с полученными ранее экспериментальными данными.

Результаты исследования и их обсуждение

Сущность ФПУ заключается в увеличении в некоторое целое число H_p раз фазовых смещений между напряжениями (токами) соседних фаз преобразователя частоты (ПЧ). Причем ФПУ может быть реализовано при строго определенных значениях числа m фаз ЭП. Множество значений параметра H_p , которые могут быть реализованы в системе, зависит от значения m .

Результаты проведенных исследований показали, что при переходе от традиционного управления (при котором $H_p = 1$) к ФПУ (при котором $H_p > 1$) наблюдается эффект, который можно отождествить с уменьшением в H_p раз числа фаз (m_n) и одновременным увеличением во столько же раз числа пар полюсов (p_n) в системе выходных напряжений (токов) ПЧ (рис. 1).

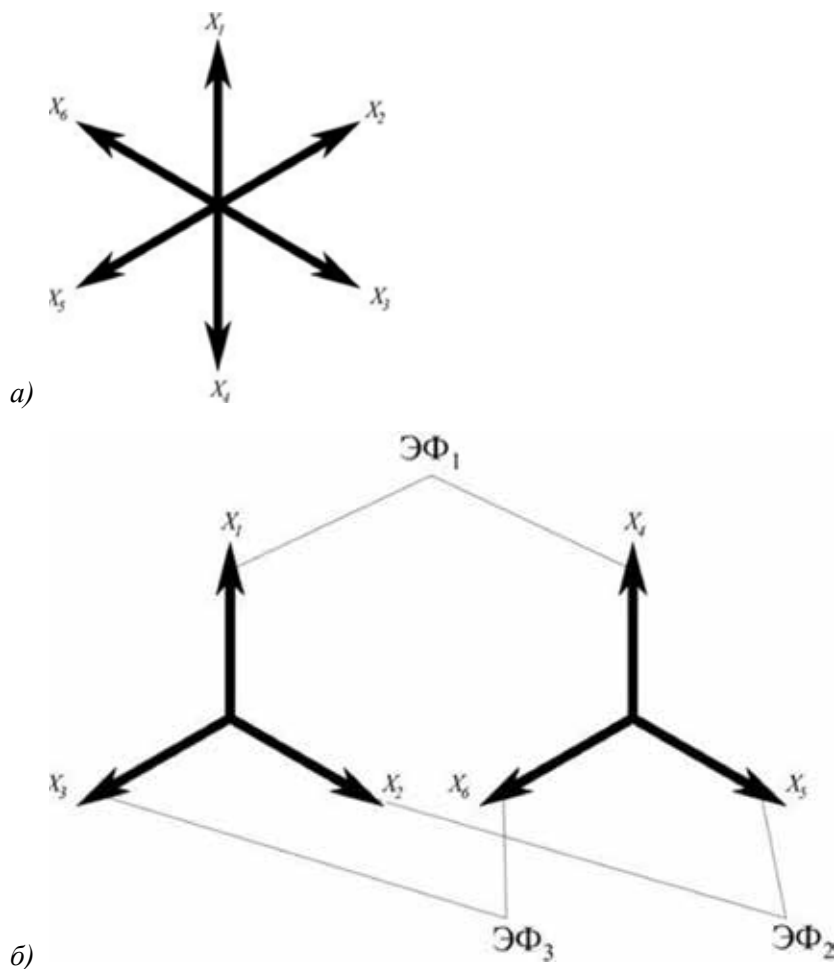


Рис. 1. Векторные диаграммы 6-фазной системы выходных напряжений (X_i) или токов ПЧ ($i \in [1; 6]$):
 а – $H_p = 1, m_n = 6, p_n = 1$; б – $H_p = 2; m_n = 3, p_n = 2$; ЭФ $_j$ – j -я эквивалентная фаза ПЧ; $j \in [1; 3]$

Здесь под числом p_n пар полюсов выходных напряжений (токов) ПЧ подразумевается количество идентичных подсистем, которые в совокупности представляют собой полную систему названных напряжений (токов) и в дальнейшем будут именоваться «полюсными подсистемами», а под числом m_n фаз указанной системы (т.е. под эквивалентным числом фаз ПЧ, рис. 1) – число фаз одной полюсной подсистемы выходных напряжений (токов) ПЧ.

Таким образом, использование ФПУ в многофазных ЭП дает потенциальную возможность для изменения эквивалентного числа пар полюсов двигателя и тем самым для варьирования параметров механической характеристики машины (таких как синхронная скорость вращения, критический и пусковой моменты и др.), а посредством этого (в конечном счете) – для обеспечения названных выше преимуществ многофазных систем с ФПУ.

Кроме того, результаты проведенных исследований показали, что реализация ФПУ во многих случаях требует специального исполнения многофазного АД. Это объясняется следующим.

Анализ уравнений математических моделей многофазных систем ПЧ-ЭД [4] показывает, что необходимым условием для обеспечения возможности применения ФПУ является следующее: спектры функций взаимных индуктивностей (т.е. функций, описывающих изменение взаимных индуктивностей между фазными обмотками двигателя при изменении угла поворота ротора машины) должны содержать гармоники, порядки n которых удовлетворяют равенству

$$n / p_k = H_p, (*)$$

где p_k – число пар полюсов обмоток ЭД; конструктивный, нерегулируемый (в отличие от H_p) параметр. Равенство (*) должно выполняться для всего множества $\{H_p\}$ значений параметра H_p , которые могут (при данном значении m) и должны быть обеспечены в данной системе ЭП.

При реализации ФПУ с нечетными значениями параметра H_p равенство (*) всегда выполняется, поскольку в спектрах функций взаимных индуктивностей ЭД всегда присутствуют гармоники, имеющие нечетные значения отношения (n / p_k) . Вследствие этого реализация вариантов ФПУ, при которых H_p принимает только нечетные значения (в определенной временной последовательности, заданной разработчиком системы ЭП или оператором), может быть осуществлена в многофазных системах ЭП при традиционном (классическом) исполнении как ЭД, так и ПЧ.

При четных значениях параметра H_p равенство (*) выполняется только в том случае, если фазные обмотки ЭД имеют укороченный шаг.

Проведенные исследования показали, что во многих случаях является целесообразной (с точки зрения регулировочных и ряда других характеристик ЭП) реализация таких вариантов ФПУ, в которых совместно используются как четные, так и нечетные значения параметра H_p (в определенной заданной временной последовательности). Реализация таких вариантов ФПУ требует исполнения ПЧ и (или) ЭД с некоторыми особенностями.

Принципиально возможные варианты исполнения ПЧ и ЭД, при которых возможна комплексная реализация как нечетных, так и четных значений параметра H_p , можно разделить на две группы (по характерным особенностям, свойственным названным вариантам, таблица).

Для первой группы вариантов характерно то, что в спектрах функций взаимных индуктивностей ЭД в этом случае присутствуют гармоники порядков, удовлетворяющих равенству (*) для всего множества значений параметра H_p , которые могут и должны быть реализованы в данной многофазной системе ЭП. В первую группу входят два варианта – варианты 1.1 и 1.2. По варианту 1.1 фазные обмотки ЭД выполняются с укороченным шагом (о возможности использования такого варианта упоминалось выше). Объединенная обмотка статора по варианту 1.2 фактически представляет собой две или более обмоток, имеющих разные значения числа пар полюсов и соединенных последовательно или параллельно. Недостатком обоих вариантов первой группы является низкий КПД системы ЭП вследствие значительных потерь мощность в ЭД.

Для второй группы, охватывающей варианты 2.1 и 2.2, характерно следующее. В обмотках классического типа каждый виток укладывается в два паза, в результате чего направления токов, протекающих по этим пазам, жестко связаны между собой. В вариантах 2.1 и 2.2 эти связи отсутствуют (для варианта 2.1 это становится очевидным, если рассматривать не реальные, а эквивалентные фазы обмотки ЭД). При этом, изменяя направление токов в проводниках, расположенных в разных пазах статора (или ротора) ЭД, можно добиться такого изменения конфигурации магнитного поля в воздушном зазоре машины, которое возможно в ЭД классической конструкции лишь при изменении числа пар полюсов, числа фаз или шага обмотки (без изменения числа фаз и числа пар полюсов ЭД).

Варианты исполнения ПЧ и ЭД для систем ЭП с ФПУ

Группы вариантов	Варианты	Краткая характеристика основных отличительных особенностей вариантов
1	1.1	Фазные обмотки ЭД выполняются с укороченным шагом
	1.2	Обмотка статора представляет собой две или более обмоток, имеющих разные значения числа пар полюсов и соединенных последовательно или параллельно
2	2.1	Обмотка статора ЭД – тороидальная. Ротор охватывает статор как снаружи, так и изнутри
	2.2	Обмотка статора ЭД – стержневая

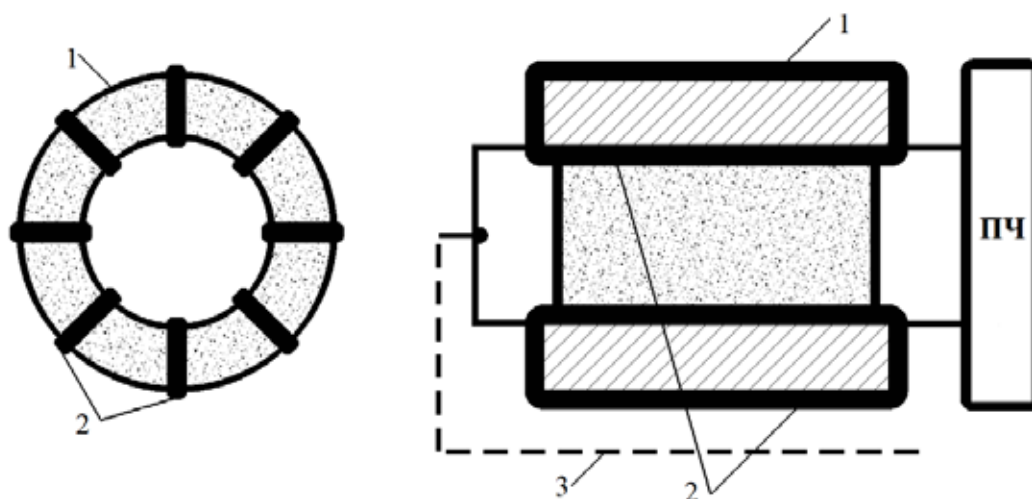


Рис. 2. 8-фазная статорная обмотка и схема ее подключения к ПЧ для ЭД, выполненного по варианту 2.1: 1 – магнитопровод статора; 2 – фазные обмотки статора; 3 – нулевой провод

Таким образом, в ЭД, выполненным по вариантам 2.1 и 2.2, имеется возможность для изменения числа эквивалентных фаз, числа эквивалентных пар полюсов, а также эквивалентного шага фазных обмоток, т.е. такие ЭД (как объекты регулирования) обладают большим количеством степеней свободы, чем машины классического типа. Причем с ростом числа реальных фаз ЭД (и, соответственно, ПЧ) число этих степеней свободы увеличивается.

