

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уфимский государственный нефтяной технический университет»**

при поддержке:  
Российской академии естественных наук  
Академии наук Республики Башкортостан  
Общественной организации  
«Профессионалы дистанционного обучения»  
Ассоциации образовательных программ  
«Электронное образование Республики Башкортостан»  
Российского союза научных и инженерных  
общественных объединений  
Партнерского центра  
международного сертификационного холдинга IMQ

# **Информационные технологии Проблемы и решения**

У ф а  
УНПЦ «Издательство УГНТУ»  
2 0 2 1

**Информационные технологии. Проблемы и решения.** – Уфа: УНПЦ «Изд-во УГНТУ», 2021, 2(15). 76 С.

**Information technology.** – Ufa: ERPC «USPTU Publishing House», 2021, 2(15). 76 p.

**Учредитель:**

**ФГБОУ ВО Уфимский государственный  
нефтяной технический университет**

**2021, 2(15)**

Издается с 2014 г.

**РЕДКОЛЛЕГИЯ**

**Главный редактор**

Р.Н. Бахтизин, первый проректор Уфимского государственного нефтяного технического университета, д-р физ.-мат. наук, профессор

**Члены редколлегии**

Ю.Н. Белоножкин, канд. экон. наук, доцент кафедры финансы и кредит Сочинского государственного университета

Й. Дарадке, доцент, заместитель декана факультета вычислительной техники и сетей Университета принца Саттама бин Абдулазиза (PSAU) - Королевство Саудовская Аравия (KSA)

Ф.У. Еникеев, д-р техн. наук, профессор кафедры вычислительной техники и инженерной кибернетики Уфимского государственного нефтяного технического университета

В.В. Ерофеев, д-р техн. наук, профессор, руководитель Челябинского регионального отделения РАЕН

Н.В. Корнеев, д-р техн. наук, профессор кафедры управления безопасностью сложных систем Губкинского университета, член-корр. РАЕН

И.М. Михайловская, ст. преподаватель кафедры вычислительной техники и инженерной кибернетики Уфимского государственного нефтяного технического университета

Е.А. Султанова, канд. техн. наук, доцент кафедры вычислительной техники и инженерной кибернетики Уфимского государственного нефтяного технического университета, член-корр. РАЕН

В.Н. Филиппов, канд. техн. наук, доцент кафедры вычислительной техники и инженерной кибернетики Уфимского государственного нефтяного технического университета, действительный член РАЕН

© ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», 2021

© Коллектив авторов, 2021

Полнотекстовая версия выпуска размещена в Научной электронной библиотеке elibrary.ru по ссылке:

[https://elibrary.ru/title\\_about.asp?id=61250](https://elibrary.ru/title_about.asp?id=61250)

Подробности на сайте: <http://vtik.net>

Отпечатано с готового электронного файла.

Подписано в печать 26.04.2021. Формат 60x80 1/16. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. 4,42. Тираж 800 экз. Заказ 148.

Учебный научно-производственный центр «Издательство Уфимского государственного нефтяного технического университета»

Адрес учебного научно-производственного центра «Издательство Уфимского государственного нефтяного технического университета»: 450064, Российская Федерация, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1.

**Founder:**

**FSBEU NE Ufa State Petroleum  
Technological University**

**2021, 2(15)**

Published since 2014

**EDITORIAL BOARD**

**Editor-in-Chief**

R.N. Bakhtizin, Dr. of Physical and Mathematical Sci., Professor, First Vice-Rector of Ufa State Petroleum Technological University

**Editorial Board Members:**

Yu. N. Belonozhkin, PhD Economic Sci. Department of Finance and Credit Sochi State university

Dr. Yousef Daradkeh, Associate Professor and Assistant Dean for Administrative Affairs, Department of Computer Engineering and Networks, Prince Sattam bin Abdulaziz University (PSAU) - Kingdom of Saudi Arabia (KSA)

F.U. Enikeev, Dr. of Technical Sci., Professor of Department of Computer Science and Engineering Cybernetics Ufa State Petroleum Technological University

V.V. Yerofeyev, Dr. Sci. Professor, Head of the Chelyabinsk regional branch of RANS

N.V. Korneev, Dr. Tech. Sci., Professor of the Department of Safety Management of Complex Systems, Gubkin University, Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences.

I.M. Mikhaylovskaya, Senior Lecturer of Department of Computer Engineering and Engineering Cybernetics Ufa State Petroleum Technological University

E.A. Sultanova, PhD, Deputy Head of Department of Computer science and Engineering cybernetics Ufa State Petroleum Technological University, corresponding member RANS

V.N. Filippov, PhD, Deputy Head of Department of Computer science and Engineering cybernetics of Ufa State Petroleum Technological University, Full member of the RANS

## ОГЛАВЛЕНИЕ

### ДИСТАНЦИОННОЕ ОБУЧЕНИЕ: КОНЦЕПЦИЯ, МЕТОДОЛОГИЯ, ТЕХНОЛОГИЯ

Терехина В.Е., Проценко С.И. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ONLINE-СЕРВИСОВ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОЙ ПОДГОТОВКИ УЧАЩИХСЯ К СДАЧЕ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ИТОГОВОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИНФОРМАТИКЕ И ИКТ.....	4
--	---

### ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ, ОБРАЗОВАНИИ И ПРОИЗВОДСТВЕ

Мухаметрахимов М.Х. ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ ОБЪЕМНОГО ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ6, ПОЛУЧЕННЫХ ЧЕРЕЗ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКУЮ ПРОСЛОЙКУ ВТ22.....	9
Мехтиев Ш.А., Фаталиев Т.Х. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМ ФОРМИРОВАНИЯ SCIENCE 4.0.....	14
Хлыбов А.В., Чурилов Д.А. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ПОМОЩНИК ПРЕПОДАВАТЕЛЯ.....	20
Ерофеев В.В., Игнатъев А.Г., Олейник Н.И., Петров В.А., Щепеткин В.В. РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ СВАРНЫХ ТАВРОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ .....	26
Ермолаев Е.В., Чурилов Д.А. АНАЛИЗ СЕМАНТИЧЕСКОЙ БЛИЗОСТИ КРИТЕРИЕВ ОЦЕНИВАНИЯ РАБОЧИХ ПРОГРАММ ДИСЦИПЛИН.....	33
Фаталиев Т.Х., Вердиева Н.Н. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ РЕШЕНИЙ INDUSTRY 4.0 В ГРАЖДАНСКОЙ НАУКЕ.....	39

### ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭКОНОМИКЕ, УПРАВЛЕНИИ И БИЗНЕСЕ

Алиев А.Г., Шахвердиева Р.О., Гулиева Г.Ю. ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ СЕКТОРОВ ИННОВАЦИОННОЙ ЭКОНОМИКИ НА ОСНОВЕ МОБИЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	45
--	----

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Ахмедов Д.Д. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВРЕДНЫХ ПРИМЕСЕЙ В АТМОСФЕРЕ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ТИПОВ НАЗЕМНОГО ПОКРОВА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕТРА.....	52
Меренцов Д.С., Николаев С.В., Тихонов А.А. ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ СОВРЕМЕННЫХ САМОЛЁТОВ.....	58

### СЕТИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

Корнилов С.А., Торгашов М.И. МОДЕЛЬ ОБСЛУЖИВАНИЯ ЗАЯВОК С ПРИОРИТЕТАМИ И ПЕРЕРЫВАНИЕМ В ЗВЕНЕ МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ СВЯЗИ.....	65
---	----

### СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ГИС-ТЕХНОЛОГИИ

Кульга К.С., Валиев А.А. СТАТИЧЕСКИЙ И МОДАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОМПОНОВОК МЕХАТРОННОГО СТАНОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	70
--	----

## ДИСТАНЦИОННОЕ ОБУЧЕНИЕ: КОНЦЕПЦИЯ, МЕТОДОЛОГИЯ, ТЕХНОЛОГИЯ

УДК 004.9

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ONLINE-СЕРВИСОВ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОЙ ПОДГОТОВКИ УЧАЩИХСЯ К СДАЧЕ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ИТОГОВОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИНФОРМАТИКЕ И ИКТ

### USE OF ONLINE SERVICES FOR REMOTE PREPARATION OF STUDENTS FOR PASSING THE STATE FINAL CERTIFICATION IN COMPUTER SCIENCE AND ICT

Терехина В.Е., Проценко С.И.,  
ФГБОУ ВО «Мордовский государственный педагогический университет  
имени М.Е. Евсевьева»,  
г. Саранск, Российская Федерация

V.E. Terekhina, S.I. Procenko,  
Mordovia State Pedagogical University named after M.E. Evseviev,  
Saransk, Russian Federation

e-mail: terexina.veronika@yandex.ru

**Аннотация.** Современные технологии и мир стремительно развиваются и изменяются. Именно поэтому учитель должен уметь перестраиваться и организовывать образовательный процесс таким образом, чтобы он удовлетворял не только требованиям времени и общества в целом, но и учитывал индивидуальность каждого обучаемого. Именно такой современный подход к обучению можно реализовать с помощью online-сервисов и других Интернет-технологий. В данной статье рассматривается online-сервисы, который позволит педагогу организовать как дистанционную подготовку к Государственной итоговой аттестации по информатике и ИКТ, так и занятия в привычном формате. Подробно рассматривается как, имея методические разработки заданий ОГЭ и ЕГЭ и просто тестовые задания, интегрировать их в удобный формат тестирования, который позволит оптимизировать процесс обучения и упростит процесс проверки контрольно-измерительных материалов. Привлечение online-сервисов, не только упрощает учебный процесс, но и делает его интереснее и многообразнее. Ведь обучение и преподавание на любом уровне образования должны приносить удовольствие и развивать интерес к учебному предмету, развивать творческие и проектные способности, расширять кругозор и в целом положительно влиять на становление и всестороннее развитие личности.

**Abstract.** Modern technologies and the world are rapidly developing and changing. That is why the teacher must be able to restructure and organize the educational process in such a way that it meets not only the requirements of the time and society as a whole, but also takes into account the individuality of each student. It is this modern approach to learning that can be implemented with the help of online services and other Internet technologies. This article discusses an online services that will allow a teacher to organize both distance training for the State Final Certification in Computer Science and ICT, and classes in the usual format. It is

considered in detail how, having methodological developments of OGE and USE tasks and just test tasks, to integrate them into a convenient testing format that will optimize the learning process and simplify the process of checking control and measurement materials. Attracting online services not only simplifies the learning process, but also makes it more interesting and diverse. After all, learning and teaching at any level of education should bring pleasure and develop interest in the subject, develop creative and design abilities, expand the horizons and generally have a positive impact on the formation and comprehensive development of the individual.

**Ключевые слова:** дистанционное обучение, Государственная итоговая аттестация, ОГЭ, ЕГЭ, online-сервисы, методика обучения информатике.

**Keywords:** distance learning, State Final Certification, OGE, USE, online services, methods of teaching computer science.

Для каждого педагога, работающего в современной школе, одной из задач является обучение учащихся базовому объему знаний, умений и навыков, а также их подготовка к успешной сдаче ОГЭ (Основного государственного экзамена) и ЕГЭ (Единого государственного экзамена). В настоящее время в помощь педагогам созданы online сервисы и разработаны методические рекомендации, которые предоставляют возможность подготовки обучающихся к экзаменам [3].

Опыт 2020 года показал, что современный педагог должен уметь организовать учебный процесс не только в стенах общеобразовательной организации, но и дистанционно. Это же касается и подготовки учащихся к сдаче ОГЭ и ЕГЭ.

Именно поэтому для модернизации учебного процесса по подготовке к сдаче ОГЭ и ЕГЭ каждый педагог должен активно использовать в своей профессиональной деятельности online-сервисы. В связи с чем, рассмотрим возможности всем известных порталов «Сдам ГИА: решу ОГЭ» и «Сдам ГИА: решу ЕГЭ» [1].

Рассмотрим данные сервисы с точки зрения дистанционной подготовки к сдаче ОГЭ по информатике, так как принцип работы сайтов одинаков для каждого учебного предмета, а различие заключается лишь в том, что у «Сдам ГИА: решу ОГЭ» и «Сдам ГИА: решу ЕГЭ» различные URL-адреса (рисунки 1, 2).

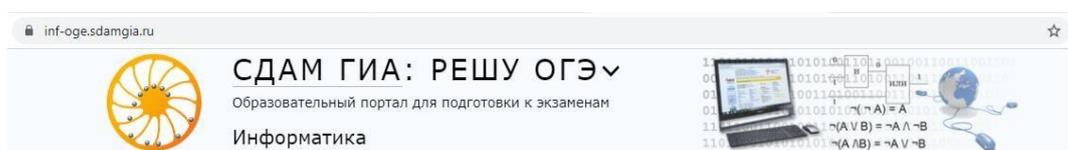


Рисунок 1. Online-сервис «Сдам ГИА: решу ОГЭ»

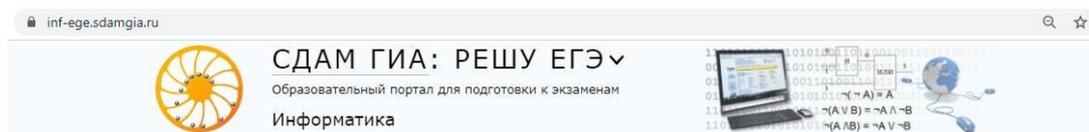


Рисунок 2. Online-сервис «Сдам ГИА: решу ЕГЭ»

В данных online сервисах представлены все те учебные дисциплины, которые возможно сдать в формате ОГЭ или ЕГЭ (рисунок 3). Таким образом, возможностями этих ресурсов может воспользоваться любой учитель-предметник, а также все учащиеся, заинтересованные в продуктивной подготовке к экзаменам и их последующей успешной сдаче.

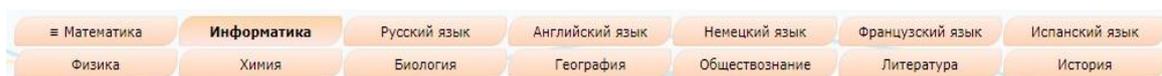


Рисунок 3. Выбор учебного предмета «Информатика» в online сервисе «Сдам ГИА: решу ОГЭ»

Для самостоятельной дистанционной подготовки школьников к ГИА сервисы предлагают для каждой дисциплины готовые тренировочные варианты контрольно-измерительных материалов (КИМ). Для каждого учебного предмета предусмотрено 15 таких вариантов (рисунок 4), которые раз в месяц обновляются. Так же есть возможность для отработки отдельных заданий КИМов из банка заданий.



Рисунок 4. Выбор номера варианта по информатике для тестирования в online-сервисе «Сдам ГИА: решу ОГЭ»

Стоит отметить, что сервис «Сдам ГИА: решу ОГЭ/ЕГЭ» имеет достаточно большой банк заданий по информатике, которые разбиты по тематике и номеру задания в КИМе (рисунок 5). Здесь можно перейти по каждому и выполнить задания из банка, а также указать количество упражнений того или иного номера в случайно составленном варианте. После выполнения задания можно посмотреть его решение. Можно отдельно порешать часть В и С или случайно составить новый вариант, который не будет совпадать с пятнадцатью предоставляемыми в начале [3].

Тема	Кол-во заданий
1. Количественные параметры информационных объектов <a href="#">просмотреть (26 шт.)</a>	0
2. Кодирование и декодирование информации <a href="#">просмотреть (88 шт.)</a>	0
3. Значение логического выражения <a href="#">просмотреть (26 шт.)</a>	0
4. Формальные описания реальных объектов и процессов <a href="#">просмотреть (55 шт.)</a>	0
5. Простой линейный алгоритм для формального исполнителя <a href="#">просмотреть (26 шт.)</a>	0
6. Программа с условным оператором <a href="#">просмотреть (26 шт.)</a>	0
7. Информационно-коммуникационные технологии <a href="#">просмотреть (61 шт.)</a>	0
8. Запросы для поисковых систем с использованием логических выражений <a href="#">просмотреть (26 шт.)</a>	0
9. Анализирование информации, представленной в виде схем <a href="#">просмотреть (26 шт.)</a>	0
10. Сравнение чисел в различных системах счисления <a href="#">просмотреть (26 шт.)</a>	0
11. Использование поиска операционной системы и текстового редактора <a href="#">просмотреть (25 шт.)</a>	0
12. Использование поисковых средств операционной системы <a href="#">просмотреть (26 шт.)</a>	0
13 (С1). Создание презентации или форматирование текста <a href="#">просмотреть (26 шт.)</a>	0
14 (С2). Обработка большого массива данных <a href="#">просмотреть (25 шт.)</a>	0
15 (С3). Короткий алгоритм в различных средах исполнения <a href="#">просмотреть (63 шт.)</a>	0

Рисунок 5. Тематика заданий по информатике в online-сервисе «Сдам ГИА: решу ОГЭ»

Для педагогов сервисы также предусматривают возможность организации своих учеников для дистанционной подготовки к сдаче ОГЭ или ЕГЭ. online-сервисы «Сдам

ГИА: решу ОГЭ», «Сдам ГИА: решу ЕГЭ» позволяют учителю-предметнику составить свой авторский КИМ и разместить его не только для своих учащихся, но и для всех желающих. Ведь создание авторских разработок важная методическая работа в процессе организации подготовки учащихся к ГИА по информатике и другим предметам, поскольку необходимо корректировать пробелы в знаниях учащихся, а сделать это может только педагог, который знает о существующих проблемах обучающихся [1].

При составлении педагогом варианта, ему присваивается индивидуальный номер, по которому ученики с легкостью могут найти его и выполнить. Есть два способа составления авторских тестов и для каждого из них обязательна авторизация.

Первый способ позволяет создать авторский вариант на стартовой странице при помощи кнопок «Ваш персональный вариант» и «Создать тест».

Кнопка «Ваш персональный вариант» находится под тренировочными вариантами (рисунок 4), а кнопка «Составить вариант» находится справа от списка заданий (рисунок 6).

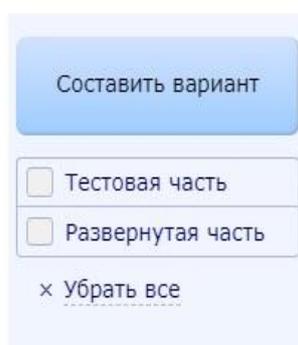


Рисунок 6. Составление варианта по информатике в Online-сервисе «Сдам ГИА: решу ОГЭ»

Этот способ позволяет составить вариант, используя уже имеющийся банк заданий.

Второй способ направлен на составление КИМов с полностью авторскими заданиями. Для этого необходимо перейти во вкладку «Учителю», которую можно найти с левого края сервиса, после чего педагог попадает в раздел для централизованного контроля уровня подготовки учащихся. В данном разделе находится все необходимое для создания авторских работ и курсов, а также для осуществления контроля за их выполнением.

Для того чтобы создать свой собственный вариант необходимо перейти по вкладке «Составить варианты для проверки знаний учащихся». После этого откроется раздел для составления собственных проверочных работ учителем, где зарегистрированный пользователь может создавать тестовые работы для учащихся.

В данном разделе можно создавать неограниченное количество работ и для каждой система выдаст ссылку, которую необходимо сообщить учащимся для проверки их знаний. Для создания тестов система предоставляет возможность выбрать готовые задания или же добавить личные методические разработки учителя [3].

Чтобы создать работу из готовых заданий необходимо воспользоваться кнопками (рисунок 7). Нажав представленные кнопки, педагог может составить работу из необходимого количества случайно выбранных системой заданий или же выбрать конкретные темы и подтемы, расставив галочки в тематическом каталоге.

Так же можно создать вариант из конкретных заданий, указав их номера в каталоге (рисунок 5).

Создать копию работы №

Для создания специализированного варианта выберите количество заданий из каждого раздела или воспользуйтесь предустановленными вариантами, нажав на соответствующую кнопку.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<input type="checkbox"/>														

Дополнительные задания для подготовки (не входят в ОГЭ этого года)

Д1	Д2	Д3	Д4	Д5	Д6	Д7	Д8	Д9	Д10	Д11	Д12	Д13	Д14	Д15	Д16	Д17
<input type="checkbox"/>																

Рисунок 7. Раздел для составления собственных проверочных работ учителем

Чтобы создать тест, состоящий из методических разработок учителя, необходимо создать пустую работу, добавить в нее разработанные задания, а затем выполнить необходимые настройки, после чего нажать кнопку «Сохранить». Для внесения изменений в созданную учителем работу, дополнить заданиями или изменить их порядок, необходимо ввести номер варианта в окно «Создать копию работы», после чего учитель создает домашнюю или контрольную работу, а затем ее редактирует.

Задания части В проверяются системой автоматически, а для проверки заданий части С учителю присылается загруженное учащимися решение этого задания. Учитель может просмотреть, оценить и прокомментировать его. Ссылки удобнее рассылать, если педагог создаст курс в разделе «Школа», там всем записавшимся на него учащимся придет автоматическое уведомление [2].

## Выводы

В работе педагога важно уметь использовать не только готовые методические разработки, но и создавать их самостоятельно с использованием современных информационных технологий. Ведь именно индивидуальный подход к ученикам при подготовке к экзаменам ОГЭ и ЕГЭ по информатике и другим учебным дисциплинам позволит достичь им наиболее высоких результатов.

## Литература

1. Медведева, Е.С. Информационные технологии при подготовке к ОГЭ по информатике // Образование и наука в современных условиях – Общество с ограниченной ответственностью «Центр научного сотрудничества «Интерактив плюс»». – 2017. – 154-156 с.
2. Самарханова, Э.К. Использование онлайн-сервисов для организации самостоятельной работы учащихся // Преподавание информатики и информационных технологий в условиях развития информационного общества – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный педагогический университет им. Козьмы Минина». – 2017. – 144-149 с.
3. Терехина, В.Е. Использование интернет-ресурсов в подготовке учащихся к ОГЭ и ЕГЭ по информатике // Актуальные вопросы цифровизации образования – Саранск: РИЦ МГПИ – 2020. – 35-40 с.

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ, ОБРАЗОВАНИИ И ПРОИЗВОДСТВЕ

УДК 004.621.791.4:669.295

### ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ ОБЪЕМНОГО ТИТАНОВОГО СПЛАВА VT6, ПОЛУЧЕННЫХ ЧЕРЕЗ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКУЮ ПРОСЛОЙКУ VT22

### INFLUENCE OF HEAT TREATMENT ON THE STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF WELDED JOINTS OF VT6 BULK TITANIUM ALLOY OBTAINED THROUGH NANOCRYSTALLINE INTERLAYER VT22

Мухаметрахимов М.Х.,  
Институт проблем сверхпластичности металлов РАН,  
г. Уфа, Российская Федерация

M.Kh. Mukhametrakhimov,  
Institute for Metals Superplasticity Problems, Russian Academy of Sciences,  
Ufa, Russian Federation

e-mail: msia@mail.ru

**Аннотация.** Проведены экспериментальные исследования твердофазной свариваемости титанового сплава VT6 через нанокристаллическую прослойку из сплава VT22 в температурном интервале проявления низкотемпературной сверхпластичности (820°C) одного из соединяемых элементов. Сварка разнородных титановых сплавов позволяет значительно снизить температуру сварки давлением за счет использования титановых сплавов, легированных разными элементами.

Использование прослойки из титанового сплава VT22 с нанокристаллической структурой позволяет локализовать деформацию в зоне сварного соединения за счет существенной разницы между значениями напряжения течения материала нанопрослойки и свариваемых заготовок.

Для повышения комплекса механических свойств сварные заготовки после сварки давлением были подвергнуты термической обработке при температуре 900°C. Это приводит к активизации диффузионных процессов, к улучшению качества сварных соединений и исчезновению микропор в зоне соединений. Оптимальные свойства сварных соединений достигаются после термообработки исследуемых титановых сплавов.

Таким образом, можно сделать заключение о том, что получение качественного твердофазного соединения разнородных титановых сплавов, определяется не только размером зерна прослойки, но и химическим и фазовым составом в зоне сварных соединений.

**Abstract.** Experimental studies of the solid-phase weldability of the VT6 alloy through an interlayer of VT22 alloy in the temperature range of the low-temperature superplasticity (T=820°C) of one of the elements to be joined have been carried out. Welding of dissimilar

titanium alloys allows to significantly reduce the temperature of pressure welding due to the use of alloys alloyed with different elements. The VT22 with nanocrystalline structure interlayer allows localizing deformation at the junction zone due to a significant difference between the values of the interlayer flow stress and welded billets. To improve the mechanical properties, the welds were heat treated at  $T=900^{\circ}\text{C}$ . Optimal properties of welded joints are increased after heat treatment of researched titanium alloys. This leads to the activation of diffusion processes and the disappearance of micropores. Thus, it can be concluded, that getting dissimilar titanium alloys high-quality solid-phase joint depends not only on the size of the interlayer grains, but also on the material in the joint zone chemical and phase composition.

**Ключевые слова:** нанокристаллический титановый сплав, низкотемпературная сверхпластичность, твердофазное соединение, сварка давлением, механические свойства.

**Keywords:** nanocrystalline titanium alloy, low temperature superplasticity, solidphase joining, pressure welding, mechanical properties.

Рост потребности в новой технике и развитие современного машиностроения связаны с изысканием новых экономически эффективных технологий формообразования деталей сложной конфигурации из традиционно труднообрабатываемых материалов. Одним из перспективных технологических направлений машиностроения является сварка давлением, совмещенная со сверхпластической формовкой (СПФ/СД) [1, 2].

Использование явления низкотемпературной сверхпластичности [3] открывает перспективу снижения температуры деформационно-термической обработки металлов. Особенно актуальна проблема снижения температуры обработки при изготовлении изделий из титановых сплавов.

Успешное решение ряда сложных технологических задач производства возможно при использовании процесса твердофазной деформационной сварки объемных полуфабрикатов в нанокристаллическом состоянии [4] на основе эффекта низкотемпературной сверхпластичности. Наноструктурирование титанового сплава ВТ6 позволяет существенно снизить температуру сверхпластической деформации [5].

Нижняя температурная граница проявления сверхпластичности зависит от величины зерна обрабатываемого сплава и снижается при ее уменьшении. При создании в сплаве нанокристаллической структуры возможно проявление эффекта низкотемпературной сверхпластичности [6]. Изотермическая прокатка двухфазного титанового сплава ВТ22 в режиме низкотемпературной СП обеспечивает наноструктурирование непосредственно в процессе получения листа без предварительной деформационной обработки [7]. В этой связи достижение высоких механических свойств соединения, полученного сваркой давлением в состоянии сверхпластичности (СП), зависящее как от температуры, так и от структурного состояния обрабатываемых сплавов, в силу недостаточности экспериментальных результатов представляется интересной металловедческой задачей.

Целью настоящей работы является оценка механических свойств образцов, полученных соединением типичного двухфазного титанового сплава ВТ6 через прослойку сплава ВТ22 в температурном интервале проявления низкотемпературной СП.

Для эксперимента использовали прутки диаметром 30 мм из двухфазного титанового микрзернистого сплава ВТ6 стандартного химического состава, со средним размером зерен  $\alpha$ -фазы 3-5 мкм (рисунок 1а). Изотермической прокаткой были получены листы нанокристаллического сплава ВТ22 толщиной 2 мм, содержащие структурные

элементы размерами не более 0,3-0,5 мкм (рисунок 1б) [8-10]. Химический состав сплавов приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав исследуемых сплавов

Марка	Химический состав, вес; %											
	Ti	Al	Mo	V	Zr	Cr	Fe	O	Si	C	N	H
BT6	Осн.	5,3÷6,5	-	3,5÷5,1	0,3	-	0,25÷0,3	0,15÷0,2	-	0,1	0,05	0,015
BT22	79,4-86,3	4,4-5,7	4-5,5	4-5,5	0,3	0,5-1,5	0,5-1,5	0,18	0,15	0,1	0,05	0,015

Микроструктура исследуемых сплавов BT6 и BT22 в исходных состояниях представлена на рисунке 1.

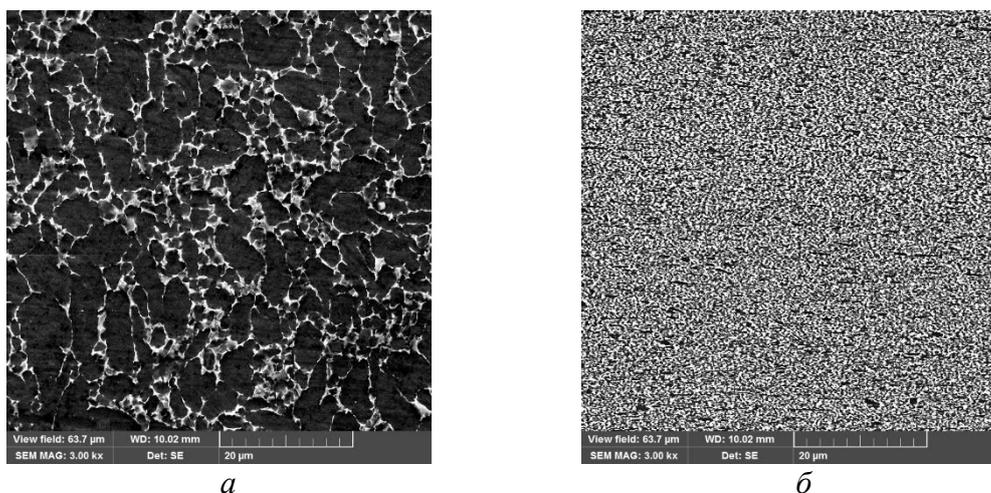


Рисунок 1. Микроструктура исследуемого сплава BT6 в исходном состоянии (а) и сплава BT22 после изотермической прокатки (б)

Механические свойства сплавов в исходных условиях при комнатной температуре представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Механические свойства сплавов BT6 и BT22 в исходных состояниях

В исходных состояниях	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_{0.2}$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %
BT6	1080	1010	12	16
BT22	1420	1380	7,5	14

Сварку давлением образцов из сплава BT6 через прослойку BT22 проводили в вакуумной печи в условиях низкотемпературной СП (рисунок 2а). Сварку осуществляли при температуре 820°C в течение 120 минут приложением постоянного давления ( $P = 3$  МПа) и с последующей термообработкой (ТО) при температуре 900°C.

Металлографические исследования проводили на растровом микроскопе «TESCAN MIRA3 LMU». Механические испытания на растяжение проводили на универсальном динамометре «INSTRON - 5982» при комнатной температуре и скорости деформирования 1 мм/мин. Механические свойства при растяжении измеряли на образцах диаметром 3 мм и длиной рабочей части 10 мм (рисунок 2б).

Прочностные характеристики сварных образцов оценивали не только после сварки давлением, но и после ТО.

В результате сварки давлением образовалось твердофазное соединение, в котором видны две зоны раздела: – между титановыми сплавами BT6 и BT22 (зона BT6 + BT22)

и (зона ВТ22 + ВТ6) (рисунок 3). Границу раздела можно выявить благодаря разному размеру зерен в прутке и в прослойке.

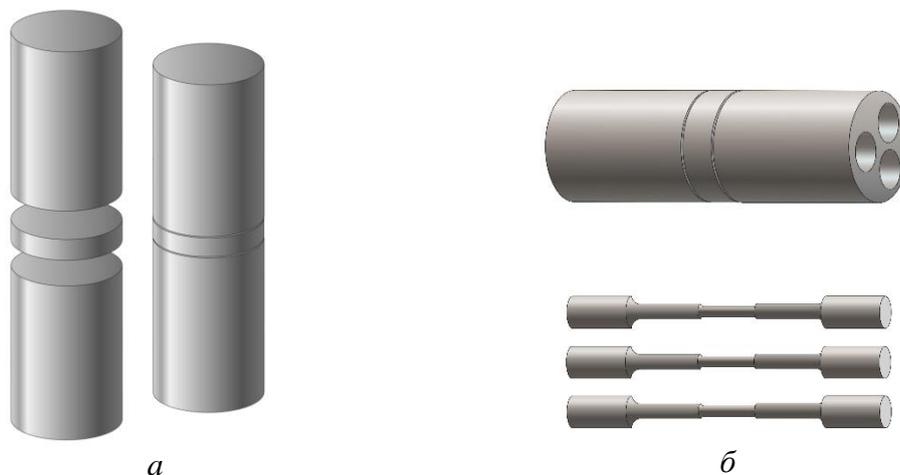


Рисунок 2. Схема сварки давлением образцов из сплава ВТ6 через прослойку ВТ22 (а) и вырезки после сварки (б)

Металлографические исследования в зонах ТФС образца выявили поры после сварки давлением при степени деформации  $\varepsilon = 1-2\%$ . На границах  $\alpha$ -зерен видны отдельные поры и цепочка пор (рисунок 3а). Относительная протяженность пор составила 0,32.

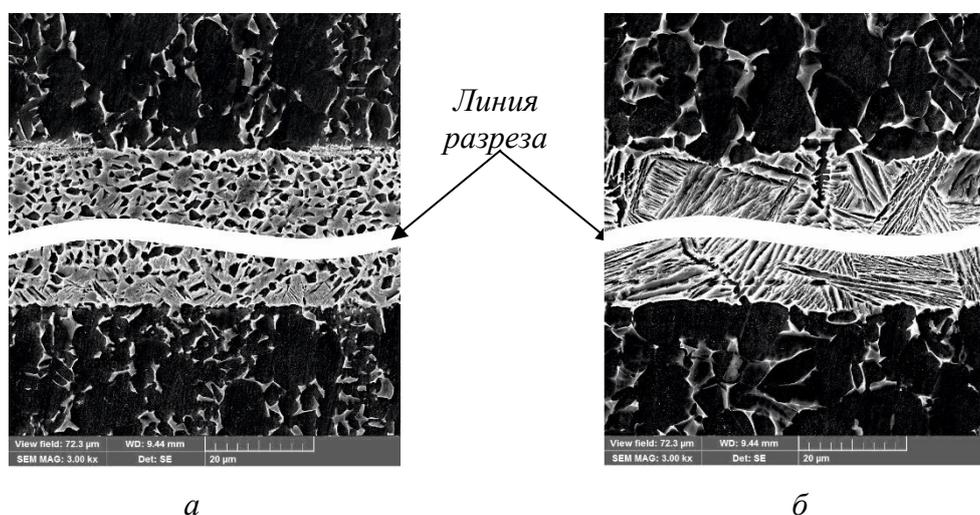


Рисунок 3. Микроструктура зон ТФС сварного соединения из сплава ВТ6 через прослойку ВТ22 после сварки при температуре 820°C (а) и последующей ТО в течение 2 часов при температуре 900°C (б)

В результате проведения ТО при температуре 900°C данного образца относительная протяженность пор снизилась до 0,26 (рисунок 3б). Уменьшение пористости в зоне соединения, вероятно, связано с активизацией диффузии, в частности, вызванной структурным градиентом на границе раздела сварных соединений. Об интенсивности диффузионных процессов свидетельствует существенный рост зерен в прослойке.

Результаты механических испытаний на растяжение при комнатной температуре сваренных через прослойку образцов приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Показатели прочности на отрыв

№ пп	Прочность соединения на отрыв, МПа				
	Режим сварки	$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	Примечание
1	Сварки при 720°C	975	4,52	2,1	BT6 +BT22+BT6
2	Сварка при 720 + ТО при 900°C	1108	4,61	4,2	

### Выводы

Как показали результаты механических испытаний на растяжение, после сварки давлением при температуре  $T = 820^\circ\text{C}$  прочность твердофазного соединения была 975%, а после ТО увеличилась и стала 1108%.

После испытаний на растяжение формирование шейки практически не наблюдалось, что подтверждается малым значением относительного сужения.

Таким образом, показана возможность получения качественного ТФС образцов из титанового сплава BT6 через прослойку BT22 при относительно низкой температуре ( $T = 820^\circ\text{C}$ ) и последующей ТО при  $900^\circ\text{C}$ .

### Литература

1. Мулюков Р.Р. Развитие принципов получения и исследования объемных наноструктурных материалов в ИПСМ РАН // Российские нанотехнологии. 2007. №7. С. 38-53.
2. Валиахметов О.Р., Галеев Р.М., Круглов А.А., Лутфуллин Р.Я., Мулюков Р.Р. и др. Использование наноструктурных материалов и нанотехнологий для создания полых конструкций // Российские нанотехнологии. 2010. Т. 5. №1-2. С. 102-111.
3. Кайбышев О.А., Салищев Г.А., Галеев Р.М., Лутфуллин Р.Я., Валиахметов О.Р., Патент РСТ/US97/18642, WO 9817836, 30.04.1998.
4. Лутфуллин Р.Я., Кайбышев О.А., Валиахметов О.Р., Мухаметрахимов М.Х., Сафиуллин Р.В., Мулюков Р.Р. // Соединение в твердом состоянии нанокристаллических титановых сплавов. Перспективные материалы. 2003. №4. С. 21-25.
5. Валиев Р.З. Создание наноструктурных металлов и сплавов с уникальными свойствами, используя интенсивные пластические деформации // Российские нанотехнологии. 2006. Т. 1. №1-2. С. 208-216.
6. Lutfullin R.Ya., Kruglov A.A., Safiullin R.V., Mukhametrahimov M.Kh., Rudenko O.A. Processing properties of nano- and submicro-crystalline Ti-6Al-4V titanium alloy // Materials Science and Engineering A. 2009. 503. P. 52-54.
7. Астанин В.В., Классман Е.Ю., Классман П.А. Получение листов сплава BT22 с УМЗ структурой путем изотермической прокаткой // Перспективные материалы. 2009. Выпуск 7. С. 14-16.
8. Лутфуллин Р.Я., Мухаметрахимов М.Х., Классман П.А., Астанин В.В. Перспектива изготовления наноструктурного листа из титанового сплава BT6 изотермической прокаткой // Перспективные материалы. 2013. Выпуск 15. С. 66-69.
9. Классман Е.Ю., Классман П.А., Астанин В.В. Деформационное поведение сплава BT22 после изотермической прокатки // Перспективные материалы. 2011. №12. С. 218-223.
10. Klassman E.Yu., Astanin V.V. Low-temperature superplasticity of VT22 titanium alloy // Letters on Materials. 2020. 10 (1), P. 10-15.

УДК 004.031.4

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМ ФОРМИРОВАНИЯ SCIENCE 4.0

### RESEARCH OF THE PROBLEMS OF SCIENCE 4.0 FORMING

Мехтиев Ш.А, Фаталиев Т.Х.,  
Институт информационных технологий НАНА,  
г. Баку, Азербайджан

Sh.A. Mehdiyev, T.Kh. Fataliyev,  
Institute of Information Technology of ANAS,  
Baku, Azerbaijan

e-mail: shakir.mehtieff@gmail.com

**Аннотация.** Возможности Индустрии 4.0, наряду с производственной сферой, стали предметом обсуждений и в научных кругах. Цифровая трансформация, технологии для сбора данных и их анализа в режиме реального времени, Интернет вещей, киберфизические системы, искусственный интеллект, машинное взаимодействие и облачные вычисления произвели революцию в области генерации, хранения, передачи и обработки данных. Это способствовало изменениям в традиционной научной деятельности и привело к появлению и развитию концепции Наука 4.0. В этом контексте актуальными стали вопросы организации и управления научной деятельностью, объединенных этой концепцией с широким использованием технологической платформы Индустрии 4.0. Данная работа посвящена исследованию проблем формирования Науки 4.0. Изучены основные принципы Индустрии 4.0, особенности применения ее базовых технологий и рассмотрены вопросы реконструкции научной среды на основе этих технологий. Разработаны концептуальные вопросы формирования Науки 4.0. Предполагается, что этот анализ внесет вклад в дальнейшее развитие решения этого вопроса.