В тороидальной обмотке по варианту 2.1 (рис. 2) каждая ее фаза укладывается в два паза: один – на внутренней, а другой – на внешней стороне статора (который может иметь или не иметь посередине, внутри своего массива кольцевой воздушный зазор в аксиальном направлении). Ротор охватывает статор как снаружи, так и изнутри. При такой конструкции суммарная длина лобовых частей обмоток ЭД может быть значительно уменьшена по сравнению с машинами классического типа, что является еще одним преимуществом данного вариан-

та помимо отмеченного выше. Недостатком такого варианта ЭД является повышенный момент инерции ротора.

Стержневая обмотка статора ЭД по варианту 2.2 (рис. 3) выполняется так же, как и обмотка ротора асинхронного двигателя типа «беличья клетка», но в отличие от последней в стержневых статорных обмотках отсутствуют короткозамыкающие кольца (по крайней мере на одном торце статора), и каждый стержень такой обмотки подключается к отдельной фазе ПЧ (т.е. число стержней обмотки определяет число фаз ПЧ). Дополнительным преимуществом ЭД, изготовленных по варианту 2.2, является их высокая технологичность. Особенностью машин, выполненных в соответствии с этим вариантом, являются большие фазные токи ЭД при малых значениях фазных напряжений (по сравнению с ЭД той же мощности, имеющими обмотки классических типов).

При этом преобразователь частоты может быть построен следующим образом.

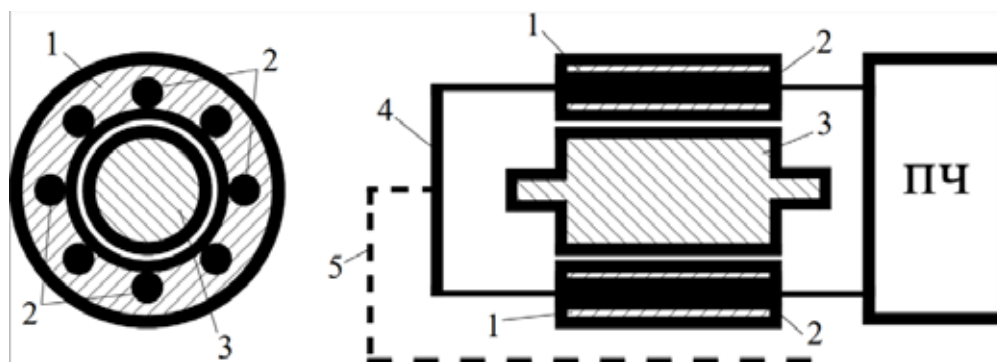


Рис. 3. 8-фазная статорная обмотка и схема ее подключения к ПЧ для ЭД, выполненного по варианту 2.2; 1 – магнитопровод статора; 2 – стержни статорной обмотки; 3 – ротор; 4 – короткозамыкающее кольцо; 5 – нулевой провод

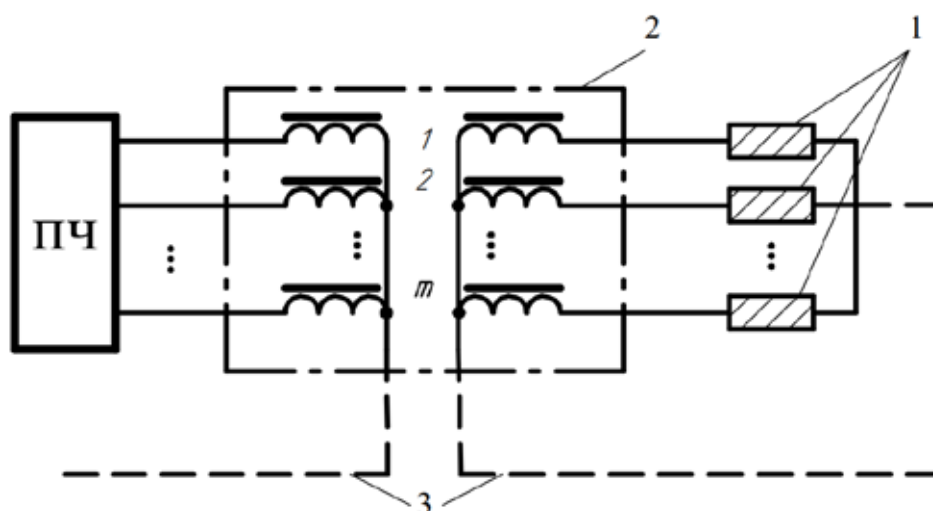


Рис. 4. Подключение статорной обмотки ЭД, выполненного по варианту 2.2.2, к ПЧ: 1 – стержни статорной обмотки; 2 – m -фазный понижающий трансформатор; 3 – нулевой провод

Вариант 2.2.1. ПЧ рассчитан на получение больших токов при малых напряжениях (по сравнению со случаем, когда ЭД имеет обмотку классического типа) без трансформации выходного напряжения преобразователя. Недостатками этого варианта (на сегодняшний день) являются большие массогабаритные показатели ПЧ и пониженный КПД системы ЭП вследствие больших потерь мощности на вентилях элементов ПЧ.

Вариант 2.2.2. (рис. 4). ПЧ выполняется по обычному принципу (т.е. рассчитан на «нормальные» выходные токи и напряжения), а на выходе ПЧ устанавливается понижающий трансформатор, число фаз которого равно числу фаз ПЧ, т.е. числу стержней обмотки статора. Недостатком этого варианта является необходимость ис-

пользования выходного трансформатора, что может привести к ухудшению некоторых технико-экономических показателей системы ЭП (в частности, ее массогабаритных показателей).

Заключение

По результатам данной работы можно сделать следующие выводы. Проведенный сравнительный анализ всех перечисленных выше вариантов изготовления ПЧ и ЭД, предназначенных для использования в системах ЭП с ФПУ (когда параметр H_p может принимать четные значения), показывает, что варианты второй группы обладают наибольшими перспективами применения в данной области [5–7]. На сегодняшний день наибольшими преимуществами среди вариантов этой группы обладают вариан-

ты 2.1 и 2.2.2. Но непрерывное совершенствование преобразовательной техники (и в частности – силовой) в течение последних десятилетий позволяет обоснованно предположить, что с течением времени на первое место по перспективности применения может выйти вариант 2.2.1 (или по крайней мере вытеснить вариант 2.2.2).

Список литературы

1. Бражников А.В., Кочетков В.П. Многофазный частотно-управляемый электропривод по системе АИН-АД // Регулируемые электрически машины «ЕЛМА'90»: материалы 6-й Международной научно-технической конференции (Варна, Болгария, 5–6 октября 1990 г.). Рукопись депонирована в ЦИНТИ, г. София, Болгария. № ЕЛ-22-164/20.12.1990 ФНТД, рукопись № 12. 1990. 10 с.
2. Berardi G., Bianchi N. Design Guideline of an AC Hairpin Winding, Proceedings of the 13th International Conference on Electrical Machines "ICEM '2018". Alexandroupoli, Greece, September 03–06, 2018. P. 2444-2450. DOI: 10.1109/ICELMACH.2018.8506785.
3. Bianchi N., Berardi G. Analytical Approach to Design Hairpin Windings in High Performance Electric Vehicle Motors. Proceedings of the 10th Annual IEEE Energy Conversion Congress and Exposition "ECCE '2018", Portland, OR, U.S.A., 2018. P. 4398–4405. DOI: 10.1109/ECCE.2018.8558383.
4. Бражников А.В. Многофазный инверторный электропривод с различным исполнением ротора асинхронного двигателя: дис... канд. техн. наук. № ГР 01830052658. Красноярск: Красноярский политехнический институт, 1985. 210 с.
5. Tenconi A., Vaschetto S., Vighiani A. Electrical Machines for Highspeed Applications: Design Considerations and Tradeoffs. IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2014. Vol. 61. No. 6. P. 3022–3029. DOI: 10.1109/TIE.2013.2276769.
6. Duran M.J., Barrero F. Recent Advances in the Design Modeling and Control of Multi-phase Machines – Part II. IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2016. Vol. 63. No. 1. P. 459–468. DOI: 10.1109/TIE.2015.2448211.
7. Neapolitan R.E., Nam K.H. AC Motor Control and Electrical Vehicle Applications, 2nd Edition. CRC Press, Boca Raton, FL, U.S.A. 2018. 574 p. DOI: 10.1201/9781315200149.

УДК 621.315.55:537.632.3

АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЕМКОСТИ НЕОДНОРОДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

¹Глущенко А.А., ²Глущенко А.Г., ²Глущенко В.А., ¹Глущенко Е.П.

¹ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени С.П. Королёва»,
Самара, e-mail: gag646@yandex.ru;

²ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»,
Самара, e-mail: gag646@yandex.ru

Развитие микроэлектроники и наноэлектроники определяет необходимость совершенствования и создания новой элементной базы микроустройств и устройств наноэлектроники в интегральном исполнении. Постоянная тенденция уменьшения геометрических размеров функциональных элементов в интегральном исполнении поставила задачу создания новых конфигураций электронных элементов с более совершенными параметрами. Рассматриваются особенности расчета емкости различных планарных конфигураций полосок проводников на диэлектрических подложках с различными типами неоднородностей на основе метода расчета плоского конденсатора. В общем случае емкость рассчитывается численными методами. Известные методы аналитического расчета ограничены случаем однородной структуры. Это не позволяет аналитически оценивать разброс параметров интегральных схем за счет разброса параметров при их изготовлении и затрудняет выработку требований на точность изготовления и разброс параметров. Путем введения понятия дифференциальной емкости элемента проведено обобщение и получены аналитические соотношения для расчета емкости конденсаторов и паразитных емкостей различных элементов конструкций интегральных схем с учетом неоднородности параметров диэлектрика и расстояния между обкладками конденсатора. Получены аналитические соотношения для расчета емкости ряда конструкций, представляющих практический интерес: сферой и с конусом в качестве одной из обкладок конденсатора. Полученные результаты могут быть использованы для разработки допусков на разброс параметров используемых материалов и необходимой точности их изготовления.

Ключевые слова: расчет емкости, неоднородность параметров, полосковые элементы

ANALYTICAL CALCULATION OF THE CAPACITANCE OF INHOMOGENEOUS ELEMENTS

¹Gluschenko A.A., ²Gluschenko A.G., ²Gluschenko V.A., ¹Gluschenko E.P.

¹Samara National Research University named after S.P. Korolev, Samara, e-mail: gag646@yandex.ru;

²Volga State University of Telecommunications and Informatics, Samara, e-mail: gag646@yandex.ru

The development of microelectronics and nanoelectronics determines the need to improve and create a new elemental base of microdevices and nanoelectronic devices in an integrated design. The constant tendency to reduce the geometric dimensions of functional elements in the integrated design has set the task of creating new configurations of electronic elements with more advanced parameters. The features of calculating the capacitance of various planar configurations of strips of conductors on dielectric substrates with various types of inhomogeneities are considered based on the method of calculating a flat capacitor. In the general case, the capacitance is calculated by numerical methods. Known methods of analytical calculation are limited to the case of a homogeneous structure. This does not allow one to analytically evaluate the spread of parameters of integrated circuits due to the spread of parameters during their manufacture and makes it difficult to develop requirements for manufacturing accuracy and parameter spread. By introducing the concept of differential capacitance of an element, a generalization was carried out and analytical relationships were obtained for calculating the capacitance of capacitors and parasitic capacitances of various elements of integrated circuit structures, taking into account the inhomogeneity of the dielectric parameters and the distance between the capacitor plates. Analytical relations are obtained for calculating the capacitance of a number of structures of practical interest: a sphere and with a cone as one of the capacitor plates. The results obtained can be used to develop tolerances for the spread of the parameters of the materials used and the required accuracy of their manufacture.

Keywords: quasi-flat capacitance, inhomogeneous of parameters

Конденсаторы являются одним из неотъемлемых элементов схем электроники. Основным параметром конденсаторов является электрическая ёмкость, величина которой зависит от его конфигурации: площади пластин, расстояния между пластинами и диэлектрической проницаемости среды, заполняющей внутреннюю полость конденсатора [1, 2]. Расчет простой модели плоского конденсатора с однородными

параметрами и однородным заполнением диэлектриком проводится по хорошо известным соотношениям [3]. Более сложные конфигурации исследуются численно [4, 5]. Вместе с тем на практике однородность структуры может быть сравнительно хорошо обеспечена только в схемах макроскопических устройств. Поэтому при разработке устройств микроэлектроники и тем более устройств наноэлектроники

неоднородность параметров в конструкции конденсатора представляет также самостоятельный интерес из-за возникающих дополнительных возможностей в управлении параметрами конденсатора. Кроме того, часто любой элемент схемы обладает емкостью, которая рассматривается как паразитная, расчет которой необходим для разработки рекомендаций по методам снижения паразитной емкости конструктивных элементов различных схем электроники. Использование технологии изготовления планарных элементов интегральных микросхем породило фундаментальную проблему развития аналитических методов расчета параметров интегральных схем различных частотных диапазонов. В общем случае используются численные методы [5]. Возможности расчета емкостей неоднородных структур рассматривались в [6]. В данной работе проведено обобщение формул для расчета емкости конденсаторов с различными неоднородностями конструкции (толщины слоя между пластинами конденсатора и неоднородности параметров диэлектрического заполнения полости конденсатора). Для большого числа функциональных зависимостей конфигураций $d(x)$ и $\varepsilon(x)$ получены аналитические соотношения для расчета ёмкости.

Цель исследования – вывод аналитических соотношений для расчета емкости неплоского конденсатора, формируемого конфигурацией двух проводников произвольной конфигурации и в общем случае с неоднородным заполнением диэлектриком.

Материалы и методы исследования

Для расчета емкости (рис. 1, а) используется формула для плоского элемента емкости площадью dS , для которого можно считать заполнение однородным с постоянной толщиной в области элемента dS :

$$dC = \varepsilon_0 \varepsilon(S) \frac{dS}{d(S)}$$

В случае «квазиплоского» конденсатора расчет емкости конденсатора может быть проведен путем расчета выражения

$$C = \varepsilon_0 \int_S \varepsilon(S) \frac{dS}{d(S)} \tag{1}$$

где в области площади dS конденсатор может считаться плоским с расстоянием между пластинами $d(S)$ и диэлектрической проницаемостью $\varepsilon(S)$, зависящими от положения точки на поверхности S .

В частности, в декартовой системе координат формула для расчета емкости (рис. 1, а) принимает вид

$$C = \varepsilon_0 \iint \varepsilon(x, y) \frac{dxdy}{d(x, y)} \tag{2}$$

В цилиндрической системе, которой ось Oz перпендикулярна плоскости токопроводящих полосок

$$C = \varepsilon_0 \int_S \varepsilon(r, \varphi) \frac{dS}{d(r, \varphi)} = \varepsilon_0 \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \int_{r_1}^{r_2} \varepsilon(r, \varphi) \frac{rdrd\varphi}{d(r, \varphi)} \tag{3}$$

Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотрим некоторые простейшие конфигурации, для которых можно получить аналитическое решение, представляющие практический интерес.

1. В частном случае для круглой обкладки полоскового конденсатора (в виде кольца или шайбы, рис. 1, б) с однородными параметрами диэлектрика и однородной толщиной из (3) имеем известное соотношение

$$C = \varepsilon_0 \int_0^R \int_0^{2\pi} \varepsilon \frac{rdrd\varphi}{d} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon \cdot \pi R^2}{d} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon \cdot S}{d},$$

где ε_0 – диэлектрическая постоянная вакуума, ε – диэлектрическая проницаемость среды, заполняющей полость конденсатора (подложки), S – площадь пластин конденсатора, d – расстояние между пластинами [1–3].

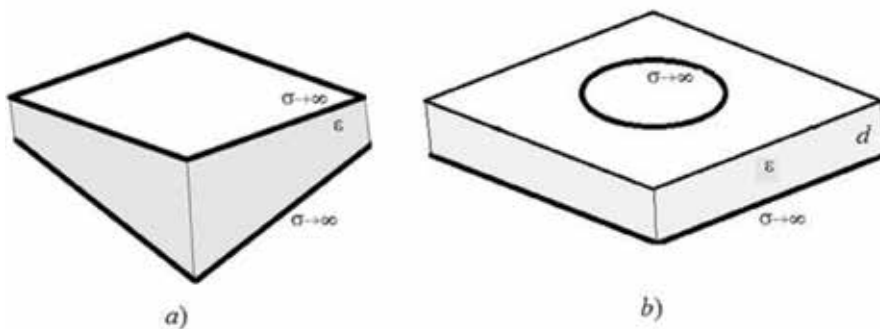


Рис. 1. Плоский конденсатор (а – с неоднородной толщиной, б – круглый)

Рассмотрим тонкую полосу токопроводящего элемента в виде кольца шириной $r = r_1 - r_2$, нанесенного на слой металлизированного с другой поверхности диэлектрика. Толщина подложки диэлектрика d .

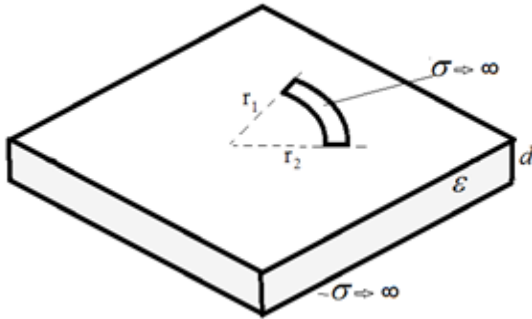


Рис. 2. Плоский конденсатор в виде сегмента кольца

Если неоднородность диэлектрической проницаемости описывается функцией $\varepsilon(x) = \varepsilon_m / x$, то емкость определяется формулой:

$$C = \varepsilon_0 \int_{r_1}^{r_2} \int_0^{2\pi} \varepsilon(r) \frac{r dr d\varphi}{d} = \varepsilon_0 \int_{r_1}^{r_2} \int_0^{2\pi} \frac{\varepsilon_m}{r} \frac{r dr d\varphi}{d} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_m \cdot 2\pi (r_2 - r_1)}{d}.$$

Аналитические соотношения могут быть получены и для других функций распределения диэлектрической проницаемости.