**Abstract.** The possibilities of Industry 4.0, along with the manufacturing sector, have become the subject of discussion in academia. Digital transformation, technologies for data collection and analysis in real time, the Internet of Things, cyber-physical systems, artificial intelligence, machine interaction and cloud computing have revolutionized the generation, storage, transmission and processing of data. This contributed to changes in traditional scientific activities and led to the emergence and development of the concept of Science 4.0. In this context, the issues of organizing and managing scientific activities, united by this concept with the widespread use of the Industry 4.0 technology platform, have become relevant. This work is devoted to the study of the problems of the Science 4.0 forming. The basic principles of Industry 4.0, the features of the application of its basic technologies are studied, and the issues of reconstruction of the scientific environment based on these technologies are considered. Conceptual issues of the forming of Science 4.0 have been developed. This analysis is expected to contribute to the further development of the solution to this issue.

**Ключевые слова:** Индустрия 4.0, Наука 4.0, Интернет вещей, киберфизические системы, искусственный интеллект, аналитика больших данных.

**Keywords:** Industry 4.0, Science 4.0, Internet of Things, Cyber-physical systems, Artificial Intelligence, Big data analytics.

Известно, что со второй половины XVIII в. начинаются процессы перехода от аграрного общества к индустриальному обществу. В указанный период в ряде стран Западной Европы и Северной Америки в производственных целях использовались изобретения и усовершенствования, ставшие предпосылками индустриализации. Процесс индустриализации прошел несколько фаз, которые известны теперь как первая – четвертая промышленные революции. Отличительными чертами первых трех промышленных революций стали механизация, электрификация и информатизация соответственно.

Отсчет четвертой промышленной революции ведется с 2011 г., когда по инициативе федерального правительства Германии с участием университетов и частных компаний была анонсирована концепция Industry 4.0 [1]. Ее основная задача заключалась в развитии и внедрении инновационных информационных технологий в производственных системах с целью увеличения эффективности и конкурентоспособности национальной промышленности.

Industry 4.0 характеризуется высоким уровнем сложности и использованием полной сетевой интеграции продуктов и производственных процессов. Эта концепция представляет собой новый промышленный этап производственных систем путем интеграции набора новых и конвергентных технологий, которые повышают ценность всего жизненного цикла продукта. Industry 4.0 основана на передовом производстве или также на концепции интеллектуального производства, т.е. на адаптируемой системе, в которой гибкие линии автоматически регулируют производственные процессы для различных типов продуктов и меняющихся условий. Это позволяет повысить качество, производительность и гибкость, а также может помочь выпускать индивидуализированные продукты в больших масштабах и устойчивым образом с лучшим потреблением ресурсов.

Необходимо отметить, что промышленные революции и наука взаимосвязаны. Их развитие и формирование происходили параллельно. Можно предположить, что именно научно-технические достижения стали основой промышленных революций. И в то же самое время промышленные революции способствовали становлению новых научных направлений, адаптации науки к потребностям общества. Отметим, что в соответствии с фазами промышленных революций в работе [2] рассмотрены четыре вектора развития науки. В этом смысле четвертый вектор науки определяется нами как Science 4.0, в которой находят широкое применение киберфизические системы (КФС), искусственный интеллект (ИИ), Интернет вещей (ИВ), облачные вычисления, большие данные и другие инновационные технологии Industry 4.0.

В самом широком смысле наука – это высокоспециализированная сфера деятельности, которая дает объективные знания о мире, в том числе о человеке. Она включает в себя большой объем доказательств, собранных в результате неоднократных наблюдений и экспериментов, а целями ученых являются систематизация, обработка, распространение и применение объективных знаний и информации о сути событий и реальности. Знания – это хорошо структурированные данные и метаданные. Одним из основных компонентов общей системы знаний является научное знание, под которым понимается главный научный взгляд на мир, потому что он описывает законы его развития. Научное знание обычно рассматривается на двух уровнях: эмпирическом и теоретическом. Каждый из этих уровней использует свои собственные специфические методы исследования и имеет равное значение для научного знания в целом.

Эмпирическое знание возникает в результате прямого контакта с реальностью при наблюдении или на практике. Наука основана на эмпирически подтвержденных фактах. На эмпирическом уровне факты собираются, первоначально систематизируются и классифицируются. Эмпирическое знание позволяет формировать эмпирические правила, закономерности и законы, статистически выведенные из наблюдаемых событий. Основные методы эмпирического познания включают эксперимент, наблюдение, измерение, сравнение и описание полученных данных.

Суть теоретического знания – это попытка описать, объяснить и систематизировать эмпирически определенные процессы и закономерности, а также охватить всю действительность.

На обоих уровнях научных знаний возникают проблемы хранения, обработки и анализа больших объемов данных, собранных в результате исследований. Кроме того, для больших данных характерны также частота использования, жизненный цикл и другие свойства. Данные, имеющие особую важность для исследования, можно разделить на группы, такие как, данные наблюдений, экспериментов и вычислений. Эти данные также являются источником скрытых знаний, и извлечение знаний на их основе всегда было актуальной проблемой.

Взаимосвязь данных и знаний наглядно отображена в модели пирамиды знаний – DIKW (Data, Information, Knowledge, Wisdom: данные, информация, знания, мудрость) на рисунке 1<sup>1</sup>. Она является одной из фундаментальных, широко признанных моделей, которая используется в определениях данных, информации и знаний.

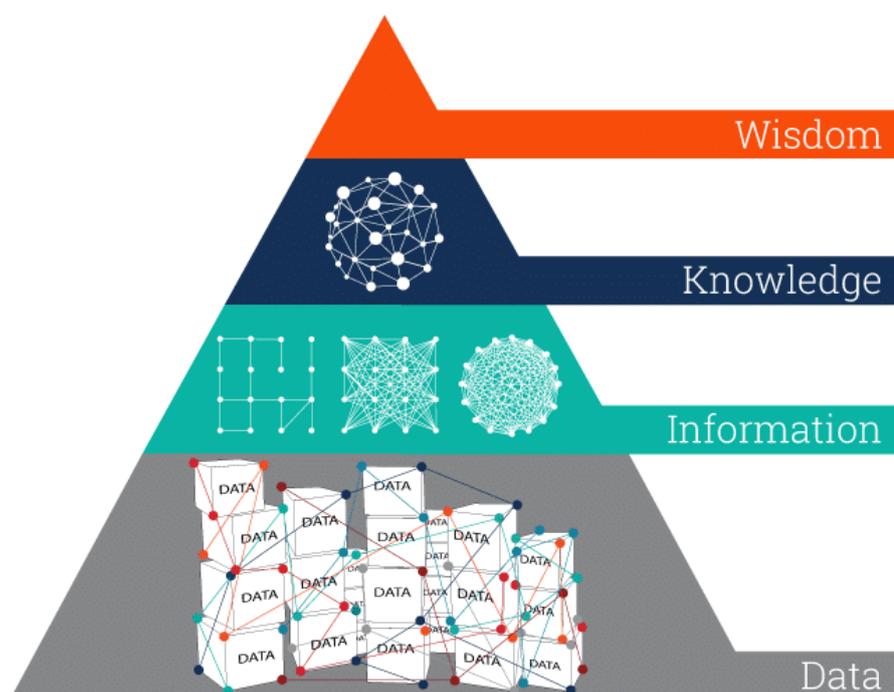


Рисунок 1. Модель пирамиды знаний DIKW

В пирамиде отображена информационная иерархия уровней, где каждый уровень добавляет определённые свойства к предыдущему уровню:

- в основании находится уровень доступных данных.
- информация добавляет контекст.
- знание добавляет «как» (механизм использования).
- мудрость добавляет «когда» (условия использования).

<sup>1</sup> <https://clck.ru/W9Poi>

Неявное предположение состоит в том, что данные можно использовать для создания информации, информацию для создания знаний, а знания для создания мудрости.

Исходя из этой пирамиды, можно предположить, что для научной деятельности характерны сбор, хранение, обработка, передача и анализ научных данных, научное описание и прогнозирование на основе моделей, интеллектуальная организация научной деятельности и управление наукой. В данном контексте можно заметить, что именно огромный потенциал Industry 4.0 привел к появлению и развитию концепции Science 4.0.

Рассмотрим некоторые решения конкретных задач в научной среде, связанные с использованием основных технологий Industry 4.0.

В [3] предложено использовать такую область ИИ, как машинное обучение, в морфологических классификациях изображений телескопа в проекте астрофизики Sloan Digital Sky Survey DR6, а в [4] – глубокие нейронные сети в прогнозе структуры белков в генетике.

В [5] рассматриваются самоуправляемые лаборатории (self-driving laboratories), как альтернатива классическим лабораториям. Автоматизированные платформы на основе машинного обучения, нейролингвистического программирования, управления знаниями, интеллектуального контроля и Big data аналитики на основе облачных услуг позволяют проведение в научных лабораториях полностью автономных экспериментов. Создание автономной лаборатории – это многопрофильная задача, сочетающая в себе самые разные области исследований. Методы машинного обучения и моделирования используются для прогнозирования свойств материалов и предложения новых экспериментов, а робототехника, дополненная и виртуальная реальности, автоматизированные методы определения характеристик используются для проведения экспериментов и анализа результатов.

В то же самое время эффективная научная деятельность требует комплексного подхода к управлению материально-технической базой науки. В [6] представлена структура технического обслуживания Intelligent Maintenance и обсуждены ее ключевые компоненты. Это платформа обслуживания на основе ИИ и ИВ, которая сочетает в себе сбор, передачу и хранение данных в реальном времени с помощью беспроводных датчиков и технологий больших данных, непрерывное обучение и развертывание моделей машинного обучения.

Применение технологий Industry 4.0 также актуально для решения создания надежной и эффективной инфраструктуры науки. Следует отметить, что схожие тенденции характерны для умного университетского кампуса, состоящего из набора инфраструктур, таких как, классы, библиотеки, лаборатории, факультеты и компьютерные системы, где университетское сообщество может разрабатывать мероприятия для своего обучения [7].

В [8] обсуждаются современные тенденции применения КФС в среде науки. Эти применения охватывают все этапы, начиная от сбора, хранения, обработки и анализа данных исследований, а также решение проблем управления наукой. Приведен пример платформы Web-Oriented Automation System как прототип веб-платформы, которая позволяет интегрировать службы КФС и использовать функциональные системы на основе браузера для создания и эксплуатации лаборатории для удаленных экспериментов через Интернет с использованием технического оборудования и систем.

Необходимо отметить, что в научном методе наблюдается переход, например, от единичных наблюдений к крупномасштабной обработке данных. Этот прогресс требует новых моделей инфраструктуры для поддержки научных исследований. Технологии облачных, туманных и граничных вычислений находятся в авангарде этого сдвига. Они сочетают высокопроизводительные вычисления наряду с доступом через Интернет,

совместную работу и интеллектуальный анализ данных. В [9, 10] рассмотрены проблемы больших данных, возникающие в результате применения решений Industry 4.0 в научной среде, и даны конкретные подходы к их эффективным решениям.

Таким образом, рассмотренные сопутствующие работы подтверждают, что Industry 4.0 имеет большой потенциал для развития науки. При этом актуальной является реконструкция науки, как корпоративной среды Science 4.0 на основе решений Industry 4.0.

Следует отметить, что формирование Science 4.0 на основе единой концепции является сложной проблемой и требует финансовой, нормативной, технической и технологической поддержки, и поэтому должно осуществляться поэтапно. Здесь следует учитывать следующее:

- развитие сетевой и вычислительной инфраструктуры, хранилищ данных в соответствии с новыми требованиями;
- внедрение нового поколения интеллектуальных датчиков, исполнительных механизмов, беспроводных сенсорных сетей, усилителей ИИ, графических процессоров, процессоров параллельной обработки и др.;
- специальное программное обеспечение;
- разработку систем по их назначению;
- развитие научной деятельности и управление наукой с учетом новых требований;
- обеспечение информационной безопасности и др.

Для успешной реализации концепции Science 4.0 в первую очередь важно наличие ИТ-инфраструктуры, а также удовлетворение других требований. Так, в работе [1] исследованы критические факторы, влияющие на внедрение Industry 4.0. Отмечено, что факторы ИТ-инфраструктуры и размер компании имеют положительную, а нехватка финансовых ресурсов, несоответствие навыков сотрудников, нежелание изменений и стадия их зрелости – отрицательную корреляцию, связанную с внедрением процедур Industry 4.0. В дополнение к этим результатам описаны такие достигаемые преимущества, как повышение конкурентоспособности, гибкости, качества и эффективности, снижение затрат. Однако, необходимо предусмотреть и отрицательные воздействия – это киберриски и требования систем безопасности.

В рамках концепции Science 4.0 наука рассматривается как корпоративная среда, и под ее физической инфраструктурой подразумеваются телекоммуникационные сети, центры обработки данных, исследовательские лаборатории, здания, электричество, логистика и т. д. Такая интегрированная КФС должна обеспечить:

- в отношении зданий – бесперебойное электроснабжение и водоснабжение; климат-контроль; контроль доступа; охрану зданий и видеонаблюдение; управление материалами и оборудованием; мониторинг оборудования; управление зданием, обнаружение и предупреждение об опасности и т.д.;
- обслуживание сетевых ресурсов, средств и оборудования; сетевой мониторинг и кибербезопасность; электронные услуги; постоянную диагностику и др.;
- управление и безопасность информационного обеспечения науки;
- интеграцию Industry 4.0 в среду научных исследований.

В заключении отметим, что при реализации концепции Science 4.0 возможна проекция следующих особенностей Industry 4.0: интероперабельность, модульность, гибкость, виртуализация, децентрализация, оптимизированное принятие решений в режиме реального времени и др. Например, существенно возрастает «скорость» науки, что было продемонстрировано при разработке вакцины от COVID-19.

## Выводы

Технологическая платформа четвертой промышленной революции, отраженная в концепции Industry 4.0, оказывает решающее влияние на все сферы человеческой деятельности: экономику, государственное управление, социальную сферу. В то же самое время в научной сфере она непосредственно влияет как на процессы проведения исследований, так и на использование результатов исследований в виде инноваций, а также на управление наукой и взаимодействие науки и общества. Анализ сопутствующих работ по применению в науке основных технологий Industry 4.0, таких как ИВ, КФС, ИИ, больших данных и др. подтверждает, что Industry 4.0 открывает новые перспективы для развития науки. Реконструкция науки как корпоративной среды на основе единой концепции Science 4.0, основанной на решениях Industry 4.0, позволит повысить эффективность научной деятельности и поддержит предоставление многогранных решений для оперативного управления наукой. Изучены концептуальные вопросы формирования Science 4.0 и даны основные направления их решения.

## Литература

1. Balasingham K. Industry 4.0: Securing the Future for German Manufacturing Companies [Электронный ресурс]. – URL:<https://clck.ru/W8r2s> (дата обращения: 01.04.2021)
2. Малыгин И.Г., Комашинский В.И., Цыганов В.В. От Науки 4.0 к России 4.0 [Электронный ресурс]. – URL:<https://clck.ru/W8r6f> (дата обращения: 01.04.2021)
3. Banerji M., et al. Galaxy Zoo: reproducing galaxy morphologies via machine learning. // Mon. Not. R. Astron. Soc.– 2010. – Vol. 406. – pp. 342-353.
4. Senior W., et al. Improved protein structure prediction using potentials from deep learning // Nature. – 2020. – Vol. 577. – pp. 706-710.
5. Häse F., Roch L., Aspuru-Guzik A. Next-Generation Experimentation with Self-Driving Laboratories // Trends in Chemistry. – 2019. – Vol. 1, is. 3. – pp. 282-291.
6. Zheng H., Paiva A., Gurciullo Ch. Advancing from Predictive Maintenance to Intelligent Maintenance with AI and IIoT // Computer Science, Mathematics, ArXiv, September 2020 [Электронный ресурс]. – URL:<https://clck.ru/W8rFk> (дата обращения: 01.04.2021)
7. Villegas-Ch W., Palacios-Pacheco X., and Luján-Mora S. Application of a smart city model to a traditional university campus with a Big data architecture: A sustainable smart campus // Sustainability. – 2019. – Vol. 11, №10. – p. 2857.
8. Fataliyev T.Kh., Mehdiyev Sh.A. Integration of Cyber-Physical Systems in E-Science Environment: State-of-the-Art, Problems and Effective Solutions // I.J. Modern Education and Computer Science. – 2019. – №9. – pp. 35-43.
9. Fataliyev T.Kh., Mehdiyev Sh.A. Research of the technology for the management and processing of big scientific data // Problems of Information Society. – 2019. – №2. – pp. 60-70.
10. Фаталиев Т.Х., Мехтиев Ш.А. Децентрализация обработки больших данных в среде электронной науки // Информационные технологии: проблемы и решения. – 2019. – Т. 8, №3. – С. 17-22.

УДК 004.912

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ПОМОЩНИК ПРЕПОДАВАТЕЛЯ****AUTOMATIZED TEACHER ASSISTANT**

Хлыбов А.В., Чурилов Д.А.,  
Уфимский государственный нефтяной технический университет,  
ул. Космонавтов, 1, г. Уфа, Республика Башкортостан, 450064, Россия

A.V. Khlybov, D.A. Churilov,  
Ufa State Petroleum Technological University,  
Kosmonavtov Str., 1, Ufa, Republic of Bashkortostan, 450064, Russia

e-mail: brinkinvision@gmail.com

**Аннотация.** Статья посвящена проблеме составления документации, разработка которой требует высоких трудозатрат, в российских высших учебных заведениях. Предлагается система, которая обеспечивает автоматизацию процесса написания документов, что позволяет повысить эффективность за счет экономии времени и минимизации возникающих ошибок. Экономия времени может происходить не только на стадии составления и разработки, но и при согласовании документов с руководством. Это достигается при помощи разработанной методики оценки написанного текста. Процесс оценки заключается в следующем: текст векторизуется с помощью предобученной языковой модели, затем рассчитывается семантическое расстояние между полями, и происходит сравнение с некоторым заданным порогом. В статье рассмотрены два случая использования методики на примере рабочих программ учебных дисциплин. В случае оценки формулировок критериев оценивания знаний студентов в качестве порога используется значение коэффициента детерминации при параболической аппроксимации, а при оценке результатов обучений, соответствующих компетенциям, порогом выступают значения расчета метрик семантической близости. Методика является гибкой и может быть использована при оценке различных полей, необходимо лишь провести несколько экспериментов и внести соответствующие изменения. Также планируется обеспечить систему опцией «генерация по ключевым словам», что позволит либо самостоятельно заполнить поле текстом, либо сгенерировать его. Генерация будет происходить с помощью предобученной модели GPT-2.

**Abstract.** The article is devoted to the problem of drawing up documentation, the development of which requires high labor effort, in Russian higher educational institutions. A system is proposed that provides automation of the process of writing documents, which improves efficiency by saving time and minimizing errors that occur. Saving time can occur not only at the stage preparation and development, but also during the coordination of documents with the management. This is achieved using the developed methodology for evaluating the written text. The evaluation process is as follows: the text is vectorized using a pre-trained language model, then the semantic distance between the fields is calculated, and a comparison is made with some predetermined threshold. The article discusses two cases of using the methodology on the example of the educational programs of academic disciplines. In the case of evaluating the formulations of the students' knowledge assessment criteria, the value of the determination coefficient in the parabolic approximation is used as a threshold, and when evaluating the educational outcomes corresponding to competencies, the threshold is the values

for calculating metrics of semantic similarity. The technique is flexible and can be used to evaluate different fields, it is only necessary to carry out a few experiments and make the appropriate changes. It is also planned to provide the system with the option “generation by keywords”, which will allow you to either fill in the field with text on your own, or generate it. Generation will be done using the pre-trained GPT-2 model.

**Ключевые слова:** федеральный государственный образовательный стандарт, профессорско-преподавательский состав, векторное представление, семантическая близость, косинусная мера, евклидово расстояние.

**Keywords:** federal state educational standard, teaching staff, vector representation, semantic similarity, cosine measure, euclidean distance.