Емкость части кольца с углом сектора, например $\varphi = \pi / 4$ и полоской проводника радиусами: внешним r_2 и внутренним r_1 с однородной подложкой диэлектрика (рис. 2) равна

$$C = \varepsilon_0 \int_{r_1}^{r_2} \int_0^{\pi/4} \varepsilon \frac{r dr d\varphi}{d} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon \cdot \pi (r_2^2 - r_1^2)}{8d}.$$

2. Для описания зависимости ёмкости конденсатора от изменения расстояния между пластинами d необходимо использовать общее выражение (1). Рассмотрим конденсатор с прямоугольными пластинами, у которого вдоль осей Ox и Oy периодически меняется расстояние между пластинами $d = d(1 + \alpha \sin \beta x)(1 + \eta \sin \gamma y)$.

Тогда емкость может быть найдена из выражения (2):

$$C = \varepsilon_0 \int_0^a \int_0^b \varepsilon(x, y) \frac{dx dy}{d_0 (1 + \alpha \sin \beta x)(1 + \eta \sin \gamma y)}.$$

В частном случае однородного диэлектрика имеем соотношение

$$C = \frac{4\varepsilon_0 \varepsilon}{d_0 \beta \eta \sqrt{1 - \alpha^2} \sqrt{1 - \gamma^2}} \left[\tan^{-1} \left(\frac{\alpha + \tan \frac{\beta a}{2}}{\sqrt{1 - \alpha^2}} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{\alpha}{\sqrt{1 - \alpha^2}} \right) \right] \times \left[\tan^{-1} \left(\frac{\eta + \tan \frac{\beta b}{2}}{\sqrt{1 - \eta^2}} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{\eta}{\sqrt{1 - \eta^2}} \right) \right]$$

3. Для случая проводящей сферы радиусом R , расположенной на расстоянии d_0 от токопроводящей поверхности, расстояние между токопроводящими поверхностями при удалении от центра меняется по закону $d = d_0 + R - \sqrt{R^2 - r^2}$ (рис. 3, а).

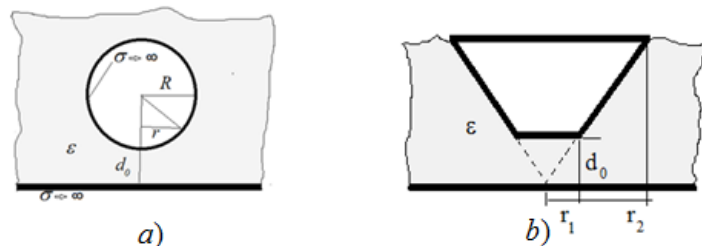


Рис. 3. Конденсатор со сферической (а) и конической (б) обкладками

Тогда из (3)

$$C = \varepsilon_0 \int_0^R \int_0^{2\pi} \varepsilon \frac{rdrd\varphi}{d_0 + R - \sqrt{R^2 - r^2}}.$$

Или, вводя обозначение $x = r / R$, $a = \frac{d_0}{R} + 1$, имеем

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon \cdot 2\pi \int_0^1 \frac{xdx}{a - \sqrt{1-x^2}} = \varepsilon_0 \varepsilon \cdot 2\pi \left[a \lg(a - \sqrt{1-x^2}) + \sqrt{1-x^2} + C \right]_0^1 = \varepsilon_0 \varepsilon \cdot 2\pi \left[a \lg \frac{a}{a-1} - 1 \right].$$

Таким образом,

$$C = 2\pi\varepsilon_0\varepsilon \left[\left(\frac{d_0}{R} + 1 \right) \lg \left(\frac{R}{d_0} + 1 \right) - 1 \right].$$

4. Для случая конусообразной обкладки пластины конденсатора (рис. 3, б) с расстоянием между обкладками, меняющимся по закону $d(r) = d_0 + ar$ емкость определяется соотношением

$$\begin{aligned} C &= \varepsilon_0 \int_{r_1}^{r_2} \int_0^{2\pi} \varepsilon(r) \frac{rdrd\varphi}{d} = \varepsilon_0 \varepsilon \int_{r_1}^{r_2} \int_0^{2\pi} \frac{rdrd\varphi}{d_0 + \alpha r} = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon \cdot (\alpha r - d_0 \log(d_0 + \alpha r))}{\alpha^2} \Bigg|_{r_1}^{r_2} = \\ &= \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon \cdot \left[\alpha(r_2 - r_1) - d_0 \log \frac{d_0 + \alpha r_2}{d_0 + \alpha r_1} \right]}{\alpha^2} \end{aligned}$$

В частности, при $r_1 = 0$

$$C = \varepsilon_0 \int_0^{r_2} \int_0^{2\pi} \varepsilon(r) \frac{rdrd\varphi}{d} = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon \cdot \left[\alpha R - d_0 \log \frac{d_0 + \alpha R}{d_0} \right]}{\alpha^2} = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon \cdot C_n}{\alpha^2},$$

где R – радиус конуса.

На рис. 4 показана зависимость нормированной емкости от величины конусности αR при различных d_0 .

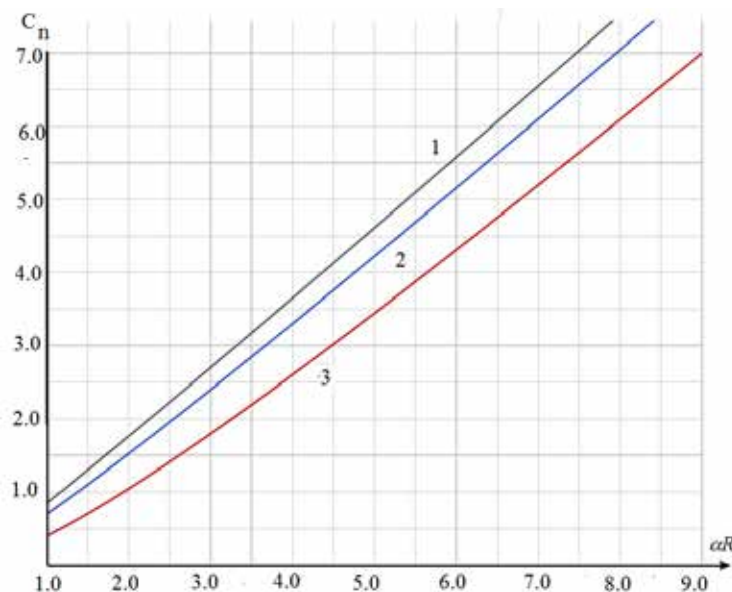


Рис. 4. Зависимость емкости параметра конусообразности (1 - $d_0 = 0.5$, 2 - $d_0 = 1$, 3 - $d_0 = 2$)

5. Если расстояние между обкладками пластин конденсатора меняется по закону $d(r) = d_0 + \beta r^2$, емкость определяется соотношением

$$C = \varepsilon_0 \int_{r_1}^{r_2} \int_0^{2\pi} \varepsilon(r) \frac{r dr d\varphi}{d} = \varepsilon_0 \varepsilon \int_{r_1}^{r_2} \int_0^{2\pi} \frac{r dr d\varphi}{d_0 + \beta r^2} = \frac{2\pi \varepsilon_0 \varepsilon \cdot (\log(d_0 + \beta r^2))}{2\beta} \Big|_{r_1}^{r_2}$$

$$C = \pi \varepsilon_0 \varepsilon \beta^{-1} \cdot \log \frac{d_0 + \beta r_2^2}{d_0 + \beta r_1^2}$$

На рис. 5 показана зависимость нормированной емкости от коэффициента нелинейности функции расстояния между обкладками конденсатора.

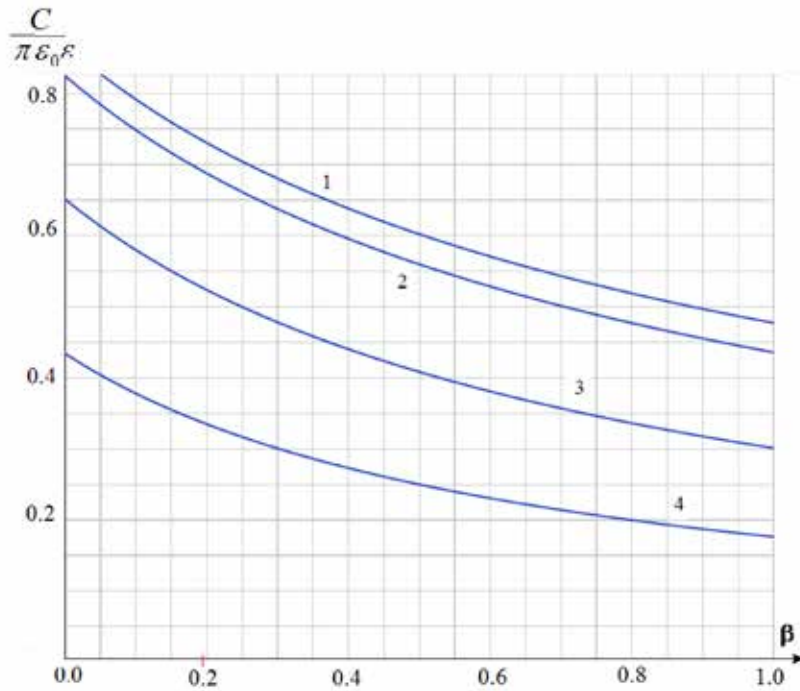


Рис. 5. Зависимость емкости от конструктивного параметра β
(1 – $r_1/r_2 = 0$, 2 – $r_1/r_2 = 0.05$, 3 – $r_1/r_2 = 0.25$, 4 – $r_1/r_2 = 0.5$)

Таким образом, видно, что неоднородности конструкций конденсаторов приводят к изменению емкости в больших пределах и могут эффективно использоваться для управления параметрами конденсаторов.

Заключение

Получены аналитические решения задачи расчета емкости планарных конденсаторов на интегральных схемах с неоднородным распределением расстояния между пластинами и с неоднородным распределением диэлектрической проницаемости. Установлено, что неоднородности в структуре конденсатора могут быть использованы для управления параметрами конденсатора.

Список литературы

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Т. 2. СПб.: Лань, 2021. 500 с.
2. Nasruddin M., Manaf^o and Kuwat Triyana M. and K. Analytical solutions for capacitance of a semi-cylindrical capacitive sensor. AIP. 2016. 1755. 020002. DOI: 10.1063/1.4958467.
3. Lang A., Monkman G.J. An analysis of the electrical capacitance between two conducting spheres. Journal of Electrostatics. 2020. Vol. 108. 103518. DOI: 10.1016/J.ELSTAT.2020.103518.
4. Чучева Г.В., Афанасьев М.С., Анисимов И.А., Георгиева А.И., Левашов С.А. Определение параметров планарных конденсаторов на основе тонкопленочных сегнетоэлектрических материалов // Известия Саратовского университета. 2012. Т. 12. Серия: Физика. Вып. 2. С. 8–11.
5. Кечиев Л.Н. Справочник по расчету емкости, индуктивности и волнового электрического сопротивления в электронной аппаратуре. Инженерное пособие. М.: Грифон, 2021. 280 с.
6. Иванова Д.А., Иванова М.А. Исследование зависимости емкости неоднородного конденсатора от его формы: материалы XI Международной студенческой научной конференции. «Студенческий научный форум». URL: <https://scienceforum.ru/2019/article/2018010567> (дата обращения: 25.01.2022).

УДК 519.6

АВТОМАТИЗАЦИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ, ОПИСЫВАЕМЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМИ УРАВНЕНИЯМИ ВТОРОГО ПОРЯДКА

Ильичев В.Ю., Назаров Е.С.

*Калужский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»,
Калуга, e-mail: patrol8@yandex.ru*

При решении задач практически во всех отраслях науки и техники используются дифференциальные уравнения второго порядка. Как правило, они описывают изменение функции с течением времени или по какой-либо оси координат. Специализированные математические программы дают возможность решать такие уравнения, однако не во всех случаях. Кроме того, данные программные продукты дороги и отличаются низкой скоростью работы. К настоящему времени всё большей популярностью пользуются универсальные языки программирования, свободно распространяемые в сети Интернет, для которых существует огромное количество библиотек функций, позволяющих решать различные задачи. Среди таких языков программирования наиболее известен Python, для которого есть подключаемые модули, с помощью которых можно расширить функциональность данного языка для решения проблем практически любого типа численными методами. Кроме перечисленных достоинств, по языку Python существует большое количество документации, а также форумов, на которых можно найти ответ на возникающие у программистов вопросы. В качестве основной библиотеки для научных задач, в том числе решения дифференциальных уравнений, часто используется модуль Scipy, выбранный и для данной работы. В качестве дополнительных используются модуль создания и заполнения массивов Numpy и библиотека вывода результатов расчётов в виде качественных графиков Matplotlib. В результате исследований созданы методика, алгоритм и код программы, позволяющие решать практически любые дифференциальные уравнения второго порядка. Описаны результаты апробации данной методики на примере решения дифференциального уравнения Шредингера для волновой функции частицы (электрона), находящейся в прямоугольной потенциальной яме. Также рассчитана полная энергия электрона на разных энергетических уровнях. В конце работы приведены рекомендации по дальнейшему использованию созданной методики и программы, а также в целом по применению функций языка Python.

Ключевые слова: дифференциальное уравнение, уравнение Шредингера, потенциальная яма, язык Python, библиотека Scipy, модуль Numpy, модуль Matplotlib

AUTOMATION OF SOLVING PROBLEMS DESCRIBED BY DIFFERENTIAL EQUATIONS OF SECOND ORDER

Ilichev V.Yu., Nazarov E.S.

Kaluga branch of Bauman Moscow State Technical University, Kaluga, e-mail: patrol8@yandex.ru

In solving problems, differential equations of second order are used in almost all branches of science and technology. They describe change in function over time or along coordinate axis. Specialized mathematical programs make possible to solve such equations, but not in all cases. These software products are expensive and are characterized by low speed. To date, universal programming languages are increasingly popular, freely distributed on Internet, for which there are huge number of function libraries that allow to solve various problems. Among such programming languages, Python is best known, for which there are plugins with which you can expand functionality of this language to solve problems of almost any type by numerical methods. In addition to these advantages, Python has large documentation and forums where you can find answers to questions. As main library for scientific problems, Scipy module, chosen for this work, is used. As additional, module for creating and filling arrays Numpy and library for displaying calculation results in form of quality graphs Matplotlib are used. As result of research, technique, algorithm and program code were created that allows to solve almost any differential equations of second order. Results of this technique are described on example of solution of Schrödinger differential equation for wave function of particle (electron) located in rectangular potential pit. Total energy of electron at different energy levels is calculated. At the end of work, recommendations are made on further use of methodology and program and of use Python language functions in general.

Keywords: differential equation, Schrödinger equation, potential pit, Python language, Scipy library, Numpy module, Matplotlib module

Дифференциальные уравнения второго порядка [1] используются для описания множества физических, технических, биологических, химических, социологических, экономических и прочих видов процессов, явлений или характеристик систем, например движения объектов под действием внешних сил [2], изменения параметров электрических величин, динамики сгорания газообразного топлива, изменения чис-

ленности популяций или энергии микро-частиц. Представление функции процесса или системы в виде дифференциального уравнения означает, что она изменяется в зависимости от изменения какого-либо параметра или нескольких параметров (чаще всего времени и координат).

Основным из типов решения таких дифференциальных уравнений является так называемая задача Коши [3], состоящая

в нахождении основной функции путём интегрирования при некотором заданном наборе начальных условий (чаще всего в момент времени $t = 0$). Также, как правило, на значения искомой функции накладываются некоторые ограничения по границам рассматриваемой области её определения (задаются так называемые граничные условия) [4].

Самые простые из дифференциальных уравнений второго порядка позволяют найти решение точными математическими методами, однако далеко не все. К счастью, к настоящему времени разработано множество программных продуктов, позволяющих решать такие задачи численными методами, при этом не вдаваясь в подробности функционирования данных методов. Наиболее известными программами, позволяющими решать дифференциальные уравнения, являются MathCAD [5] и MatLab [6], однако они отличаются высокой стоимостью лицензий, а также малым быстродействием.

Альтернативным (и всё более популярным) путём решения дифференциальных уравнений является применение специальных научных библиотек для различных языков программирования, в частности для широко известного свободно распространяемого высокоуровневого языка программирования Python [7]. Данный язык отличается от прочих вычислительных средств простотой освоения и постоянным развитием, появлением всё более совершенных версий библиотек математических функций.

Целью описываемого исследования является разработка методики численного решения дифференциальных уравнений второго порядка, создание на её основе алгоритма и кода программы на языке программирования Python. Результаты решения должны выводиться в наглядной графической форме. Для реализации всех описанных функций программы необходимо использовать специально подобранные для этого библиотеки функций (модули) Python. Далее, написанный код программы необходимо апробировать с помощью рассмотрения конкретного физического явления, описываемого дифференциальным уравнением второго порядка.

В качестве такого явления выбрано изучение одной из задач квантовой механики – движения элементарной частицы, находящейся в так называемой одномерной прямоугольной потенциальной яме [8], имеющей бесконечную глубину (с бесконечно высокими непроницаемыми стенками) (рис. 1).

При движении частицы вдоль оси x в области $x = 0 \dots a$ потенциальная энергия частицы $U(x)$ равна нулю, а при $x < 0$ и $x > a$ энергия $U(x) = \infty$.

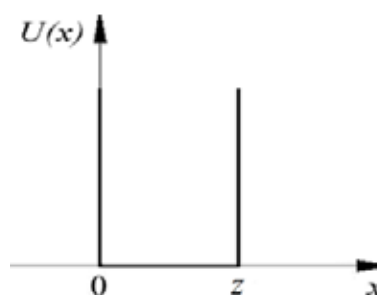


Рис. 1. Прямоугольная потенциальная яма

В результате необходимо получить и изучить так называемую волновую функцию [9] частицы, описывающую чистое состояние (положение) частицы, путём построения графиков волновых функций на разных энергетических уровнях [10]. По графикам можно узнать частоты колебаний частицы (например, электрона) на различных энергетических уровнях. После этого, найдя квадрат значения волновой функции, получим графики, характеризующие плотность вероятности нахождения частицы в точке с заданными координатами в данный момент времени для каждого энергетического уровня.

В ходе решения задачи предполагается также найти полную энергию частицы на разных энергетических уровнях (которая постоянна в пределах $x = 0 \dots a$) и построить графики значений этой энергии. При этом можно выявить особенности движения частицы в прямоугольной потенциальной яме, такие, например, как квантование энергии, вырождение энергетических уровней и т.д.

Материалы и методы исследования

Таким образом, конечным материалом описываемого исследования является разработка кода программы на языке программирования Python, позволяющей решать дифференциальные уравнения второго порядка (содержащие вторую производную от какого-либо параметра). Основным выбранным методом является численное решение на основе библиотеки научных расчётов Scipy для Python, а именно интегрирующей функции Odeint [11] из подмодуля этой библиотеки Scipy.integrate.