В процессе своей деятельности профессорско-преподавательский состав сталкивается с необходимостью разработки и заполнения различной документации [1]. Данный процесс в основной своей сути является неавтоматизированным, сопровождающимся большими затратами времени и возникновением ошибок. Трата времени уходит не только на процесс написания документов, но и на согласование их с руководством.

Целью данной работы является решение проблемы увеличения нагрузки на преподавателей, связанной с составлением документов.

Для решения проблемы предлагается автоматизированная система помощи преподавателю. Система направлена на совершенствование процесса написания документов за счет экономии времени и максимальной минимизации возникающих ошибок. Информационная система поддержки преподавателя позволяет автоматизировать процесс написания большинства документов, необходимых в образовательном процессе российских высших учебных заведений.

Концепция проекта следующая. Система представляет собой веб-приложение, внедряемое в существующую информационную систему методического обеспечения учебного процесса университета.

Принцип работы:

- 1) Преподаватель авторизуется в информационной системе своего университета;
- 2) Для работы с необходимыми документами выбирается соответствующий онлайн-шаблон;
- 3) Заполняются пустые поля в соответствии с наименованиями полей;
- 4) Существуют поля, которые уже заполнены по умолчанию и не позволяют редактирование (например, относящиеся к стандартам оформления). Благодаря этому при появлении нового образовательного стандарта документ автоматически переделывается под новый стандарт. Затем нужно лишь заполнить недостающие поля и изменить содержание написанного при необходимости.

Также для некоторых полей предусмотрена опция «генерация по ключевым словам». Генерация происходит с помощью предобученной модели GPT-2 [2, 6].

- 5) После заполнения полей необходимо произвести оценку написанного. На примере рабочих программ учебных дисциплин (бакалавры, год поступления 2016) можно привести два случая оценки, когда возникают ситуации неоднозначности описаний, когда возможно формализовать процесс их создания. Первый случай представляет собой оценку формулировок критериев оценивания знаний студентов.

Данные формулировки можно разделить на две группы:

- с преимущественным текстовым описанием (таблица 1);
- с преимущественным числовым описанием (таблица 2).

Таблица 1 – Примеры числовых критериев оценивания знаний

Оценка	Критерий
1. Аналитическая химия	
5	объем положительных ответов не менее 90%; студент правильно излагает законы, понятия, обосновывает их и умеет применять для решения проблемных задач
4	объем положительных ответов не менее 80%; студент правильно излагает законы, понятия, обосновывает их и умеет применять для решения конкретных задач
3	объем положительных ответов составляет не менее 60%; студент правильно излагает основные законы, понятия
2	на все вопросы отвечает поверхностно или не по существу; не может решить задачи даже с помощью преподавателя; не продемонстрировал теоретических знаний, необходимых для решения задач
2. Теоретические основы химической технологии топлива и углеродных материалов	
5	полное выполнение задания без ошибок или с незначительными арифметическими ошибками (задание выполнено не менее, чем на 90%)
4	есть незначительные ошибки и задание выполнено не менее, чем на 75%
3	выполнение задания более 60%, но менее 75%
2	задание не выполнено или выполнение задания менее 60%
3. Общая и неорганическая химия	
5	Дан исчерпывающий ответ на все вопросы задания
4	Дан ответ на 80% вопросов в задании
3	Дан правильный ответ на 60-79% вопросов задания
2	Дан ответ на менее 60% вопросов задания

Таблица 2 – Примеры текстовых критериев оценивания знаний

Оценка	Критерий
1. Безопасность жизнедеятельности	
5	показал <b>всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала</b> , предусмотренного программой по ГОС; усвоил основную и знаком с дополнительной литературой по программе; усвоил взаимосвязь основных понятий дисциплины; умеет творчески и осознанно применять полученные знания к анализу и решению практических задач
4	обнаружил <b>полное знание учебного материала</b> , предусмотренного программой; успешно ответил на все вопросы экзаменационного билета с одним небольшим недочетом; усвоил основную литературу, рекомендованную программой дисциплины, способен к самостоятельному пополнению и обновлению знаний в ходе дальнейшей профессиональной деятельности
3	обнаружил <b>знание основного учебного материала</b> , предусмотренного программой, в объеме необходимом для работы по специальности, знает основную литературу, рекомендованную программой; справился с выполнением заданий, предусмотренных программой, но допустил погрешности в ответе на экзамене; обладает необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя
2	обнаружил <b>пробелы в знании основного материала</b> , предусмотренного программой, допустил принципиальные ошибки при ответе на экзаменационные вопросы, не выполнил отдельные задания, предусмотренные формами текущего контроля. Ответ студента на экзамене свидетельствует о том, что он не может продолжить обучение или приступить к профессиональной деятельности по окончании вуза без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине

Продолжение таблицы 2

Оценка	Критерий
2. Системы управления химико-технологическими процессами (СУХТП)	
5	ответы на поставленные вопросы излагаются логично, последовательно и не требуют дополнительных пояснений. Делаются обоснованные выводы. Демонстрируются <b>глубокие знания учебного материала</b> . Соблюдаются нормы литературной речи
4	ответы на поставленные вопросы излагаются систематизировано и последовательно. Материал излагается уверенно. Демонстрируется <b>умение анализировать материал, однако не все выводы носят аргументированный и доказательный характер</b>
3	в последовательности изложения допускаются неточности. Демонстрируются <b>поверхностные знания вопроса</b> , с трудом решаются конкретные задачи. Имеются затруднения с выводами
2	материал излагается <b>непоследовательно, сбивчиво, не представляет определенной системы знаний по дисциплине</b> . Не проводится анализ. Выводы отсутствуют. Ответы на дополнительные вопросы отсутствуют
3. Дискретная математика	
5	студент показывает <b>всестороннее и глубокое знание программного материала</b> , умение свободно выполнять задание и решать задачи по программе курса, проявляет творческие способности в понимании, изложении и применении учебного материала
4	студент показывает <b>полное знание программного материала</b> , способен к самостоятельному выполнению и обновлению знаний в ходе дальнейшей учёбы и профессиональной деятельности
3	студент показывает <b>знание основного учебно-программного материала</b> в объёме, необходимом для дальнейшей учёбы и профессиональной деятельности, но не в полной мере справляется с выполнением заданий, предусмотренных программой
2	студент, показывает <b>пробелы в знании основного учебно-программного материала</b> , допускает принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий

Формулировки критериев таблицы 1 обладают универсальным характером, однако, возникает ситуация неоднозначности, когда не понятно, что представляет из себя 100% знания дисциплины.

При рассмотрении таблицы 2 сначала можно прийти к выводу, что присутствующие в ней формулировки обладают достаточной полнотой и однозначностью в понимании. При более внимательном рассмотрении оказывается, что эти формулировки похожи по смыслу на числовые, только процент или доля объема необходимого знания материала выражается в словах (в таблице это отражено с помощью выделения жирным шрифтом тех фраз, которые словами выражают некоторый объем знания).

В статье [3, 7] была предпринята успешная попытка оценки формулировок критериев оценивания знаний, что позволило в некоторой степени формализовать и автоматизировать процесс их создания.

Таким образом, выполняются следующие шаги при оценке формулировок критериев оценивания.

Сначала описания формулировок превращаются в соответствующий вектор для каждой из оценок. Для этого используется предобученная языковая модель [4, 5].

Далее происходит расчет семантического расстояния между формулировками с применением косинусной меры и евклидова расстояния. Расчет проводится следующим

образом: берется вектор формулировки для оценки «2» и один из векторов оставшихся оценок («3», «4» или «5»). Рассчитываются по два значения семантического расстояния, соответствующих косинусной мере и евклидовому расстоянию. Затем берется следующее значение и так далее. Получилось три значения («2-3», «2-4» и «2-5») для косинусной меры и три значения для евклидова расстояния.

Далее проводится аппроксимация полиномом второй степени полученных значений (рисунки 1 и 2). Значение «2-2» для косинусной меры равно 1, для евклидова расстояния – 0.

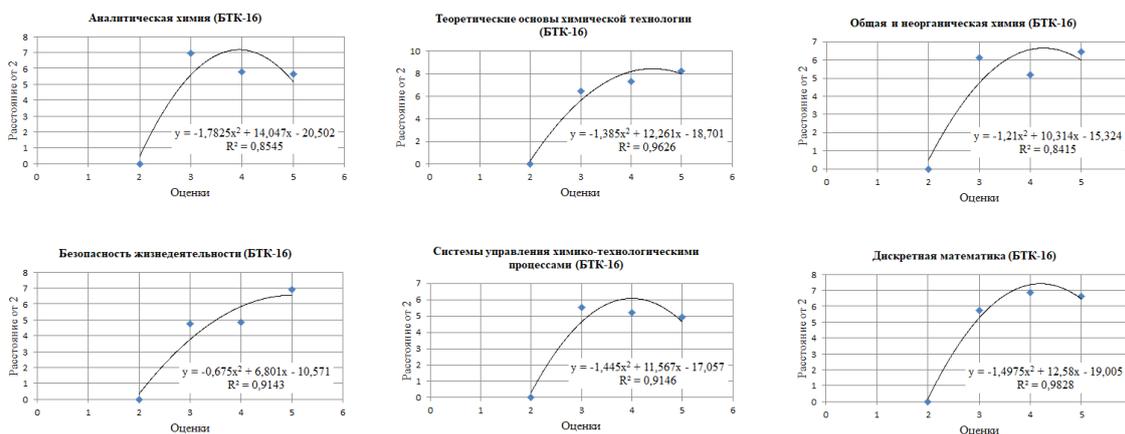


Рисунок 1. Аппроксимация значений, полученных с помощью евклидова расстояния

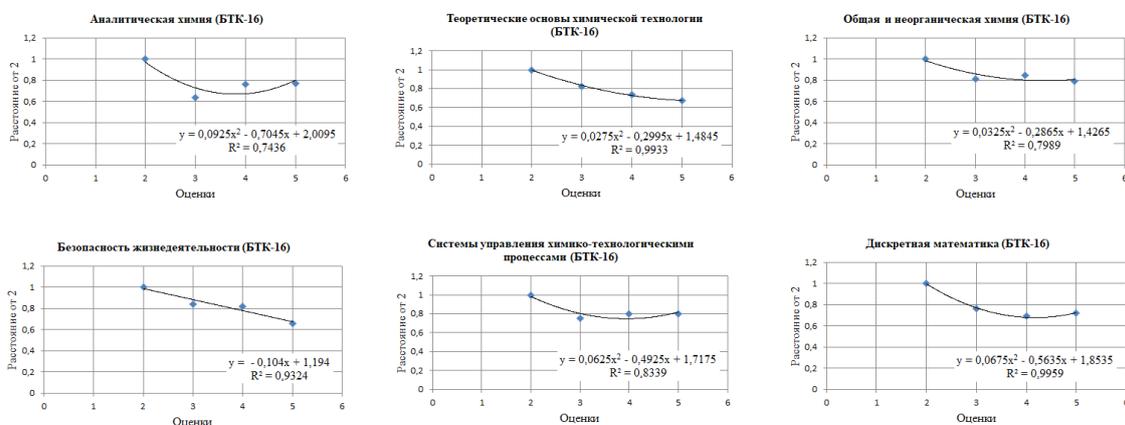


Рисунок 2. Аппроксимация значений, полученных с помощью косинусной меры

Таким образом, было установлено, что в качестве порога необходимо использовать значение коэффициента детерминации  $R^2=0,95$ .

Вторым случаем, когда производится оценка написанного в рабочих программах учебных дисциплин, являются формулировки результатов обучения.

В данном случае методика видоизменяется, поскольку в критериях оценивания понятен порядок их следования, расположение в пространстве.

Результаты обучения («знать», «уметь», «владеть») не следуют друг за другом, как в случае критериев оценивания, то есть не ясно их расположение в пространстве.

При оценке результатов обучения принимается, что их векторы перпендикулярны друг другу.

Отсюда следует, что при расчете косинусная мера таких векторов должна быть равна 0, а евклидово расстояние  $\infty$ .

В ходе анализа результатов расчета метрик для результатов обучения было установлено, что в качестве порога в данном случае необходимо использовать следующие значения: евклидово расстояние – диапазон от 6,5 до 7,5, косинусная мера  $\approx 0,6$ .

Примеры соответствующих этим значениям формулировок результатов обучения представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Примеры формулировок результатов обучения

Шифр компетенции	Результат обучения
Начертательная геометрия (УГНТУ, группа БАР-16)	
ОПК-1	Знать: – применять методы и свойства геометрического моделирования при решении задач в профессиональной деятельности
	Уметь: – воспринимать оптимальное соотношение частей и целого на основе графических моделей, практически реализуемых в виде чертежей конкретных пространственных объектов
	Владеть: – основными законами формирования, построения и взаимного пересечения геометрических моделей плоскости и пространства
Управление техносферной безопасностью (УГНТУ, группа ББП-16)	
ПК-11	Знать: – о безопасности производственных помещений, состоянии строительных конструкций, зданий и оборудования в условиях техногенных аварий; принципы обеспечения устойчивости объектов в ЧС
	Уметь: – ориентироваться в основных нормативно-правовых актах в области обеспечения промышленной безопасности
	Владеть: – способностью предлагать и обосновывать мероприятия по обеспечению безопасности на опасном производственном объекте

## Выводы

В статье была предложена система автоматизации процесса составления документов, которые необходимы в образовательном процессе.

В основу системы положена разработанная методика оценки, которая позволяет отбрасывать неудачные формулировки и экономить время за счет автоматизированной проверки. Таким образом, можно уменьшить трудоемкость процесса составления документов и сократить время на их согласование с руководством.

## Литература

1. Блинов В.И., Виненко И.С., Сергеев И.С. Методика преподавания в высшей школе. М.: Юрайт. 2015. 315 с.
2. Ferguson D. Better Language Models and Their Implications [Электронный ресурс]. 2019. URL:<https://clck.ru/W8vtM> / (дата обращения: 15.04.21).
3. Гиниятуллин В.М., Салихова М.А., Хлыбов А.В., Чурилов Д.А., Чурилова Е.А. Оценка семантической близости между критериями оценивания в рабочих программах

вуза // Современные наукоемкие технологии, 2021. №1. С. 12-19.

4. Peters M.E., Neumann M., Iyyer M., Gardner M., Clark C., Lee K., Zettlemoyer L. Deep contextualized word representations [Электронный ресурс]. 2018. URL:<https://arxiv.org/abs/1802.05365> (дата обращения: 15.04.21).

5. Pre-trained embeddings. ELMO on Russian WMT News [Электронный ресурс]. URL:<https://clck.ru/SguY9>. (дата обращения: 15.04.21).

6. Экологический аспект нефтепереработки и нефтехимии Башкортостана Филиппов В.Н., Хлесткин Р.Н. Башкирский химический журнал. 2004. Т. 11. №5. С. 52-54.

7. Анализ особенностей проектирования информационных систем. Филиппова А.Г., Белозёров Е.С., Филиппов В.Н. Нефтегазовое дело. 2012. Т. 10. №3. С. 125-129.

УДК 004.621.791:624.078.45

## РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ СВАРНЫХ ТАВРОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

### RATIONAL DESIGN AND MANUFACTURE OF T-SHAPED WELDED JOINTS

<sup>1,2</sup>Ерофеев В.В., <sup>3</sup>Игнатъев А.Г., <sup>2</sup>Олейник Н.И., <sup>1</sup>Петров В.А., <sup>2</sup>Щепеткин В.В.,

<sup>1</sup>Уфимский государственный нефтяной технический университет,  
ул. Космонавтов, 1, г. Уфа, Республика Башкортостан, 450064, Россия

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Южно-Уральский государственный аграрный университет,  
г. Троицк, Российская Федерация,

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО Южно-Уральский государственный университет,  
г. Челябинск, Российская Федерация

V.V. Erofeev<sup>1,2</sup>, A.G. Ignatiev<sup>3</sup>, N.I. Oleinik<sup>2</sup>, V.A. Petrov<sup>1</sup>, V.V. Shchepetkin<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Ufa State Petroleum Technological University,  
Kosmonavtov Str., 1, Ufa, Republic of Bashkortostan, 450064, Russia

<sup>2</sup>FSBEI HE «South Ural State Agrarian University»,  
Troitsk, Russian Federation,

<sup>3</sup>FSAEI HE «South Ural State University»,  
Chelyabinsk, Russian Federation

e-mail: [ervv52@mail.ru](mailto:ervv52@mail.ru)

**Аннотация.** Тавровых сварные соединения широко распространены в различных отраслях народного хозяйства. Они составляют около 70% от объема сварных соединений. В настоящей работе предлагается один из подходов рационального конструктивно-технологического проектирования и изготовления тавровых сварных соединений. Предлагаемый подход заключается в переходе технологии сварки металлоконструкций на выполнение тавровых соединений неравнокатетными швами. Предложены расчетные соотношения для различных дуговых способов сварки – ручной, механизированной, автоматической. Они позволяют определить оптимальные конструктивно-геометрические параметры тавровых соединений – размеры катетов, глубину проплавления и т.п., а также технологические параметры сварки – наклон

электродов, их смещение относительно вершины прямого угла в основании шва. Применение предложенного подхода обеспечивает максимальную несущую способность тавровых соединений при сохранении объема наплавленного металла в процессе изготовления металлоконструкций.

**Abstract.** T-welded joints are widespread in various sectors of the national economy. They make up about 70% volume of welded joints in critical metal structures. In this paper we propose approach for rational structural and technological design and manufacture of T-welded joints. It approach consists changing the welding metal structures technology to perform T-welded joints with unequal seams. Calculated ratios are proposed for various arc welding methods – manual, mechanized, automatic. These ratios make it possible to determine the optimal structural and geometric parameters for T-welded joints – the cathetus dimensions, the depth of penetration, etc. These ratios also allow us to determine the welding technological parameters – the electrodes inclination and displacement relative to the top of the right angle at the seam base. Approach application ensures the maximum bearing capacity of T-welded joints with maintaining the deposited metal volume during the metal structures fabrication.

**Ключевые слова:** сварка, сварные соединения, тавровые соединения, равнокатетный шов, проектирование, изготовление.

**Keywords:** welding, welded joints, T-welded joints, unequal seam, design, manufacture.

Исследования условий эксплуатации металлоконструкций в аварийных или близких к ним режимах показали, что во многих случаях необходимы новые расчетные подходы и технологические решения, способствующие повышению надежности и работоспособности их сварных соединений.

В нормативных документах [1, 2 и др.], регламентированы требования к сварным соединениям металлоконструкций, приведены типы сварных соединений и способы их изготовления.

В частности, основными типами соединений при изготовлении металлоконструкций являются тавровые соединения, выполненные равнокатетными угловыми швами.

Однако исследования, проведенные в работах [4-7 и др.], показали, что переход на сварку равнокатетными швами при сохранении объема наплавленного металла способствует повышению их прочности.

Данное обстоятельство не учитывается в расчетах на прочность рассматриваемых соединений, положенных в основу нормативных документов, которые не актуализированы до сих пор с учетом новых требований по ресурсосбережению.

С другой стороны, метод расчета на прочность сварных соединений с равнокатетными угловыми швами, положенный в основу нормативных документов, является в значительной степени условным.

В нем принимается, что разрушение угловых швов происходит на сдвиг под действием касательных напряжений по сечению, совпадающему с биссектрисой прямого угла, расположенного у основания шва, а глубина проплавления учитывается путем введения параметра

$$\beta_{45} = \frac{H_{\text{пр}}}{K},$$

зависящего от режимов и способа сварки (рисунок 1).