Алгоритм разработанной на основе указанных принципов программы состоит из следующих блоков:

1. Загрузка следующих библиотек для языка Python: вышеупомянутого подмодуля Scipy.integrate, модуля Numpy [12] для создания и заполнения массивов данных (результатов расчётов для построения графиков), модуля Math (для использова-

ния некоторых математических функций и констант, не содержащихся в языке Python по умолчанию – например, для вызова числа π), подмодуля Matplotlib.pyplot для представления результатов расчётов в виде двухмерных графических зависимостей.

2. Задание исходных данных, представляющих из себя коэффициенты дифференциального уравнения или уравнений, а также начальные и граничные условия.

3. В случае необходимости – определение формул или условий для нахождения дополнительных функций, используемых в конкретных дифференциальных уравнениях.

4. Создание функции, описывающей левые части дифференциальных уравнений первого порядка, полученных после преобразования исходного дифференциального уравнения второго порядка (методика такого преобразования и состав левых и правых частей уравнений будут продемонстрированы далее на примере).

5. Создание главной функции программы, в рамках которой происходит определение двух массивов, которые далее при выполнении циклических вычислений будут заполнены значениями переменной величины и соответствующей ей функции. Команда определения функции Integrate.odeint включает в качестве аргументов левые части дифференциальных уравнений (п. 4), правые части тех же уравнений (начальные условия) и массив, содержащий значения переменной, при которых следует вычислять функцию.

Далее функция, вычисленная при всех значениях переменной, выводится с использованием графической библиотеки на экран.

6. Вычисление некоторых вспомогательных величин и главной функции, описанной в п. 5 алгоритма.

Далее рассмотрим применение разработанной программы для решения примера из квантовой физики – движение частицы вдоль оси x в пределах изображённой на рис. 1 прямоугольной потенциальной ямы. Данный процесс описывается одномерным дифференциальным уравнением Шредингера:

$$\frac{d^2\psi(x)}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} [E - U(x)] \psi(x) = 0,$$

где $\psi(x)$ – волновая функция движения частицы;

x – координата положения частицы;

m – масса частицы (так как в качестве примера элементарной частицы мы рассматриваем электрон, то $m = 9.10938356 \cdot 10^{-31}$ кг);

\hbar – постоянная Планка, равная $1.054571817 \cdot 10^{-34}$ Дж·с;

E – полная энергия частицы, Дж;

$U(x)$ – потенциальная энергия частицы, Дж.

Как видим, представленное дифференциальное уравнение движения элементарной частицы имеет вторую производную по координате x , а следовательно, относится к классу исследуемых в данной работе зависимостей. Однако для применения в программе его необходимо преобразовать – представить в виде системы двух дифференциальных уравнений первого порядка, что делается при помощи простой замены переменных:

$$b(x) = \frac{da(x)}{dx}.$$

Тогда уравнение Шредингера может быть представлено следующим образом (при переносе первого его слагаемого в правую часть):

$$-\frac{2m}{\hbar^2} [E - U(x)] \psi(x) = \frac{db(x)}{dx}.$$

Для решения системы из двух представленных дифференциальных уравнений необходимо задаться начальными и граничными условиями задачи.

Начальными условиями являются следующие: при $b(x) = \frac{da(x)}{dx} = 1$ (можно взять

любое постоянное число – единица выбрана для определённости, и она является правой частью первого уравнения системы) $\frac{db(x)}{dx} = 0$ (правая часть второго уравнения,

проистекающая из рассмотрения уравнения Шредингера).

Граничные условия ясны из рассмотрения рис. 1 и являются начальной и конечной координатами стенок потенциальной ямы: $x = 0$ и $x = z$, где z – любое натуральное число. Для определённости в программе использовано значение $z = 1000$ при шаге вычисления всех параметров системы, равном 1, что вполне достаточно для построения по результатам расчётов плавных графических зависимостей.

Результаты исследования и их обсуждение

Продemonстрируем работу разработанной программы на описанном выше примере – рассмотрении движения элементарной частицы (в качестве которой выбран электрон) в одномерной прямоугольной потенциальной яме.

Для формирования полного набора исходных данных в программу необходи-

мо добавить формулу для полной энергии частицы:

$$E = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2mz^2} n^2,$$

где n – целое число, называемое квантовым уровнем энергии частицы. Значение остальных констант, входящих в формулу, приведено выше.

В квантовой теории доказывается, что решение уравнения Шредингера для прямоугольной потенциальной ямы (волновая функция) не равно нулю только при дискретных целых значениях n .

Вычисляя с помощью программы E для электрона при $n = 1, 2, 3, 4, 5$ и визуализируя полученные значения с помощью Microsoft Excel, получим следующую картину (рис. 2).

Представленная диаграмма наглядно демонстрирует тот факт, что с увеличением квантового уровня n на единицу энергия частицы возрастает всё более стремительно.

На следующем графике (рис. 3) покажем выводимые программой графики волновых функций для двух значений $n = 2$ и $n = 5$, а также квадратов волновых функций для тех же n . При вычислениях используются значения E , представленные на рис. 2 и соответствующие текущему n (программа показывает, что при других значениях E волновая функция во всём диапазоне x от 0 до z равна нулю).

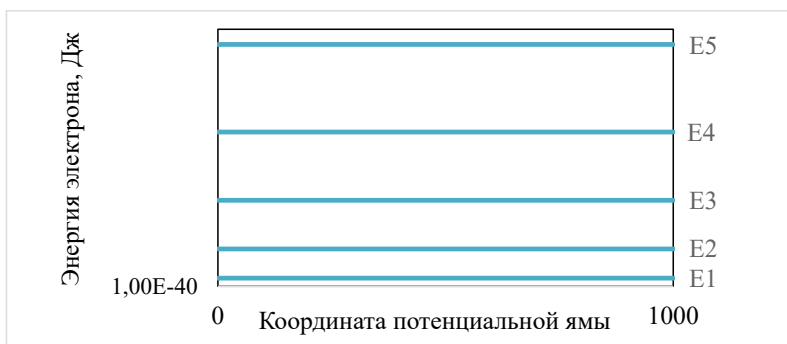


Рис. 2. Вычисленные квантовые уровни энергии электрона

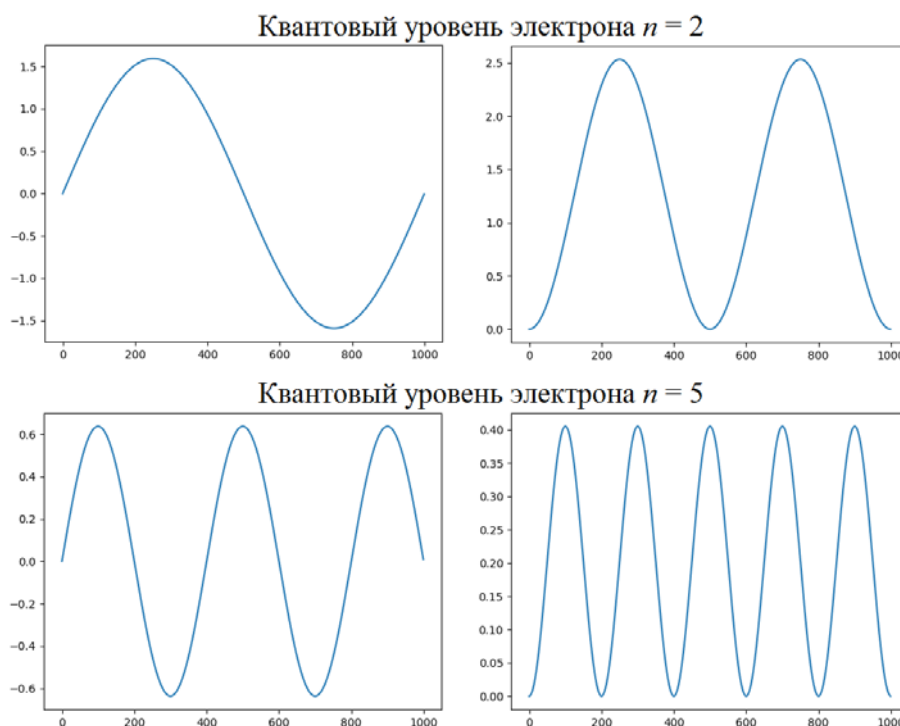


Рис. 3. Графики волновых функций и их квадратов для электрона

Таким образом, по осям абсцисс отложено ширина потенциальной ямы в условных координатах для двух значений квантовых уровней. Правые графики, изображающие изменение квадрата волновой функции ψ^2 , позволяют судить о вероятности нахождения частицы в разных местах по координате x (по относительному значению по оси ординат). В этом состоит основной физический смысл построения таких функций. В данном случае наглядно видно, что количество координат x , соответствующих максимальной вероятности нахождения электрона, равно номеру рассматриваемого квантового уровня n .

Заключение

Полученные в ходе проведения работы методика и программа решения дифференциальных уравнений второго порядка могут быть использованы в любых подобных рассмотренному случаях с минимальными доработками. Для разных дифференциальных уравнений второго порядка в программе необходимо только прописать свои выражения для правых и левых их частей, а также изменить начальные и граничные условия.

Выводы по результатам решения уравнений можно сделать на основе выводимых программой наглядных графических зависимостей искомой функции от аргумента. Описанная в статье апробация разработанной методики позволяет рекомендовать использовать язык Python совместно с описанными библиотеками функций (главной из которых является модуль Scipy) для решения рассмотренного круга задач благодаря следующим доказанным достоинствам данного подхода:

- 1) простота кода программы и его модификации под разные задачи;
- 2) высокая скорость вычислений;
- 3) наглядная визуализация результатов;
- 4) бесплатность программных продуктов и их доступность для всех желающих;
- 5) высокая степень вовлечённости исследователя в процесс формулирования и решения задач, что особенно важно для достижения понимания физико-матема-

тических связей в исследуемых проблемах, особенно для начинающих.

С помощью языка Python возможно (и запланировано) дальнейшее совершенствование разработанного программного продукта для решения более сложных классов уравнений, например систем дифференциальных уравнений в частных производных.

Список литературы

1. Океанов Е.Н. Метод решения линейного дифференциального уравнения второго порядка // Актуальные проблемы современной науки. 2019. № 3 (106). С. 96–101.
2. Свирский М.С., Свирская Л.М. Второй закон Ньютона в квантовой механике // Современные наукоемкие технологии. 2008. № 4. С. 104.
3. Абрамова В.В. Численное решение задачи Коши для обыкновенного дифференциального уравнения с параметром при производной // Евразийский союз ученых. 2020. № 2–6. С. 35–39.
4. Белубекян М.В., Терзян С.А. Влияние граничных условий на условия появления локализованной неустойчивости прямоугольной пластинки // Актуальные проблемы механики сплошной среды: материалы VI международной конференции. 2019. С. 60–63.
5. Павлова Т.А., Уварова М.Н. Использование программы MathCAD при решении прикладных задач // Ученые записки Орловского государственного университета. 2018. № 3 (80). С. 322–325.
6. Бебихов Ю.В., Семёнов А.С., Семёнова М.Н., Якушев И.А. Анализ методов моделирования технических систем в среде MatLab // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2019. Т. 7. № 3 (26). С. 12.
7. Ильичев В.Ю. Использование алгоритма дифференциальной эволюции для решения оптимизационных задач // Системный администратор. 2021. № 4 (221). С. 80–83.
8. Комаров Д.А., Морев С.П., Дармаев А.Н., Ряднов А.Ю. Численное решение уравнения Шредингера для электрона в потенциальной яме произвольной формы // Радиотехника и электроника. 2014. Т. 59. № 8. С. 799.
9. Пупышев В.В. Двумерное кулоновское рассеяние квантовой частицы: волновые функции и функции Грина // Теоретическая и математическая физика. 2016. Т. 186. № 2. С. 252–271.
10. Коваль О.А., Коваль Е.А. Численный анализ энергетических уровней квантовой частицы в поле двумерного диполя // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Физика – математика. 2020. № 3. С. 23–37.
11. Ильичев В.Ю., Чухраев И.В. Использование библиотеки Scipy для языка Python с целью изучения параметров затухающего гармонического осциллятора // E-Scio. 2021. № 7 (58). С. 301–310.
12. Ilchev V.Yu. Development of program for determination of fractal dimensions of images. International Research Journal. 2021. no. 4–1 (106). P. 6–10.

УДК 004.93

РАСПОЗНАВАНИЕ ЖЕСТОВ РУК В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕГМЕНТАЦИИ

Кучер М.Ю., Белов Ю.С.

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана»,
филиал, Калуга, e-mail: fn1-kf@mail.ru

Для взаимодействия человека и компьютера очень важно внедрять использование распознавания жестов рук. В данной статье будет рассмотрен один из новейших и быстрых методов распознавания жестов рук в реальном времени. Известно, что распознавание жестов на основе компьютерного зрения – важная часть взаимодействия человека с техникой. И хотя клавиатура и мышь являются на сегодняшний день самыми популярными устройствами для взаимодействия с компьютером, программное обеспечение быстро развивается и требуются новые типы передачи информации от пользователя к технике, особенно бесконтактные, в числе которых голос и жесты. В данной статье рассматривается один из самых новых и быстрых механизмов взаимодействия человека и компьютерных технологий при помощи движений рук и фигур, изображенных пальцами (жестов). Рассмотрим сначала коротко, что необходимо для этого сделать. Чтобы извлечь область руки из фона, потребуется использовать метод вычитания фона. Затем, чтобы распознать жест, нужно сегментировать пальцы (отличить их от всей руки на изображении). Последним шагом должен быть применен классификатор правил для прогнозирования и распознавания жеста. Метод сегментации пальцев был испытан на 1300 изображениях, результаты показали его высокую эффективность, которая превышает показатели уже существующих методов по времени и точности распознавания.

Ключевые слова: жест, распознавание, управление, сегментация, классификация изображений

REAL-TIME HAND GESTURE RECOGNITION USING FINGER SEGMENTATION

Kucher M.Yu., Belov Yu.S.

Bauman Moscow State Technical University, Kaluga branch, Kaluga, e-mail: fn1-kf@mail.ru

It is very important for human-computer interaction to implement the use of hand gesture recognition. This article will discuss one of the newest and fastest methods for real-time hand gesture recognition. It is known that computer vision-based gesture recognition is an important part of human interaction with technology. And although the keyboard and mouse are by far the most popular devices for interacting with a computer, software is rapidly evolving and new types of information transfer from user to technology are required, especially contactless ones, including voice and gestures. This article examines one of the newest and fastest mechanisms of interaction between humans and computer technologies using the movements of hands and figures depicted by fingers (gestures). Let's first consider briefly what needs to be done to do this. To extract the area of the hand from the background, you will need to use the background subtraction method. Then, to recognize the gesture, you need to segment your fingers (distinguish them from the entire hand in the image). The final step is to apply a rule classifier to predict and recognize gesture. The finger segmentation method was tested on 1300 images, which showed its high efficiency, which exceeds the indicators of existing methods in terms of recognition time and accuracy.

Keywords: gesture, recognition, control, segmentation, image classification

Жест – это символ, сделанный при помощи направленного движения рукой или/и создания фигуры пальцами, который несет в себе некий индивидуальный смысл. Каждому жесту соответствует значение, которое превращает его в способ передачи информации. Примеры статических жестов изображены на рис. 1. Жесты можно использовать и для передачи команд от человека к технике, что отличается от наиболее привычных методов управления на сегодняшний день. В последнее десятилетие разработчики систем искусственного интеллекта стремились создать систему для распознавания жестов, которая работала бы быстро и эффективно. Для управления устройствами такая система обязательно должна работать в режиме реального времени, так же быстро

или даже быстрее, чем более привычные технологии взаимодействия с техникой (компьютерная мышь, сенсорное управление, управление при помощи клавиатуры, управление голосом) [1]. Развитие данной технологии управления было важно не только из-за цели изобрести новую быструю систему управления устройствами, но и для комфортного использования технологий людям с инвалидностью, для которых управление мышью или клавиатурой, или голосом является невозможным [2].

Коротко процесс распознавания руки на изображении можно описать так: сначала определяется область руки, и затем отслеживаются изменения в ее движении (или движении пальцами) [3].

Первым этапом берется исходное изображение с устройства ввода.

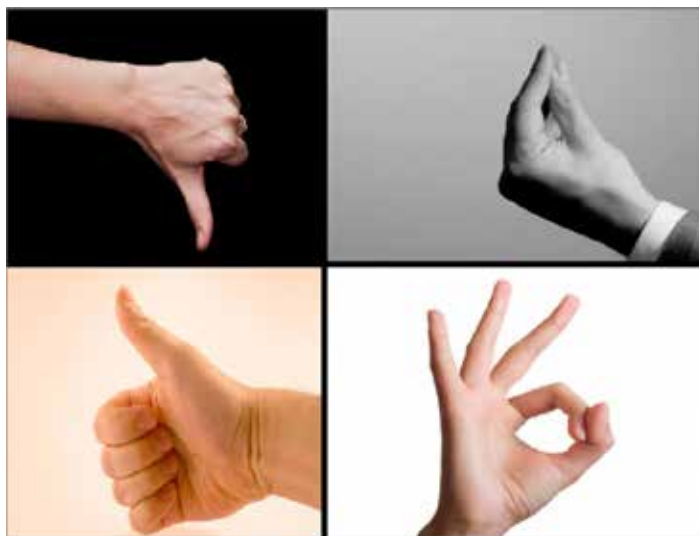


Рис. 1. Примеры жестов

Затем применяются функции распознавания жестов рук и выделяются признаки.

Признаки сравниваются с имеющимися в базе знаний и делается вывод.

Для отделения фона используются разные типы камер – обычная, стерео или ToF. Если обычная камера является сейчас очень популярной, то про другие две необходимо дать пояснения [4]. Они нужны для получения информации о глубине, то есть для получения карты глубины изображения и таким образом более быстрого отделения области руки от области фона.

В мире уже не первый год существуют подобные системы управления, но все они предполагают использование специальной перчатки либо других специальных устройств для обнаружения главных точек руки. Данный метод предполагает управление без устройств посредников. Также у данного метода в отличие от других подобных существующих методов распознавание жеста происходит не целиком, а путем выделения пути движения отдельных ее фрагментов, что упрощает и ускоряет один из наиболее важных этапов – процесс классификации [5].

Цель исследования – разработать систему обнаружения и распознавания жестов в реальном времени с использованием сегментации пальцев.

Описание модели. Для решения задачи распознавания жеста становится целесообразным комбинировать несколько алгоритмов. Работа системы обнаружения и распознавания жестов происходит в три этапа: обнаружение руки в кадре, сегментация пальцев, распознавание жеста.

Этапы распознавания жестов. Рассмотрим распознавание жеста пошагово. Первым делом рука обнаруживается с использованием метода вычитания фона, и результат преобразуется в двоичное изображение. Затем пальцы и ладонь сегментируются, чтобы облегчить распознавание пальцев. Наконец, жесты рук распознаются с помощью простого классификатора правил.

Прежде чем подробно разобрать все шаги, рассмотрим, что такое сегментация. В компьютерном зрении сегментация – это процесс разделения цифрового изображения на несколько сегментов (множество пикселей, также называемых суперпикселями). Цель сегментации заключается в упрощении и/или изменении представления изображения, чтобы его было проще и легче анализировать. Сегментация изображений обычно используется для того, чтобы выделить объекты и границы (линии, кривые, и т.д.) на изображениях. Более точно, сегментация изображений – это процесс присвоения таких меток каждому пикселю изображения, что пиксели с одинаковыми метками имеют общие визуальные характеристики [6].