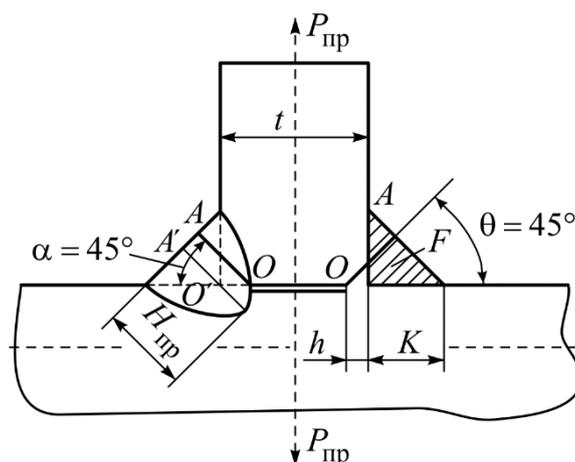


Рисунок 1. Общий вид таврового соединения с равнокатетными швами и принятая расчетная схема с учетом проплавления стенки  $h$

С учетом данных допущений величина предельной нагрузки  $P_{пр}$  для тавровых соединений, выполненных равнокатетными угловыми швами, определяется из следующего соотношения [3]:

$$P_{пр} = n[\tau']\beta_{45}Kl, \quad (1)$$

где  $[\tau']$  – допускаемое напряжение металла шва при чистом сдвиге,  $[\tau'] = (0,6 \dots 0,65)[\sigma']$ ;

$[\sigma'] = \sigma_B / k_B$  или  $[\sigma'] = \sigma_T / k_T$  – допускаемое напряжение металла шва при растяжении;

$\sigma_B, \sigma_T$  – предел прочности и предел текучести металла шва;

$k_B$  и  $k_T$  – коэффициенты запаса прочности по пределу прочности и текучести;

$K, l$  – соответственно катет и длина углового шва;

$n$  – количество угловых швов ( $n = 1$  – один шов, соединение типа Т1,  $n = 2$  – два шва, соединение типа Т3);

$\beta_{45}$  – коэффициент эффективности проплавления, определяющий относительную глубину проплавления в направлении сварочной дуги при сварке равнокатетными швами;

$H_{пр}$  – глубина проплавления.

В соответствии с рекомендациями работы [3] для расчета сварных тавровых соединений, выполненных с применением различных способов сварки, следует принимать:

$\beta_{45} = 0,7$  – для ручной дуговой сварки (РДС), многопроходной автоматической (АДС) и механизированной (МДС) сварки;

$\beta_{45} = 0,8$  – для двух и трехпроходной МДС;

$\beta_{45} = 0,9$  – для однопроходной МДС и двух- и трехпроходной АДС;

$\beta_{45} = 1,1$  – для однопроходной АДС.

В работе [8] была установлена связь между параметром  $\beta_{45}$ , и относительным параметром проплавления вертикальной стенки  $h/K$ ,

$$\beta_{45} = 0,7 \left( 1 + \frac{h}{K} \right). \quad (2)$$

Приведенное соотношение (2) позволяет оценить относительную глубину проплавления вертикальной стенки  $h/K$  для тавровых соединений с равнокатетными швами при использовании рассматриваемых способов сварки:

$$\frac{h}{K} = \frac{\beta_{45}}{0,7} - 1. \quad (3)$$

Не менее важной задачей является корректировка метода расчета, приведенного в нормативных документах [1, 2 и др.], позволяющая переход на сварку неравнокатетными швами.

Для решения поставленной задачи были приняты следующие условия и допущения.

1. Принималось, что геометрия неравнокатетных угловых швов, представляет собой правильный треугольник с катетами  $K_1$  и  $K_2$  и углом наклона лобовой грани  $\alpha \geq 45^\circ$  (рисунок 2).

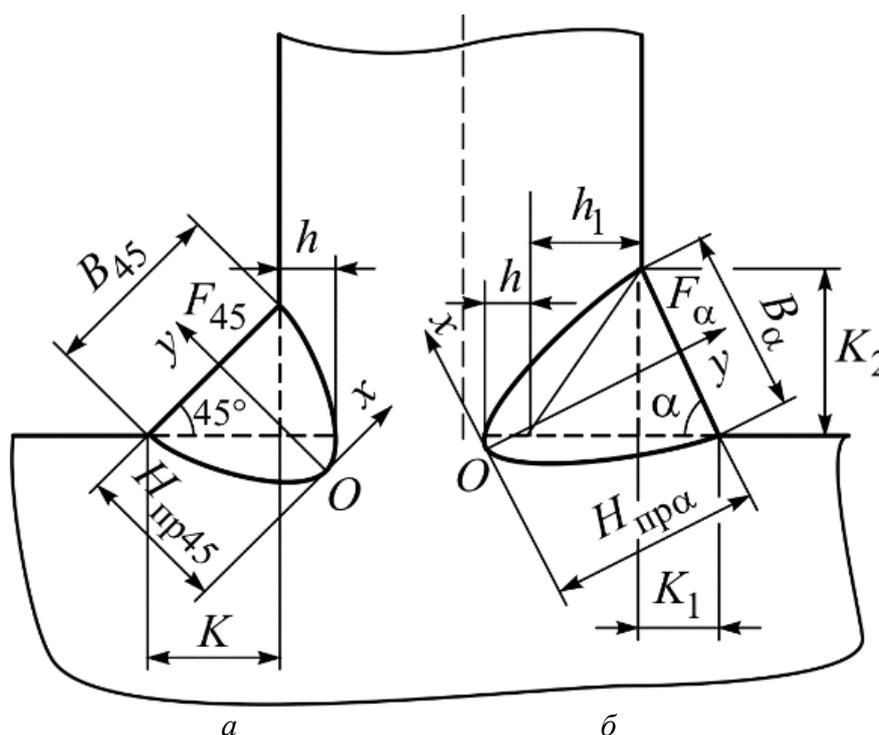


Рисунок 2. Геометрическая форма тавровых соединений при их выполнении равнокатетными (а) и неравнокатетными (б) швам

2. Переход на неравнокатетный шов при рассматриваемых способах сварки при углах  $\alpha \geq 45^\circ$  способствует обеспечению глубины проплавления  $h_1 > 0$ .

3. Изменение угла наклона шва  $\alpha \geq 45^\circ$  производили при условии обеспечения постоянной площади наплавленного металла  $F$ , т.е. при  $F_\alpha = F_{45}$ .

В соответствии с принятыми допущениями путем несложных геометрических преобразований было получено следующее расчетное соотношение для определения

глубины проплавления вертикальной стенки  $h_1$  при переходе на технологию изготовления металлоконструкций с применением неравнокатетных швов:

$$\frac{h_1}{K} = \frac{\operatorname{tg}^2 \alpha - 1}{2\sqrt{\operatorname{tg} \alpha}}. \quad (4)$$

Используя соотношения (3) и (4), было получено окончательное выражение для определения параметра  $\beta_\alpha$ , характеризующего несущую способность тавровых соединений при переходе на технологию изготовления дуговых способов сварки (РДС, МДС и АДС) с применением неравнокатетных швов ( $\alpha \geq 45^\circ$ )

$$\beta_\alpha = 0,7 \left( \frac{\beta_{45}}{0,7} + \frac{\operatorname{tg}^2 \alpha - 1}{2\sqrt{\operatorname{tg} \alpha}} \right). \quad (5)$$

На рисунке 3 представлены графические зависимости  $\beta_\alpha = \beta(\beta_{45}, \alpha)$  для рассматриваемых выше способов сварки, которые свидетельствуют о существенном повышении несущей способности сварных тавровых соединений при переходе на сварку неравнокатетными швами.

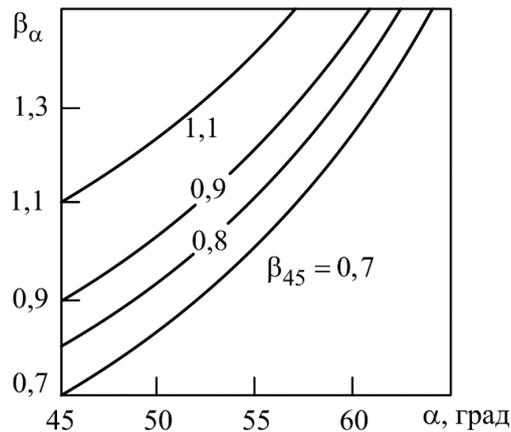


Рисунок 3. Зависимость  $\beta_\alpha = \beta(\beta_{45}, \alpha)$

Следует отметить, что полное проплавление вертикальной стенки рамной металлоконструкции ( $h_1 + h_2 = t/2$ ), гарантирующее максимальную несущую способность рассматриваемых соединений, происходит при следующем сочетании геометрических параметров угловых швов  $\alpha$ ,  $K/t$  при различных способах дуговой сварки (РДС, МДС и АДС), характеризующихся относительной глубиной проплавления  $\beta_{45}$  ( $\beta_{45} = 0,7 \dots 1,1$ ):

$$\frac{\operatorname{tg}^2 \alpha - 1}{\sqrt{\operatorname{tg} \alpha}} = \frac{1 - \frac{K}{t} \left[ 2\sqrt{2} (\beta_{45} - 0,7) \right]}{\frac{K}{t}}. \quad (6)$$

Полученное выражение (6) является итерационным и не решается в замкнутом виде относительно параметра  $\alpha$ .

С учетом того, что рекомендуемые параметры угловых швов – относительные катеты  $(K/t)_{\text{опт}}$  или относительные площади наплавленного металла  $(F/t)_{\text{опт}}$  – в соответствии с нормативными документами [2 и др.] находятся в диапазоне их значений  $1,0 \geq (K/t)_{\text{опт}} \geq 0,5$ , используя выражение (6) расчетным путем был определен оптимальный диапазон углов наклона неравнокатетных швов  $[\alpha]_{\text{опт}}$  при различных способах дуговой сварки (РДС, МДС и АДС) (рисунок 4).

Нетрудно заметить, что расчетная зависимость  $\alpha_{\text{опт}} = \alpha_{\text{опт}}(K/t, \beta_{45})$  может быть представлена линейными аппроксимированными зависимостями в виде

$$\begin{aligned} (K/t)_{\text{опт}} = 0,5; \quad \alpha_{\text{опт}} &= 63,25^\circ - 26,85^\circ(\beta_{45} - 0,7); \\ (K/t)_{\text{опт}} = 1,0; \quad \alpha_{\text{опт}} &= 56,25^\circ - 33,15^\circ(\beta_{45} - 0,7). \end{aligned} \quad (7)$$

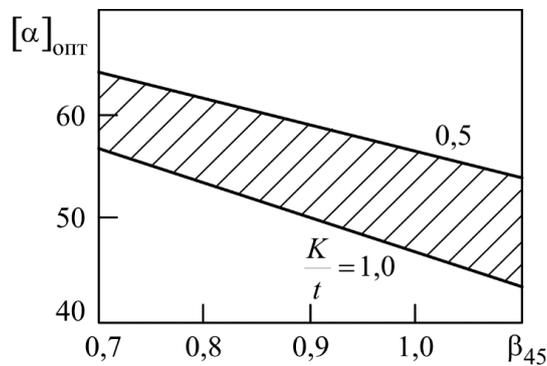


Рисунок 4. Диапазон оптимальных значений углов наклона неравнокатетных швов  $[\alpha]_{\text{опт}}$  в зависимости от относительных размеров  $(K/t)_{\text{опт}} = (2F/t)_{\text{опт}}$  и способов дуговой сварки ( $\beta_{45}$ )

Важным моментом при сварке тавровых соединений с применением технологии их изготовления неравнокатетными швами является установление координаты смещения электрода (или сварочной проволоки)  $z$  по отношению к вершине прямого угла у основания углового шва (рисунок 5).

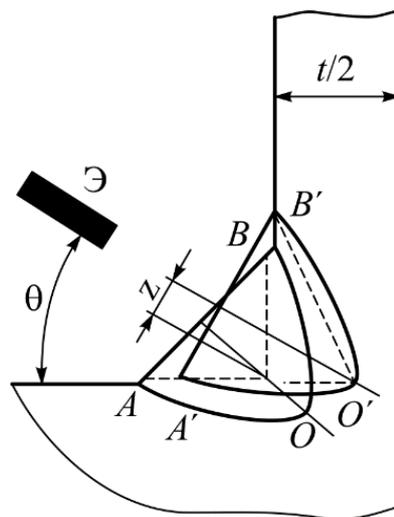


Рисунок 5. Сварка тавровых соединений наклонным электродом с применением неравнокатетных швов

Как показал анализ геометрической формы тавровых соединений, выполненных равнокатетными и неравнокатетными швами (см. рисунок 2), смещение оси  $x$  при переходе на сварку неравнокатетными швами  $z$  не зависит от величины проплавления  $h$  и определяется только углом наклона лобовой грани шва  $\alpha$  (рисунок 6):

$$\frac{z}{t} = \frac{K}{t} \left[ \frac{1}{2} \left( \sqrt{\frac{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}{\operatorname{tg} \alpha}} - \sqrt{2} \right) \right]. \quad (8)$$

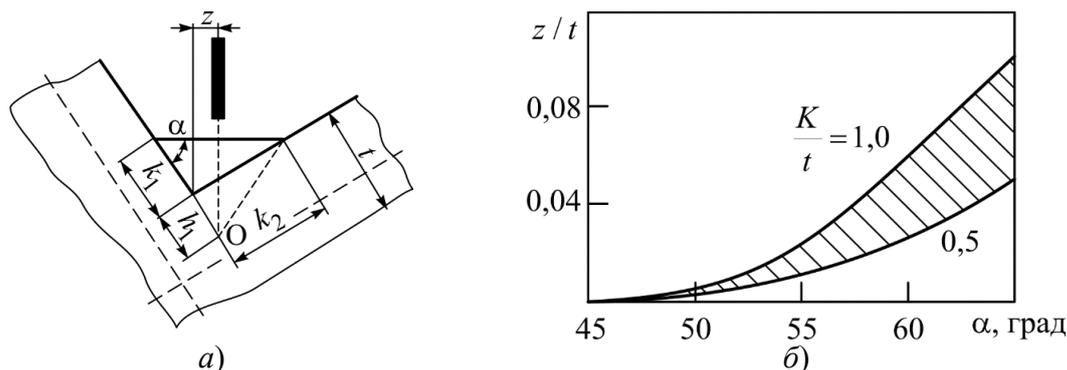


Рисунок 6. Зависимость  $z/t$  от угла наклона шва  $\alpha$  в диапазоне значений  $K/t$  [0,5; 1,0]

## Выводы

Таким образом, установлены оптимальные конструктивно-геометрические параметры сварных тавровых соединений  $\alpha_{\text{опт}}$ , позволяющие обеспечить их максимальную несущую способность при условии сохранения относительного объема наплавленного металла при использовании различных способов дуговой сварки (РДС, МДС и АДС), а также установить относительное смещение оси сварочной дуги  $z/t$  и угол наклона электрода  $\theta$ .

## Литература

1. ГОСТ 31385-2016. Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия (с поправками). М.: Стандартинформ, 2016.
2. СНиП-II-23-81\*. Стальные конструкции (с изменениями, с поправкой). М.: ЦИТП, 1990.
3. Николаев Г.А. Винокуров В.А. Сварные конструкции. Расчет и проектирование: учебник для вузов. М.: Высш. шк., 1990. 446 с.
4. О возможности уменьшения сечения угловых швов / А.Е. Аснис [и др.] // Автоматическая сварка. 1969. №5. С. 74.
5. Барышев В.М., Новиков Ю.А. Сокращение объема наплавленного металла в расчетных угловых швах стальных конструкций // Монтажные и специальные работы в строительстве. 1980. №8. С. 20-21.
6. О возможности уменьшения размеров катетов в сварных соединениях с угловыми швами / О.А. Бакши [и др.] // Прогрессивная технология сварки и резки металлов. Иркутск, 1979. С. 4-14.

7. Когут Н.С., Шахматов М.В., Ерофеев В.В. Несущая способность сварных соединений. Львов: Свит, 1991. 184 с.

8. Решение вопросов ресурсосбережения на стадии конструктивно-технологического проектирования сварных соединений с угловыми швами / В.В. Ерофеев [и др.] // Первые международные Косыгинские чтения – 2017: труды междунар. науч.-техн. форума / РГУ. М., 2017. Т. 1. С. 54-58.

УДК 004.912

## АНАЛИЗ СЕМАНТИЧЕСКОЙ БЛИЗОСТИ КРИТЕРИЕВ ОЦЕНИВАНИЯ РАБОЧИХ ПРОГРАММ ДИСЦИПЛИН

### ANALYSIS OF SEMANTIC PROXIMITY OF CRITERIA FOR EVALUATING WORK PROGRAMS OF DISCIPLINES

Ермолаев Е.В., Чурилов Д.А.,  
Уфимский государственный нефтяной технический университет,  
ул. Космонавтов, 1, г. Уфа, Республика Башкортостан, 450064, Россия

E.V. Ermolaev, D.A. Churilov,  
Ufa State Petroleum Technological University,  
Kosmonavtov Str., 1, Ufa, Republic of Bashkortostan, 450064, Russia

e-mail: evg.ermo2009@gmail.com

**Аннотация.** Рабочая программа дисциплин – это нормативный документ, входящий в состав основной образовательной программы высшего профессионального образования по соответствующему направлению подготовки и профилю. Целью разработки рабочих программ дисциплин является определение места дисциплины в системе подготовки бакалавра (магистра), раскрытие содержания учебного материала, организации и технологии обучения, способов проверки результатов обучения, учебно-методического и материально-технического обеспечения учебного процесса. При разработке рабочих программ необходимо учитывать и соблюдать требования, описанные в «Федеральном государственном образовательном стандарте высшего образования». Разработка рабочих программ это большая кропотливая учебно-методическая работа, прежде всего, профессорско-преподавательского состава кафедр, требующая от них высокого профессионального уровня и квалификации и сопровождающаяся постоянным взаимодействием с представителями разных структурных подразделений университета. Также существенной сложностью при разработке рабочих программ является составление критериев оценивания выполняемых работ. Критерии оценивания должны быть составлены таким образом, чтобы не возникало двусмысленного толкования критериев. В работе рассмотрены различные рабочие программы и выделены в них критерии оценивания. Далее был произведен анализ данных критериев и оценка семантической близости между ними [1-4].

**Abstract.** The working program of disciplines is a normative document that is part of the main educational program of higher professional education in the corresponding field of training and profile. The purpose of the development of working programs of disciplines is to determine the place of the discipline in the bachelor's (master's) training system, to disclose the

content of educational material, the organization and technology of training, ways to check the results of training, educational-methodological and material-technical support of the educational process. When developing work programs, it is necessary to take into account and comply with the requirements described in the “Federal State Educational Standard of Higher Education”. The development of work programs is a big painstaking educational and methodological work, first of all, of the teaching staff of the departments, which requires them to have a high professional level and qualifications and is accompanied by constant interaction with representatives of different structural divisions of the university. Also, a significant difficulty in the development of work programs is the compilation of criteria for evaluating the work performed. The evaluation criteria should be formulated in such a way that there is no ambiguity in the interpretation of the criteria. The paper considers various work programs and highlights the evaluation criteria in them. Further, the analysis of these criteria and the assessment of the semantic proximity between them were carried out.

**Ключевые слова:** рабочие программы, векторное представление, евклидово расстояние, косинусная мера, аппроксимация полиномом.

**Keywords:** working programs, vector representation, euclidean distance, cosine measure, polynomial approximation.

Разработка рабочих программ это большая кропотливая учебно-методическая работа. При ее разработке существует ряд сложностей, одной из которых является составление критериев оценивания выполняемых работ.

Критерии оценивания должны быть составлены таким образом, чтобы не возникало двусмысленного толкования критериев.

Для оценки семантической близости существует ряд метрик. Данные метрики делятся на группы по учитываемым параметрам таким как:

- частота символов или слов (коэффициент Танимото, мера Дайса, коэффициент Симпсона);
- редакционное расстояние (расстояние Ливенштейна, расстояние Джаро);
- семантическая близость слов (косинусная мера, скалярное произведение, евклидово расстояние, манхэттенское расстояние, расстояние Минковского [5-12]).

На основании статьи «Оценка семантической близости между критериями оценивания в рабочих программах вуза» авторов: Гиниятуллина В.М., Салиховой М.А., Хлыбова А.В., Чурилова Д.А., был сделан вывод, что для анализа семантической близости достаточно использовать метрики, основанные на нахождении косинусной меры и евклидово расстояния.

Косинусная мера предполагает представление частотностей терминов в двух текстах в виде векторов и определение степени смысловой близости этих текстов на основе вычисления косинуса угла, который образуют два вектора.

В соответствии с теоремой косинусов, увеличение значения косинуса указывает на уменьшение угла и большую степень близости между документами.

Косинусная мера вычисляется по формуле:

$$Sim(t1, t2) = \frac{\sum f_{t \in t1} \times f_{t \in t2}}{\sqrt{\sum f_{t \in t1}^2} \times \sqrt{\sum f_{t \in t2}^2}},$$

где Sim – мера смысловой близости текстов t1 и t2,  
f – частотность некоторого i-го термина.

Евклидово расстояние трактуется как расстояние между точками или косинус угла между векторами, представляющими документы в пространстве терминов, и рассчитывается по формуле:

$$\text{simEvklid}(d, q) = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^n ((\text{tf} - \text{idf}_{d_i}) - (\text{tf} - \text{idf}_{q_i}))^2}}$$

где  $n$  – число терминов;

$i$  – переменная – счетчик;

$\text{tf}$  – частота термина в тексте;

$\text{idf}$  – обратная документная частота.

На основании формул косинусная мера изменяется от 0 до 1, а евклидово расстояние изменяется от 0 до  $\infty$ . При этом для косинусного расстояния положительным является значение близкое к 1, а для евклидова расстояния значение близкое к 0.

В качестве исходных данных были взяты 9 рабочих программ Уфимского государственного нефтяного технического университета:

1. Профиль подготовки «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений»

1.1. Дисциплина «Автоматизированный электропривод»;

1.2. Дисциплина «Иностранный язык»;

1.3. Дисциплина «Автоматизированный электропривод».

2. Профиль подготовки «Бурение нефтяных и газовых скважин»

2.1. Дисциплина «Математика»;

2.2. Дисциплина «Начертательная геометрия и инженерная компьютерная графика»;

2.3. Дисциплина «Термодинамика и теплопередача».

3. Профиль подготовки «Машины и аппараты химических производств»

3.1. Дисциплина «Иностранный язык»;

3.2. Дисциплина «Математика»;

3.3. Дисциплина «Монтаж и ремонт оборудования нефтехимических производств».

В фондах оценочных средств имеется от 3 до 9 средств оценивания, к которым относятся:

- доклад,
- сообщение,
- компьютерное тестирование,
- контрольная работа,
- лабораторная работа,
- письменный и устный опрос,
- разноуровневые задачи и задания,
- расчетно-графическая работа,
- собеседование,
- устный опрос.

Рассмотрим анализ на примере одной из рабочих программ.

Для каждого средства оценивания были рассчитаны косинусные меры и евклидовы расстояния.

Полученные результаты были перенесены в электронные таблицы и проведена их аппроксимация вторым порядком с выводом коэффициентов полинома и среднеквадратичного отклонения.

Результаты аппроксимации вторым порядком для одной из рабочих программ представлены на рисунках 1-6.

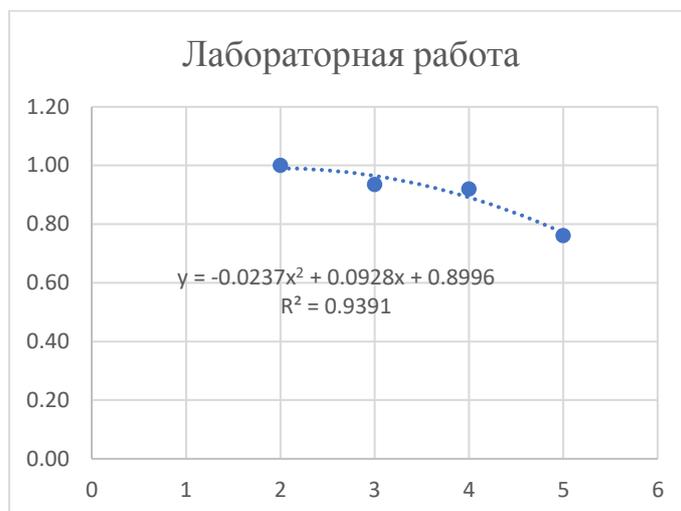


Рисунок 1. График аппроксимации косинусной меры для средства оценивания «Лабораторная работа»

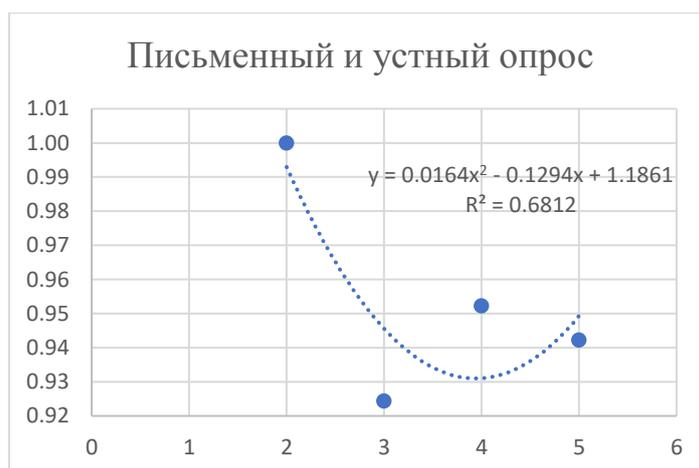


Рисунок 2. График аппроксимации косинусной меры для средства оценивания «Письменный и устный опрос»

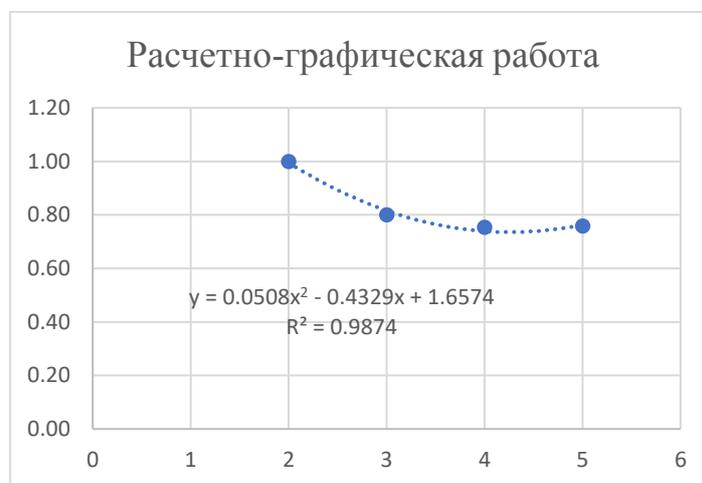


Рисунок 3. График аппроксимации косинусной меры для средства оценивания «Расчетно-графическая работа»

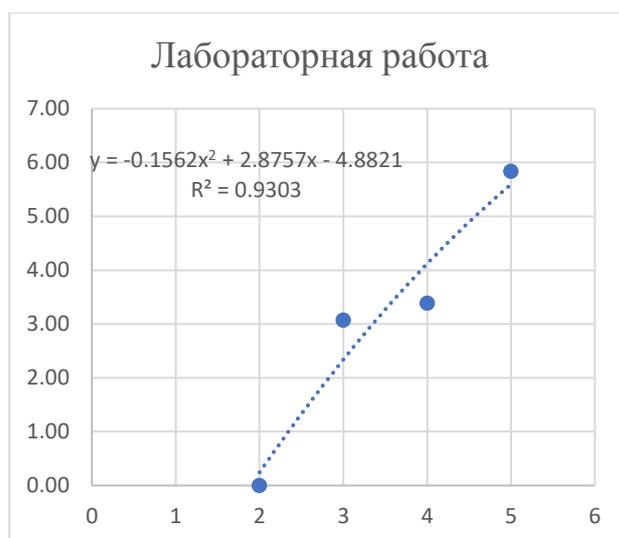


Рисунок 4. График аппроксимации евклидова расстояния для средства оценивания «Лабораторная работа»

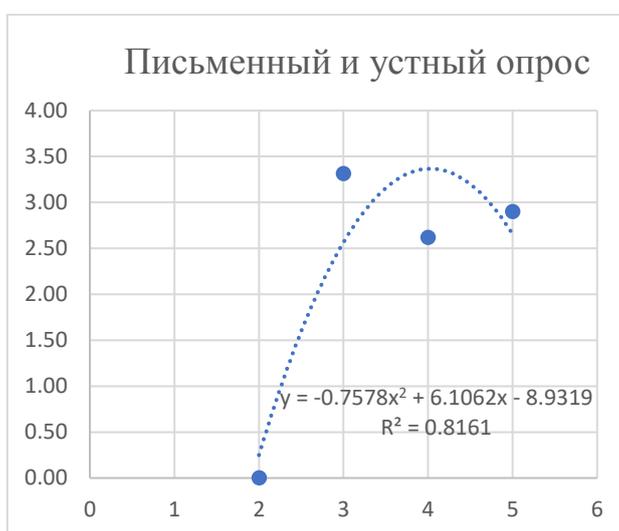


Рисунок 5. График аппроксимации евклидова расстояния для средства оценивания «Письменный и устный опрос»

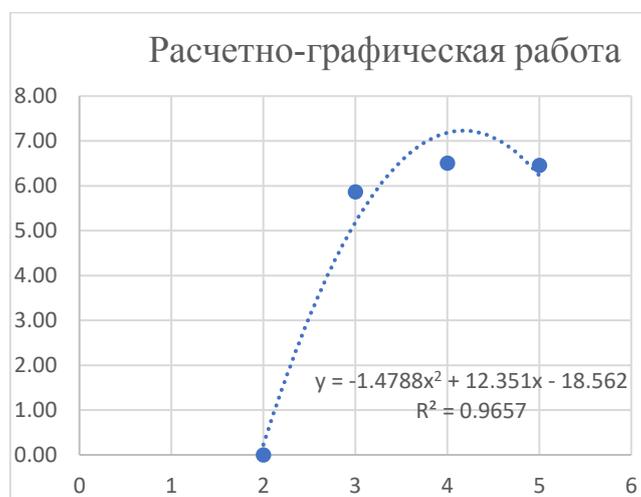


Рисунок 6. График аппроксимации евклидова расстояния для средства оценивания «Письменный и устный опрос»

Результаты достоверности аппроксимации были сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты достоверности аппроксимации

Средство оценивания	Методы анализа семантической близости	
	Косинусная мера	Евклидово расстояние
Лабораторная работа	0,9391	0,9303
Письменный и устный опрос	0,6812	0,8161
Расчетно-графическая работа	0,9874	0,9657

## Выводы

С помощью анализа семантической близости методами косинусной меры и евклидова расстояния было выявлено, что в некоторых программах рабочих дисциплин критерии оценивания недостаточно семантически близки.

## Литература

1. Приказ Минобрнауки России от 05.04.2017 № 301 «Об утверждении Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры».

2. Положение об основных профессиональных образовательных программах высшего образования – программах бакалавриата, программах специалитета, программах магистратуры, реализуемых федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (УГНТУ), утв. Приказом по УГНТУ от 04.09.2017 №570-4.

3. Еремичкая И.А. Разработка рабочих программ дисциплин (модулей), программ практик, государственной итоговой аттестации в условиях реализации ФГОС ВО // Педагогическая наука и образование в диалоге со временем, Астрахань: Изд-во ФГБОУ ВПО «Астраханский государственный университет». 2020, с. 25-31.

4. Самодурова Т.В. Построение рабочих учебных программ дисциплин в соответствии с требованиями ФГОС ВПО // Педагогические условия реализации ФГОС общего и профессионального образования, Комсомольск-на-Амуре: Изд-во АмГПУ. 2014, с.105-110.

5. Векторное представление слов [Электронный ресурс]. URL:<https://clck.ru/W95m6> (дата обращения 14.01.2021)

6. Векторные представления слов: все дело в контексте [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/W95tH> (дата обращения 14.01.2021)

7. Шумская А.О. Оценка эффективности метрик расстояния Евклида и расстояния Махаланобиса в задачах идентификации происхождения текста // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, Томск: Изд-во ТГУСУиР. 2013, с. 141-145.

8. Хачумов М.В. Расстояния, метрики и кластерный анализ // Искусственный интеллект и принятие решений, Москва: Изд-во Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН. 2012, с. 81-89.

9. Белова К.М., Судаков В.А. Исследование эффективности методов оценки релевантности текстов // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша, Москва: Изд-во Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН. 2020, с.1-16.

10. Яцко В.А. Особенности вычисления косинусной меры смысловой близости документов // Актуальные вопросы теории и практики развития научных исследований, Уфа: Изд-во Общество с ограниченной ответственностью «ОМЕГА САЙНС». 2020, с. 69-75.

11. Применение математического моделирования при исследовании геологических объектов Круглова З.М., Майский Р.А., Филиппов В.Н. Информационные технологии. Проблемы и решения: Материалы Международной научно-практической конференции. 2016. №1(3). С. 339-342.

12. Разработка типизированной методики проектирования унифицированных пользовательских интерфейсов. Филиппова А.Г., Белозёров Е.С., Филиппов В.Н., Белозёров А.Е., Султанова Е.А. Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. 2013. №4. С. 488-509.

УДК 004.031.4

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ РЕШЕНИЙ INDUSTRY 4.0 В ГРАЖДАНСКОЙ НАУКЕ

### INVESTIGATION OF APPLICATION OPPORTUNITIES OF INDUSTRY 4.0 SOLUTIONS IN CITIZEN SCIENCE

Фаталиев Т.Х., Вердиева Н.Н.,  
Институт Информационных Технологий НАНА,  
г. Баку, Азербайджан

T.Kh. Fataliyev, N.N. Verdiyeva,  
Institute of Information Technology of ANAS,  
Baku, Azerbaijan

e-mail: depart3@iit.science.az

**Аннотация.** Развитие информационно-коммуникационных технологий повлияло на все сферы современного общества, включая научные исследования. Последние достижения в области ИКТ успешно применяются как в традиционной, так и в э-науке. Гражданская наука, сформировавшаяся в последние десятилетия как новое направление электронной науки, стремительно развивается. Возросло количество, как самих проектов гражданской науки, так и их участников. Такое продвижение проектов гражданской науки обусловлено разнонаправленным применением современных информационных технологий в этой области, а также реализацией концепции «открытой науки», выражающей принципы открытости и прозрачности в научной деятельности. Сегодня, в период четвертой промышленной революции, также известной как Industry 4.0, концепция «цифровой трансформации» успешно реализуется наряду с другими областями и в науке. Применение технологий Industry 4.0 позволяет в значительной степени улучшить качество продукции и услуг. Эти технологии могут быть применены не только в индустрии, но и в гражданской науке. Статья посвящена исследованию решений Industry 4.0 в контексте их применения в гражданской науке. Показаны перспективы дальнейшего развития Гражданской науки 4.0 на основе этих решений.

**Abstract.** The development of information and communication technologies has affected all fields of the modern society, including scientific research. The latest achievements in the area of ICT are successfully applied in both traditional science and eScience. Citizen science, which has formed as a new direction of eScience in recent decades, is growing rapidly. The number of citizen science projects, as well as the number of their participants has increased. Such a development of citizen science projects is due to the multidirectional use of modern information technologies in this area, as well as the implementation of the concept of “open science”, which expresses the principles of openness and transparency in scientific activities. Today, in the era of the Fourth Industrial Revolution, also known as Industry 4.0, the concept of “digital transformation” is also being implemented successfully in science along with other fields. The use of Industry 4.0 technologies allows improving the quality of manufacturing and services significantly. These technologies can be applied not only in industry, but also in citizen science. The article is dedicated to the investigation of Industry 4.0 solutions in the context of their application in citizen science. The perspectives of further development of Citizen science 4.0 based on these solutions are shown.

**Ключевые слова:** Гражданская наука 4.0, Industry 4.0, ИКТ, Интернет вещей, киберфизические системы, облачные технологии, искусственный интеллект.

**Keywords:** Citizen science 4.0, Industry 4.0, ICT, IoT, Cyber-Physical Systems, Cloud technologies, Artificial Intelligence.

Применение информационных технологий сегодня охватывает все аспекты деятельности общества, включая научные исследования. В результате развития э-науки (eScience) гражданская наука (ГН) формируется как ее новое направление.

Гражданская наука (Citizen science) – это концепция добровольного вовлечения в научные исследования большого количества волонтеров, большинство из которых не имеют начальной подготовки по специальности.

Хотя ГН существует уже давно, ее стремительное развитие приходится на последние несколько десятилетий [1]. Это связано с последними достижениями в области современных информационных технологий.

Сегодня четвертая промышленная революция, известная как Industry 4.0, является одним из самых актуальных трендов как в профессиональной, так и в академической сферах. Industry 4.0 характеризуется большей автоматизацией, чем предыдущие промышленные революции, взаимосвязью физического и цифрового миров с помощью Интернета вещей и киберфизических систем, а также переходом к новой системе, где этапы производства определяются интеллектуальными продуктами.

Изменения, происходящие в индустрии с развитием информационных технологий, позволяют значительно улучшить качество продукции и услуг. Такие преимущества инструментов Industry 4.0 актуализируют их применение в ГН, и, тем самым, создание новой концепции Citizen science 4.0 (ГН 4.0). Citizen science 4.0 воспринимается как проекция Industry 4.0 на традиционную ГН.

Industry 4.0 вызвала большой интерес и в научном сообществе: ученые заинтересованы в оценке возможностей, созданных появлением этой новой области [2]. Технологии Industry 4.0 могут быть успешно применены в целях быстрого развития э-науки, а также послужить толчком для развития ее нового направления – ГН. Некоторые из таких технологий уже успешно применяются в ГН и дают реальные результаты. Рассмотрим некоторые из этих технологий.

Развитие сферы ИКТ способствовало появлению технологий Industry 4.0. С улучшением элементной базы датчики значительно уменьшились в размерах, что

сделало возможным применение Интернета вещей (Internet of Things, IoT) в проектах ГН. Теперь датчики стали настолько компактными, что могут быть прикреплены даже к самым мелким объектам.

Интернет вещей – это однозначно идентифицированные вычислительные устройства, подключенные к Интернету и встроенные в повседневные предметы («вещи») или прикрепленные к животным или людям.

Системы IoT соединяют устройства с помощью протоколов связи и беспроводных технологий, которые также используются для локализации устройств.

Киберфизические системы (Cyber-Physical Systems, CPS) – CPS – это системы, состоящие из различных подсистем, в которых управление на физическом уровне осуществляется на основе обработки сигналов от нескольких датчиков и принятия решений на кибер-уровне [3].

В настоящее время киберфизические системы применяются в самых разных областях, включая здравоохранение, системы контроля и мониторинга, интеллектуальные транспортные системы и т.д.

Участники проектов ГН могут определять физическую среду и с легкостью управлять электронными устройствами с помощью программного обеспечения с открытым исходным кодом, датчиков, исполнительных механизмов и компонентов интерфейса, которые могут быть подключены к системе.

В современном мире с развитием сферы ИКТ проблема больших данных в ГН становится все более актуальной. Облачные технологии в ГН решают вопросы обработки и хранения большого объема данных.

Облачные (cloud) технологии – это вычислительные системы, которые служат для обработки и хранения данных пользователей, обеспечивая кластеризацию и виртуализацию вычислительных ресурсов и ресурсов памяти многочисленных компьютеров (дата-центр, сервер, компьютер и т.д.) с помощью информационных технологий [4].

Облачные технологии имеют широкий спектр возможностей для разного рода проектов ГН. Проекты с переменной нагрузкой могут рассчитывать на адаптивную способность облачных систем: эти системы могут приобретать ресурсы при увеличении нагрузки и освобождать ресурсы, когда они больше не нужны. Это помогает оптимизировать работу таких проектов. А в случае исследовательских проектов, которые должны выполняться непрерывно в течение нескольких лет, с помощью облачных систем устраняется необходимость в регулярном обслуживании системы. Это также упрощает поддержку систем в течение многих лет, не влияя на технические ресурсы проекта.