Результатом сегментации изображения является множество сегментов, которые вместе покрывают всё изображение, или множество контуров, выделенных из изображения. Все пиксели в сегменте похожи по некоторой характеристике или вычисленному свойству, например по цвету, яркости или текстуре. Соседние сегменты значительно отличаются по этой характеристике.

В контексте данной статьи сегментация будет использоваться для разделения руки

на сегменты, каждый из которых содержит в себе по одному пальцу, что позволяет нам отслеживать изменения в каждом из фрагментов и распознавать не только статические, но и динамические жесты.

Наиболее легко и эффективно определять область руки на исходном изображении с помощью метода вычитания фона, но в некоторых случаях в результате вычитания фона включаются другие движущиеся объекты. Цвет кожи пользователя можно использовать, чтобы отличить область руки от других движущихся объектов, заранее добавив его в базу знаний. Размер изображения обнаруженной руки изменяется таким образом, чтобы распознавание жеста было инвариантным к масштабу изображения.

Чтобы сегментировать пальцы, первым делом необходимо найти палм-пойнт ладони. Он определяется как центральная точка ладони, которая находится методом преобразования расстояния. То есть в изображении каждому пикселю приписывается расстояние от него до ближайшего граничного пикселя. Расстояние до блоков используется для измерения расстояний между пикселями и ближайшими граничными пикселями [7]. Таким образом, в изображении с преобразованием расстояния двоичного изображения руки пиксель с наибольшим расстоянием выбирается в качестве ладони. Найденная точка ладони отмечена точкой зеленого цвета на рис. 2.



Рис. 2. Двоичный результат распознавания

Когда центр ладони найден, то найденная следом крайняя точка может описать окружность с палм-пойнтом ладони в качестве центральной точки. Получившийся круг называется внутренним кругом, потому что он находится внутри ладони. Радиус круга постепенно увеличивается, пока не достигнет края ладони. То есть радиус круга перестает увеличиваться, когда в круг входят черные пиксели. В итоге, когда ра-

диус максимального внутреннего круга получен, создается круг большего размера, радиус которого в 1,2 раза больше радиуса максимального внутреннего круга. На рис. 2 граница найденного круга обозначена синей окружностью.

Для каждой точки выборки на окружности находят ближайшую граничную точку и проводят к ней линию. Граничная точка оценивается просто. Если 8 соседей пикселя состоят из белых и черных пикселей, он помечается как граничная точка. Все найденные ближайшие граничные точки связаны, чтобы получить маску ладони, которую можно использовать для сегментирования пальцев и ладони. Используется больший круг вместо максимального внутреннего круга, чтобы получить более точную маску ладони для следующей сегментации.

Две точки запястья – это две конечные точки линии запястья в нижней части руки. Точки запястья – важные точки для распознавания жестов рук. Их можно искать следующим образом: если расстояние между двумя последовательными точками маски велико, эти две точки маски оцениваются как точки запястья.

С помощью маски ладони пальцы можно легко сегментировать. Та часть руки, которая закрыта маской ладони, – это и есть ладонь, а другие части руки – пальцы. Результат сегментации пальцев показан на рис. 3.



Рис. 3. Результат сегментации пальцев

Определение вида обнаруженного пальца. В сегментированном изображении пальцев алгоритм маркировки применяется для обозначения областей пальцев. В результате применения метода маркировки обнаруженные области, в которых количество пикселей слишком мало, считаются зашумленными и отбрасываются. Только области достаточного размера считаются пальцами и остаются.

Для каждой оставшейся области, то есть пальца, находят минимальную ограничивающую палец рамку. Затем центр минимального ограничивающего прямоугольника используется для представления центральной точки пальца. После чего центры пальцев соединяются с палм-пойнтом ладони и вычисляется градус угла между этими линиями и линией запястья. Если степень меньше, это означает, что большой палец присутствует на изображении руки. Соответствующий центр – это центральная точка большого пальца. Если все градусы угла больше, большой палец не существует на изображении.

Чтобы обнаружить и распознать другие пальцы, сначала исследуется линия ладони. Чтобы найти линию ладони, необходимо начинать от ряда линии запястья. В каждом ряду руку пересекает линия, параллельная линии запястья. Если есть только один связанный набор белых пикселей на пересечении линии и руки, линия смещается вверх. Если на пересечении линии и руки имеется более одного связанного набора белых пикселей, линия считается кандидатом на линию ладони [8].

В случае если большой палец не обнаружен, линия, пересекающая руку с более чем одним соединенным набором белых пикселей на их пересечении, выбирается в качестве линии ладони. В случае наличия большого пальца линия продолжает двигаться вверх с краевыми точками ладони. Теперь, когда большой палец убран, остается только один связанный набор пикселей на пересечении линии и руки.

После того как линия ладони получена, ее делят на 4 части. По горизонтальной координате центральной точки пальца он распадается на определенные части. Если палец попадает в первую часть, это указательный палец. Если палец принадлежит второй части, это средний палец. Третья часть соответствует безымянному пальцу. Четвертая часть – мизинец. Результат распознавания пальцев показан на рис. 4. На этом рисунке желтая линия – это линия ладони, а красная линия параллельна линии запястья.

В некоторых случаях два или более пальца остаются близко, и между пальцами нет промежутка. Чтобы отличить данный случай от случая одного пальца, ширина минимального ограничивающего прямоугольника используется в качестве показателя различия.

Если ширина минимального ограничивающего прямоугольника равна обычному значению, обнаруженная область представляет собой один палец. Если ширина минимального ограничивающего прямоуголь-

ника в несколько раз превышает обычное значение, обнаруженная область соответствует нескольким пальцам, которые плотно прилегают друг к другу. Для надежности распознавания пальцев также учитываются расстояния и углы между пальцами, чтобы различать различные жесты.

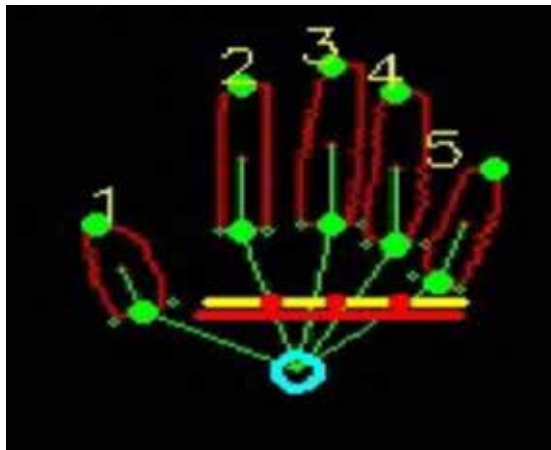


Рис. 4. Линия ладони

Когда пальцы обнаружены и распознаны, жест руки можно распознать с помощью простого классификатора правил. В классификаторе правил жест руки прогнозируется в соответствии с количеством и содержимым обнаруженных пальцев. Содержание пальцев означает, какие пальцы обнаруживаются.

Эффективность предлагаемого метода сильно зависит от результата обнаружения руки. Так как движущиеся объекты с цветом, подобным цвету кожи, могут попасть в результат обнаружения руки и затем ухудшат производительность распознавания жестов. Однако алгоритмы машинного обучения могут отличить руку от фона. А камеры ToF предоставляют информацию о глубине, которая может повысить эффективность обнаружения рук. Таким образом, в будущих работах методы машинного обучения и камеры ToF могут быть использованы для решения сложной фоновой проблемы и повышения надежности обнаружения рук.

Список литературы

1. Weiss K., Khoshgoftaar T.M., Wang D.D. A survey of transfer learning. *Journal of Big Data*. 2016. P. 1–40. URL: <https://journalofbigdata.springeropen.com/articles/s40537-016-0043-6> (дата обращения: 11.02.2022).
2. Басанько А.С., Белов Ю.С. Использование нейросетевого подхода для сегментации слов в рамках задачи офлайн-распознавания рукописного текста // Программные продукты, системы и алгоритмы. 2018. № 4. С. 71–73.
3. Kensert A., Harrison P.J., Spjuth O. Transfer learning with deep convolutional neural network for classifying cellu-

lar morphological changes. PubMed.gov. 2018. P. 1–11. URL: <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/345728v1.full.pdf> (дата обращения: 11.02.2022).

4. Демин И.С., Белов Ю.С., Чухраев И.В. Обучение сверточной нейронной сети на базе архитектуры U-NET с использованием минимальных ресурсов // Электромагнитные волны и электронные системы. 2019. Т. 24. № 7. С. 24–29

5. Liu Yu Han. Feature Extraction and Image Recognition with Convolutional Neural Networks // Journal of Physics Conference Series. 2018. P. 1–7. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1087/6/062032/pdf> (дата обращения: 11.02.2022).

6. Sahu M., Saxena A., Manoria M. Application of Feature Extraction Technique: A Review // International Journal of Computer Science and Information Technologies. 2015. vol. 6 (3). P. 3014–3016. URL: <http://ijcsit.com/docs/Volume%206/vol6issue03/ijcsit20150603227.pdf> (дата обращения: 11.02.2022).

7. Kaoutar B.A., Jelodar A. Fine-Tuning VGG Neural Network For Fine-grained State Recognition of Food Images. 2018. URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1809/1809.09529.pdf> (дата обращения: 11.02.2022).

8. Dakwale P., Monz Ch. Fine-Tuning for Neural Machine Translation with Limited Degradation across In- and Out-of-Domain Data. Proceedings of MT Summit XVI, vol. 1. P. 156–169. Sep. 18–22. 2017.