Таким образом, применение облачных технологий помогает высвободить время участников проекта, чтобы сосредоточиться на реальной решаемой проблеме, а не на проблемах, связанных с обслуживанием инфраструктуры.

Последние достижения в области ИКТ и активное участие волонтеров в проектах способствует значительному развитию ГН.

Сегодня соединение лабораторий с окружающей средой помогает сместить акцент с традиционной науки на ГН. Сбор и анализ данных могут осуществляться гражданами-любителями, которые ведут свою повседневную жизнь в сотрудничестве с профессиональными учеными. В таком случае визуализация, интеграция и анализ данных больше не будут требовать сложных преобразований формата файлов, и ученым будет легче интегрировать наборы данных ГН континентального масштаба с наборами профессиональных данных, которые дополняются местными наблюдениями гражданских ученых [5].

Рассмотрим решения Industry 4.0 в контексте их применения в проектах ГН.

Известно, что для проектов гражданской науки типичен сбор крупномасштабный данных. Широкое распространение получили измерение и регистрация физических процессов с использованием датчиков различного назначения. В процессе реализации проектов, связанных, например, с мониторингом маршрутов птиц, датчик «Геолокатор» прикрепляется к птице и фиксирует маршрут ее движения во время эксперимента. В конце эксперимента датчик снимают и подключают к компьютеру, собранные данные обрабатываются и результаты анализируются.

Киберфизические системы применяются в «умных» городах (*Smart Cities*), где для внедрения ГН используется гражданская обсерватория (*Citizen Observatory*).

Гражданская обсерватория – это структура для определения, сбора и управления данными, направленная на снижение барьера для тех, кто стремится использовать ГН, но при этом не имеет передового научного опыта [5].

Инструменты искусственного интеллекта (ИИ) могут мгновенно классифицировать специфику с помощью обучения алгоритмов ИИ на огромных объемах предыдущих данных и наблюдений, собранных учеными и гражданами по всему миру. Они могут быть полезны для классификации объектов окружающей среды.

Например, сталкиваясь с различными видами грибов, человек может идентифицировать их с помощью приложений ИИ, которые расскажут ему все, что нужно знать, в том числе съедобен ли данный вид грибов.

Программное обеспечение для распознавания растений и другие подобные инструменты пробуждают интерес у большей части населения. Кроме того, компьютерные алгоритмы, обученные классификации сушеных растений, могут помочь исследователям обрабатывать образцы трав [6].

Благодаря простому интерфейсу используемых приложений, таких как eBird Mobile, Sapelli и т.д., граждане с языковым барьером и без специальных знаний могут с легкостью вносить свой вклад в научные исследования.

Мобильная связь, интернет, облачные сервисы, онлайн инструменты для видеоконференций и другие современные технологии создают широкие возможности развития ГН [7].

ГН можно рассматривать как информационную систему. Обобщенная концептуальная модель проектов ГН, представленная на рисунке 1, состоит из четырех этапов [8].

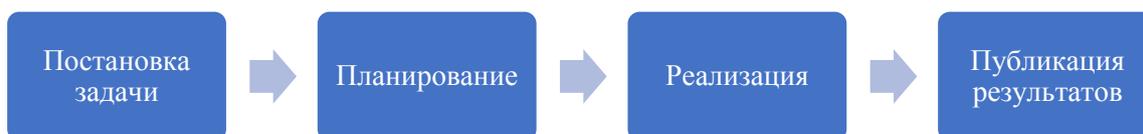


Рисунок 1. Обобщенная концептуальная модель проектов ГН

Учитывая такую обобщенную концептуальную модель, можно увидеть, как решения Industry 4.0 могут применяться на каждом из этих этапов.

Этап постановки задачи связан с интерактивным участием граждан.

В зависимости от характера проекта ГН, при постановке задачи и на этапе планирования могут обсуждаться технологии, которые будут использованы для реализации проекта.

Этап реализации требует большего внимания.

Для сбора и хранения данных существуют облачные технологии – как информационная система, ГН использует облако для хранения данных.

Большие объемы данных делают необходимым применение технологий Big Data. Обработка этих данных осуществляется с помощью технологий анализа данных.

Вопросы обеспечения безопасности, а также мониторинга и контроля могут быть решены с помощью интеллектуальных технологий на основе ИИ.

И, наконец, публикация научных результатов осуществляется на веб-сайтах проектов, в научных журналах.

Наряду с другими решениями Industry 4.0, ИИ также успешно применяется в ГН. ГН и ИИ во многих случаях используются изолированно, но их интеграция дает новые преимущества в научных исследованиях.

Стратегическая интеграция ГН и ИИ может улучшить результаты природоохранной деятельности. Например, сочетание преимуществ ГН для привлечения общественности с передовыми аналитическими возможностями ИИ может улучшить согласие многих заинтересованных сторон по вопросам, представляющим общественный и научный интерес. Кроме того, это ускоряет сбор и обработку данных по сравнению с традиционными научными методами.

Интегрируя ИИ в более широкий спектр проектов ГН и усовершенствовав существующие методы, можно достичь значительного развития ГН 4.0.

Глубокое обучение можно сочетать с крупномасштабной ГН для улучшения классификации изображений.

Результаты деятельности граждан можно использовать для расширения и улучшения моделей глубокого обучения.

Интеграция научных задач в устоявшиеся компьютерные приложения может оказаться широко применяемым подходом в будущем для использования вычислительной мощности человеческого мозга. Помимо расширения текущего использования, в ближайшем будущем могут появиться новые приложения ИИ в ГН. Широкий спектр приложений ИИ может предоставить новые возможности для проектов ГН.

ИИ может быть использован для вовлечения граждан в проекты ГН. Представим гипотетический проект с большим набором данных. Это могут быть данные в формате изображений. Специалисты применяют компьютерное зрение (computer vision) для идентификации интересующих объектов по изображениям.

Гражданские ученые могут быть привлечены к идентификации объектов и обучению алгоритмов для повышения их точности. Помимо улучшения автоматической классификации изображений, ИИ является эффективным инструментом для привлечения граждан к ГН, обеспечивая тем самым более инклюзивную и эффективную научную деятельность.

ИИ также может быть применен как основа для разработки новых приложений. Инструменты ИИ могут мгновенно анализировать и идентифицировать животных и растения в окружающей среде. В этом случае ИИ не только является инструментом для вовлечения граждан, но и открывает возможность создания новых приложений на основе автоматической классификации.

Одна из моделей «умного» города, модель Джиффинджера [9], определяет критерии, с помощью которых можно оценить эффективность «умного» города.

В случае критерия «умных» людей, можно внести понятие «умных» граждан, которые, в свою очередь, будут заниматься «умной» ГН. Если ГН 3.0 – это структура для направления движения ГН, основанного на свободном и открытом участии, интенсивном и активном обмене данными и использовании инновационных технологий ИИ [10], то на фоне Industry 4.0, ГН 4.0 будет новой ГН, с еще большей автоматизацией, где технологии ИИ смогут заменить даже самих граждан-ученых.

## Выводы

Исследования показывают, что со временем в ГН будет применяться более широкий спектр технологий Industry 4.0. Применение технологий IoT, CPS, Big Data, cloud не только расширяет потенциал проектов ГН, но и создает новые возможности для использования еще более передовых технологий. ИИ, который можно считать одним из самых передовых решений Industry 4.0, будет использован как эффективный инструмент для вовлечения граждан и привлечения их к науке, а также для разработки приложений для проектов ГН. С учетом концептуальной модели формирования проектов ГН, показано, как решения Industry 4.0 могут быть использованы на различных этапах проектов, что послужит толчком для дальнейшего развития ГН.

## Литература

1. Фаталиев Т.Х., Вердиева Н.Н. Вопросы обеспечения информационной безопасности в проектах гражданской науки // VII Международная научно-практическая конференция «Информационные технологии: проблемы и решения». Уфа, 2019. С. 50-55.
2. Chiarello F., Trivelli L., Bonaccorsi A., Fantoni G. Extracting and mapping Industry 4.0 technologies using Wikipedia // *Computers in Industry*. Vol. 100. 2018. pp. 244-257.
3. Fataliyev T.Kh., Mehdiev S.A. Integration of Cyber-Physical Systems in EScience Environment: State-of-the-Art, Problems and Effective Solutions // *I.J. Modern Education and Computer Science*. 2019. N: 9. pp. 35-43.
4. Olson M. Cloud Computing for Citizen Science // Master's Thesis, California Institute of Technology. 2012. 39 p.
5. Hunt N., O'Grady M.J., Muldoon C. et al. Citizen Science: A learning paradigm for the smart city? // *Interaction Design and Architecture(s) Journal – IxD&A*. N.27. 2015. pp. 28-43.
6. Ceccaroni L., et al. Opportunities and Risks for Citizen Science in the Age of Artificial Intelligence // *Citizen Science: Theory and Practice*. 2019. 4(1): 29, pp. 1-14.
7. Вердиева Н.Н. Взаимосвязь и перспективы развития гражданской науки и волонтерского движения // *Проблемы информационного общества*. 2021. №1. С. 130-137.
8. Verdiyeva N.N. Generalized conceptual model of formation of citizen science projects // *Problems of Information Society*. 2020. №1. pp.75-82.
9. Giffinger R., Fertner C., Kramar H. et al. Smart cities – ranking of European medium-sized cities // *Tech. rep.*, Vienna University of Technology. 2007. pp.10-12.
10. Lukyanenko R. Citizen Science 3.0: A vision for the future of digital citizen science // *International Conference on IT & Computer Science (ICITCS – 2019)*. London. UK. 2019. pp.1-4.

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭКОНОМИКЕ,  
УПРАВЛЕНИИ И БИЗНЕСЕ**

UDC 004:330.1:004

**PROBLEMS OF DEVELOPMENT OF INNOVATIVE SECTORS  
OF THE ECONOMY ON THE BASIS  
OF MOBILE INFORMATION TECHNOLOGIES**

**ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ  
СЕКТОРОВ ИННОВАЦИОННОЙ ЭКОНОМИКИ  
НА ОСНОВЕ МОБИЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

A.G. Aliyev, R.O. Shahverdiyeva, G.Y. Guliyeva,  
Institute of Information Technology of Azerbaijan  
National Academy of Sciences,  
Baku, Azerbaijan

Алиев А.Г., Шахвердиева Р.О., Гулиева Г.Ю.,  
Институт информационных технологий  
Национальная академия наук Азербайджана  
Баку, Азербайджан

e-mail: [alovsat\\_qaraca@mail.ru](mailto:alovsat_qaraca@mail.ru)

**Abstract.** The production of science-based and ICT-based high-tech products, the development of innovative entrepreneurship, the commercialization of scientific innovations, the digitization of enterprises are among the current issues. There is a serious need to improve the ICT infrastructure and increase the country's ICT industry potential to digitize the economy. The article considered in this direction is also devoted to the problems of formation of mobile ICT-based innovation economy sectors. Along with traditional areas, directions for the development of new sectors were indicated. Sectors of mobile ICT-based innovation economy have been identified and the problems of their formation have been studied. The current situation in the region is analyzed by some global ICT and innovation indices. The economic features and problems of the new economic innovation sectors formed with the application of mobile systems and technologies were explained, and international experience was studied. Specific features of the economy of the Internet of Things, cyberphysical systems and artificial intelligence technologies have been studied. Taking into account the main trends of the IV Industrial Revolution, certain recommendations were given for the development of sectors of the mobile ICT-based innovation economy. Taking into account the directions of formation of innovative economy sectors based on mobile technologies can create additional opportunities to increase efficiency in the new economic management.

**Аннотация.** Среди актуальных вопросов – производство наукоемкой и высокотехнологичной продукции на базе ИКТ, развитие инновационного предпринимательства, коммерциализация научных инноваций, оцифровка предприятий. Существует серьезная необходимость в улучшении инфраструктуры ИКТ и повышении потенциала ИКТ-индустрии страны для оцифровки экономики. В статье, рассматриваются эти направления, а также уделяется внимание проблемам

формирования мобильных секторов инновационной экономики, основанных на ИКТ. Наряду с традиционными, были обозначены направления развития новых отраслей. Определены секторы инновационной экономики, основанной на мобильных ИКТ, изучены проблемы их формирования. Текущая ситуация в регионе анализируется с помощью некоторых глобальных индексов ИКТ и инноваций. Были объяснены экономические особенности и проблемы новых инновационных секторов экономики, сформированных с применением мобильных систем и технологий, а также изучен международный опыт. Изучены специфические особенности экономики Интернета вещей, киберфизических систем и технологий искусственного интеллекта. С учетом основных тенденций IV промышленной революции были даны определенные рекомендации по развитию секторов инновационной экономики, основанной на мобильных ИКТ. Учет направлений формирования инновационных секторов экономики на основе мобильных технологий может создать дополнительные возможности для повышения эффективности в новом управлении экономикой.

**Keywords:** innovative development, digitalization, mobile systems and technologies, innovation economy sectors, IV Industrial Revolution.

**Ключевые слова:** инновационное развитие, цифровизация, мобильные системы и технологии, инновационные секторы экономики, IV промышленная революция.

## **Introduction**

In modern times, the economy is modernized and developed on the basis of innovations and ICT-based technologies. Its artificial intelligence and robotics, information and communication, space, etc. Development of such sectors is one of the main ways to achieve faster development of real economic sectors. The development of “Industry, Innovation and Infrastructure”, one of the UN Sustainable Development Goals 2030 [1], the application of the requirements of the IV Industrial Revolution has become one of the main directions in the development of the world economy. The sustainability and effectiveness of economic reforms in Azerbaijan in this direction are based on the National Priorities for Socio-Economic Development of Azerbaijan adopted in 2021 [2] and the Strategic Roadmaps for the development of the country's economy [3]. Due to the recent development of the coronavirus pandemic in Azerbaijan, the sectors of the mobile ICT-based innovation economy have further developed, including mobile management, mobile cloud technologies, mobile government technologies, mobile vehicles, etc. New opportunities are emerging in the development of such areas as For this reason, the study of problems and the development of relevant recommendations for the development of innovative economy sectors based on mobile information technologies in the country is considered a topical issue.

## **Factor of technological innovations in economic development**

Ensuring innovation-based progress of the economy in modern times, modernization on the basis of technological innovations, the formation of high-tech sectors, artificial intelligence and robotics, bio, nano, information and communication, space, etc. The development of new areas such as is one of the main ways to achieve faster development of real economic sectors [3]. Technological development and innovation are the long-term driving force of economic growth. Information and knowledge resources are becoming a key factor in the development of society. Knowledge and information production play an extremely important role in the development and competitiveness of countries moving from the stage of industrial development

to the post-industrial stage. In other words, the development of countries in modern times depends on the development of information and science-intensive areas, including innovations based on mobile information technologies.

In the new economic environment, the process of forming innovative economy sectors based on mobile information technologies must be based on modern ICT achievements. Proposals for promising areas to increase the effectiveness of their activities, as well as the methodological basis of the overall process should be developed. Despite some scientific and experimental research in this area, the lack of a well-established methodology and theory makes it necessary to continue research in a similar field. 4.0 Industrial Revolution in the development of mobile ICT-based innovation economy sectors [4]. New management principles and models, new decision-making mechanisms should be developed and implemented, taking into account the prospects for the application of technological components.

### **Mobile ICT-based innovations in traditional economic sectors**

Azerbaijan's economy is developing in an environment that is affected by various changes in the medium and long term. Impacts in the global economy, such as the relocation of major economic power centers to emerging markets, the significant effects of technological innovation, changing geopolitical configurations and oil and gas prices, are also important issues for the country.

As a result of developed infrastructure, free access to foreign markets and attraction of foreign investments, the Azerbaijani economy will be more resistant to external shocks and labor productivity in the country will reach the level of Eastern European countries. Azerbaijan's economy will move from an efficiency-based model to an innovation-based model. Real per capita income will increase by about 5 percent per year, and according to the World Bank's [5] classification, Azerbaijan will gain the status of a high-income country. As a result of these development processes, after 2025, Azerbaijan will approach the level of Eastern European countries in terms of per capita income. Institutional mechanisms for developing an innovation-based model will be improved and the necessary social capital will be provided. After 2025, more than three-quarters of the total value added in Azerbaijan's diversified and sustainable economy will come from the non-oil sector.

Along with the development of new technologies, the management of growing cyber security risks will also be relevant for Azerbaijan. Along with the import of advanced technologies, the formation of human capital that manages it, as well as the development of thinking in general in accordance with new global challenges and trends will be carried out. In order to achieve faster development of the non-oil sector in the country, along with traditional sectors of the economy, mobile ICT-based economic sectors will also be developed. Reconstruction of traditional economic sectors in the liberated post-conflict regions of Azerbaijan is one of the most pressing issues for today. The formation of construction, agriculture and local industry in Karabakh and its surrounding regions in the next 10-15 years is considered one of the most important and priority areas of modern times.

On the basis of mobile ICT-based innovation, the transition from the traditional economy to the economy of information and knowledge, the process of modernization of the economy is taking place. As new economic sectors develop in the regions and new jobs are created, the lifestyle of the population will improve. As a result, the country's GDP per capita is expected to increase further. Along with the modernization of the development of traditional sectors of the country's economy, new mobile ICT-based innovation economy sectors are also being formed. Mobile systems and technologies, space, big data, cloud, Internet of Things, cyber-physical systems, artificial intelligence technologies, etc. The development of sectors of

the innovative economy based on mobile technologies, such as the application of ICT in its formation is one of the important issues for today.

### **Features of the formation of sectors of the mobile ICT-based innovation economy**

In the current period of formation of the information society and economy, information, technology and knowledge are considered to be a factor of competitiveness in most countries of the world and are considered as a driving force of economic development.

At present, it is very important to build a competitive, sustainable, sustainable information-based information and knowledge-based economy, as well as to build a strong ICT infrastructure and ICT products, to eliminate the country's digital backwardness.

Analysis of data on the state of the ICT sector shows that the ICT market accounts for 6.5% of world GDP.

According to some forecasts, its share in world GDP may reach 9% in 2025. According to the latest data, the share of the ICT sector in GDP in the United States was 6.4%, and in Japan – 6.8% [6, 7].

*Analysis of the current situation in Azerbaijan on some global ICT and innovation indices.*

The annual reports of international organizations identify ICT and innovation indices of the world's countries in various fields.

According to the report of the World Economic Forum for 2019, Azerbaijan ranks 69th among 140 countries in the Global Competitiveness Index [8].

In 2020, according to the Global Innovation Index [9], in about 130 countries, Azerbaijan ranked 82nd with a score of 27.23 on a scale of 0-100.

In the 2019 report of the Azerbaijan Network Readiness Index [10], it ranked 70th in the world with a score of 47.74 for 121 countries.

This index was calculated using the following indicators: 44.98 points with a rating of 63 on the technological component, 39.80 points with a rating of 74 on the human resources component, 52.79 points with a rating of 84 on the management component, 63 on the impact component has a rating of 53.39 points.

According to the results of the Global Internet Development Index [6] in 2020, the total number of Internet users in the world is 300 million.

The number of people increased to 4.54 billion. Currently, the highest Internet coverage is in Scandinavia – 95%, Eastern Europe – 92%, Southern Europe – 83%.

By effectively using these complex indicators, it is possible to increase the formation of mobile ICT-based innovation economy sectors and their efficiency.

The main goal of the innovation phase of economic development is to ensure the sustainability of the country's dynamic socio-economic development in the long run, increasing the competitiveness of the national economy and its effective integration into the world economic system.

The country's economy in the 21st century is based on innovation, information and knowledge.

Innovation is classified into many types.

Product and process innovation is also sometimes called technological innovation [11, 12]. Technological innovations are innovations based on existing technology or newly developed technical progress and having a significant technological weight.

Sectors of innovative economy based on mobile technologies, which are formed and developed in modern times, can be proposed as shown in figure 1.

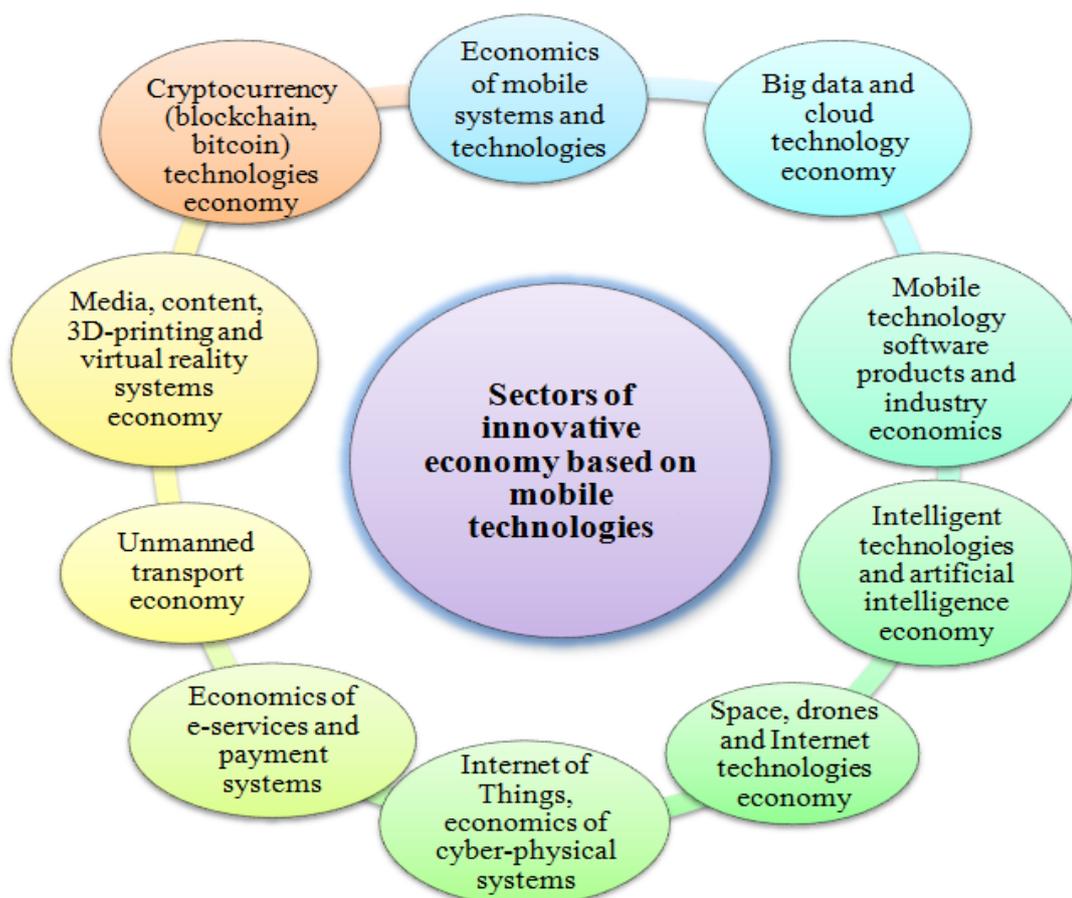


Figure 1. Sectors of innovative economy based on mobile technologies

Information, knowledge, technological, innovation-intensive sub-sectors of traditional economy can be expressed as follows: ICT and information systems in management; Know-how technologies and systems; production and service processes technologies and systems; marketing, sales technologies and systems; innovative technologies and systems, etc.

### **Formation of a new economic innovation sector through mobile systems and technologies**

As modern technologies develop, their contribution to the economy is one of the most important issues for today. It is important to comprehensively analyze the problems of forming a mobile ICT-based innovation economy and to take into account the development trends of its management in the context of the transition to the 4.0 Industrial Revolution.

Application of mobile systems and technologies in economic fields ICT economics, bioeconomics, nanoeconomics, language economics, medical economics, education economics, science economics, creative economy, art economy, culture economics, sports economics, alternative energy economics, patent (license) ) economy, etc. It creates conditions for the formation of innovative economic sectors such as [12]. The application of mobile ICT-based technologies in economic development has now become one of the main directions of innovative development in the world.

BioTech, FinTech, Digital-marketing, Grid-technologies, BlockChain, RetailTech, NanoTech, GovTech, LegalTech, etc., formed by the application of innovative technologies in the mobile ICT-based economy. modern technologies such as.

BioTech is based on the use of high technologies in agriculture and medicine. NanoTech is a high technology used in enterprises engaged in the production of microelectronic products [13]. RetailTech-business is a new technology offered by startups in the field of commerce. FinTech is one of the most promising technologies in the field of finance. LegalTech is a digital technology that specializes in providing legal services. InsurTech is one of the modern digital technologies used in the field of insurance, GovTech - to help solve the problems of the public sector.

### **Research of economic features of mobile systems and technologies**

5G mobile systems and technologies, which are one of the main sectors of the mobile ICT-based innovation economy, have been introduced in many areas in the country. In 2020, revenue from 5G wireless networks was \$ 4.2 billion [14]. China accounts for 3.1% of potential 5G consumer revenue; South Korea 2.7%; US 1.8%; Germany 1.3%; France 1%; Japan is on the list of leading countries with 0.7%. 5th generation technology operators are expected to invest approximately \$ 1.1 trillion in mobile technology worldwide between 2020 and 2025. About 80% of this investment will fall to 5G networks. 5G technologies will contribute \$ 2.2 trillion to the global economy between 2024 and 2034. Over the next 15 years, the CIS economies will generate \$ 34 billion in revenue from 5G technologies.

### **Features of the Internet of Things, cyber physical systems and the economy of artificial intelligence**

Internet of Things (IoT) technology has become an integral part of 5G. In 2024, the number of IoT connections in enterprises will reach 13.3 billion, and by 2025 – 25 billion. Connectivity with consumer IoT will almost double over the same period to 11.4 billion [14]. By 2025, there will be 13 billion new IoT connections. Global IoT revenue will more than triple to \$ 1.1 trillion. Internet of Things technology supports access to the Internet from devices that have access to the Internet – computers, laptops, smartphones and tablets, as well as other traditional, non-smart devices or everyday items. These items can interact with each other over the Internet through cyberphysical systems connected to them, as well as can be remotely controlled or monitored. It is predicted that in the next decade, the Internet of Things will significantly change the way people live everywhere and comprehensively.

### **Prospects for the development of innovative economy sectors based on mobile technologies**

Within the framework of the IV Industrial Revolution, the application and importance of mobile ICT-based innovations will be even greater. The development of blockchain technologies, the emergence of new network cryptocurrencies will lead to many socio-economic changes in international monetary relations. 3D printing will create new production, sales, marketing and advertising technologies. Implant technologies based on the IV Industrial Revolution [4] in various fields, new visual interface, portable Internet (clothing Internet), Internet of Things, “smart” home, “digital” person, mobile supercomputer, “smart” city, Big Data technologies, unmanned vehicles The application of basic Internet and information technologies such as artificial intelligence, robotics, cryptocurrency technologies, 3D printing in manufacturing, education, medicine and consumer goods should be expanded. The innovations brought by the IV Industrial Revolution create new revolutions in modern times and create perspective opportunities for its transition. Thus, the interaction of the structural elements of innovative technologies existing in the IV industrial revolution, their operation and

further improvement of relations between these elements in the near future, the sustainable development of new technologies create ample opportunities for the formation of the next V Industrial revolution.

### Conclusion

The formation and application of scientific and technological innovation policy is one of the key issues in the development of the economies of developed countries. As the sectors of the planned mobile ICT-based innovation economy develop, mobile management, mobile cloud, mobile government, mobile vehicles, etc. New opportunities will be created for the development of such areas as The study of international experience in the application of mobile systems and technologies has shown its contribution to the world economy.

Sectors of innovative economy based on mobile technologies have been proposed. Recommendations were given on the requirements of the IV Industrial Revolution in the development of mobile ICT-based innovation economy sectors. It was noted that the importance of the contribution of the development of the components of the IV Industrial Revolution to the innovation economy in the formation of innovative economy sectors based on mobile technologies and taking into account the transition requirements for the current period should be considered.

### References

1. The Sustainable Development Goals Report-2020. United Nations. URL: <https://clck.ru/W9Rdi>
2. “Azerbaijan 2030: National Priorities for socio-economic development” and the order of the President of the Republic of Azerbaijan on its approval. Baku, 02 february 2021. URL: <https://clck.ru/W9ReK>
3. Strategic Roadmap for the Development of Telecommunications and Information Technologies. Baku, 6 december 2016. URL: <https://clck.ru/W9Rem>.
4. Schwab K. The Fourth Industrial Revolution, Limited. 2017, 192 p.
5. The World Bank in Azerbaijan. URL: <https://www.worldbank.org>.
6. ITU Measuring the Information Society Report-2018, volume 1, 204 p. ITU Measuring the Information Society Report-2018, volume 2, 244 p. Statistical reports, ITU Publications.
7. ICT sector analysis 2019, URL: <https://clck.ru/W9RdG>
8. The Global Competitiveness Report-2019. World Economic Forum. 666 p.
9. Global Innovation Index-2020. 448 p.
10. The Network Readiness Index-2019. 318 p.
11. Maslennikov M.I. The technological innovations and their impact on the economy. Economy of Region, 2017, volume 13, issue 4, pp.1221-1235.
12. Aliyev A.G. Development system of hierarchical indicators for analyzing and measuring the level of growth of information and knowledge economy. Management Dynamics in the Knowledge Economy, 2021, vol 9, no 1, issue 31, pp.65-80.
13. Сычева Е.В., Вахутова В.В., Савицкая К.С. Цифровая экономика: перспективы инновационного развития территорий Российской Федерации. Научный ежегодник Центра анализа и прогнозирования, 2018, №2, стр. 104-108.
14. GSM Association. The Mobile Economy. 2020, 62 p.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

UDC 004.628.395:51-7+519.63

### MODELING OF ATMOSPHERIC POLLUTANTS DISPERSION TAKING INTO ACCOUNT THE EFFECT OF TERRAIN ROUGHNESS ON WIND PROFILES

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВРЕДНЫХ ПРИМЕСЕЙ В АТМОСФЕРЕ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ТИПОВ НАЗЕМНОГО ПОКРОВА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕТРА

D.D. Akhmedov,  
Tashkent University of Information Technologies,  
Tashkent, Uzbekistan

Ахмедов Д.Д.,  
Ташкентский университет информационных технологий,  
г. Ташкент, Узбекистан

e-mail: a.dilshot@mail.ru

**Abstract.** Numerical solution of air pollutants dispersion problems as a rule claims to take into account the air flow characteristics and the laws governing their changes. In this regard, one of the significant aspects in the analysis of the process is the study of the dependence of the wind profile on the atmospheric stability and the earth surface roughness. Thus, this work purpose is to study the influence of the vertical wind profile on the process of the spread of harmful emissions in the atmosphere based on the developed mathematical tools and GIS technologies. The results of computational experiments on determination the air flow characteristics at given heights and at various values of the ground-level wind speed and the roughness coefficient are presented in the paper, as well as the results of numerical calculations demonstrating the influence of the horizontal and vertical components of the wind speed on the distribution of suspended aerosol impurities in the considered region.

**Аннотация.** При решении задач прогнозирования распространения вредных примесей в атмосфере требуется учет характеристик воздушных потоков и знание закономерностей их изменения. В этой связи, одним из значимых аспектов в анализе данного процесса является изучение зависимости изменения скорости ветра с высотой от стратификации атмосферы и шероховатости наземного покрова. Цель данной работы состоит в изучении влияния вертикального профиля ветра на процесс распространения вредных выбросов в атмосфере на основе разработанного математического обеспечения и привлечения возможностей современных ГИС-технологий. Приводятся результаты вычислительных экспериментов по определению характеристик воздушного потока на заданных высотах при различных значениях приземной скорости ветра и коэффициента шероховатости подстилающей поверхности, а также результаты численных расчетов, демонстрирующих степень влияния горизонтально и вертикальной составляющих скорости ветра на распределение концентрации взвешенных аэрозольных примесей в рассматриваемом регионе.

**Keywords:** atmospheric pollution, turbulent diffusion, vertical wind profile, power law, roughness coefficient, GIS.

**Ключевые слова:** загрязнение атмосферы, турбулентная диффузия, вертикальный профиль ветра, степенной закон, коэффициент шероховатости, ГИС.

## Introduction

Fairly accurate forecasting of atmospheric dispersion is based on knowledge of the aerodynamic structure of the air flow [1], which is influenced by many factors such as emission sources parameters, physical, mechanical and chemical properties emitted substances, terrain characteristics, weather and climate conditions etc.

Experimental measurement of wind profiles is performed using aerological radio sounding or lidar scanning. However, such measurements require an appropriate technical infrastructure. Overall, these methods are advisable if only accurate determination of the wind impact is critical e.g. high structures construction, wind power plants, airports, etc.

Therefore, when it comes to deal with various applied problems related to atmospheric processes, the mathematical methods are usually used to describe wind spatio-temporal variability. Mathematical models which are built taking into account the actual meteorological data and the orography can accurately reproduce the parameters of the air flow in considered area.

The necessary dataset for information model of the studying process and which is used as input parameters of mathematical model can be determined empirically by reference books or certain functional dependencies for any particular territory.

Nowadays, due to rapid development of GIS technologies and information web services, relevant spatial and meteorological data, for almost anywhere on the Earth, are generally accessible in machine-readable formats. This allows us to significantly simplify the data collection and processing to build information models and databases necessary for development of problem oriented software tools.

The main objective of this work is to study the influence of the vertical distribution of wind speed, depending on the roughness of the ground cover, on the process of the spread of harmful emissions in the atmosphere using the capabilities of GIS technologies.

## Methods

### 2.1. Mathematical model

The process of transport and diffusion of harmful impurities in the atmosphere, taking into account main influencing factors, can be described by equation [2]:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + u \frac{\partial \theta}{\partial x} + v \frac{\partial \theta}{\partial y} + (w - w_g) \frac{\partial \theta}{\partial z} + \sigma \theta = \frac{\partial}{\partial z} \left( \kappa \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) + \mu \Delta \theta + Q \delta. \quad (1)$$

Here,  $\theta$  – concentration of harmful substances in the atmosphere;

$x, y, z$  – coordinates;

$u, v, w$  – wind speed in three directions;

$w_g$  – particles deposition rate;

$\sigma$  – the absorption coefficient;

$\mu, \kappa$  – accordingly, the diffusion and turbulence coefficients;

$Q$  – emission rate;  
 $\delta$  – Dirac function;  
 $\Delta$  – Laplace operator.

The solution of equation (1) with various conditions in the area

$$D = \{0 \leq x \leq L_1; 0 \leq y \leq L_2; 0 \leq z \leq L_3\},$$

which is representing a parallelepiped, does not cause any particular difficulty [2, 3].

Although, when the considered area expands by spatial variables, the number of computational grid points increases significantly, so the calculations amount increases sharply. In order to avoid that, it comes in handy to refer to curvilinear coordinate system. This approach is justified by the ability to significantly simplify the formulation of boundary conditions and reduce the amount of calculations.

If we consider such a typical situation as aerosol discharge with rather heavy particles, then the plume contour along the axis of its movement will have an arched shape – so-called tilted plume model [4]. Then, taking the source coordinates as the center of the considered region in any direction, it makes sense to reduce the actual region from the traditional parallelepiped to the hemisphere:

$$D = \{R_1 < r < R_2, \lambda_1 < \lambda < \lambda_2, \eta_1 < \eta < \eta_2, R_1 < R_2, \lambda_2 - \lambda_1 < 2 \cdot \pi, \eta_2 - \eta_1 < \pi\},$$

Equation (1) itself and the corresponding boundary conditions can be rewritten in the following form [2]:

$$\begin{aligned}
 & \frac{\partial \theta}{\partial t} + \sigma \cdot \theta = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left( r^2 \kappa \frac{\partial \theta}{\partial r} \right) + \\
 & + \mu \left( \frac{1}{r^2 \sin \theta} \cdot \frac{\partial}{\partial \eta} \sin \eta \frac{\partial \theta}{\partial \eta} + \frac{1}{r^2 \sin^2 \eta} \frac{\partial^2 \theta}{\partial \lambda^2} \right) + Q \delta(\bar{r} - \bar{r}_0); \tag{2}
 \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned}
 & \alpha_{1,1} r^2 \kappa \frac{\partial \theta}{\partial r} - \beta_{1,1} \cdot \theta = -\mu_{1,1}, \quad r = R_1; \\
 & -\alpha_{1,2} r^2 \kappa \frac{\partial \theta}{\partial r} - \beta_{1,2} \cdot \theta = -\mu_{1,2}, \quad r = R_2; \\
 & \alpha_{2,1} \sin \eta \frac{\partial \theta}{\partial \eta} - \beta_{2,1} \cdot \theta = -\mu_{2,1}, \quad \eta = \eta_1; \\
 & -\alpha_{2,2} \sin \eta \frac{\partial \theta}{\partial \eta} - \beta_{2,2} \cdot \theta = -\mu_{2,2}, \quad \eta = \eta_2.
 \end{aligned} \right\} \tag{3}$$

Since the solution of problem (2) - (3) in such a statement is almost impossible to find analytically, a conservative numerical algorithm based on the finite-difference method [2, 3] was developed for numerical solution.

### 2.1. GIS based method for describing the vertical wind profile

There are many mathematical methods have been developed for calculating wind velocity profiles to date [5]. Nevertheless, the questions of the mathematical description of the

wind regime at different heights of the atmospheric boundary layer are still relevant, and scientific research in this direction continues.

The most common description of the vertical wind profile in the form of a power function has the form

$$V_1 = V_0 \left( H_1 / H_0 \right)^k, \quad (4)$$

where,  $V_1$  – wind speed at height  $H_1$ ;  $V_0$  – known wind speed at reference height  $H_0$ ;  $k$  – empirically derived coefficient.

The logarithmic approximation has the form

$$V \approx V_{ref} \ln \left( \frac{H}{H_0} \right) / \ln \left( \frac{H_{ref}}{H_0} \right), \quad (5)$$

where,  $V$  – wind speed at height  $H$  ;

$V_{ref}$  – known wind speed at reference height  $H_{ref}$  ;

$H_0$  – underlying surface roughness (in meters), the values of which are classified depending on the characteristics of the considered area.

The  $k$  is often taken constant, since the differences between the two heights  $H_0$  and  $H_1$  (as a rule, the step is <50 m) are not so large as to cause significant estimation errors. However, in many cases the common coefficient value 1/7 can give very erroneous estimates. For example, even for neutral stratification over open surface of water bodies, the value  $k = 0.11$  is more suitable than  $k = 0.143$ .

In this work a power-law dependence was used to study the effect of the roughness coefficient of the underlying surface on the vertical wind profile for various values  $k$ .

For this purpose, available GIS technologies and open databases were actively used, including SRTM data and RGB satellite images, which provide the ability to automatically recognize types of the earth's surface and construct a thematic map of the parameter  $k$  (Figure 1).

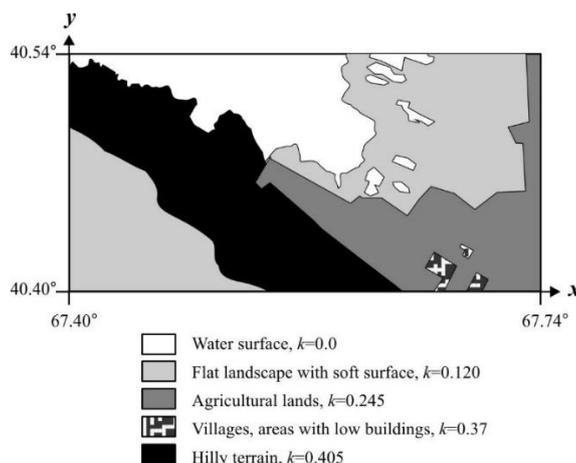


Figure 1. The thematic map of the surface roughness of the the territory of the Jizzakh region of Uzbekistan near Aydarkul Lake

The roughness of the underlying surface was classified according to [5].

In addition, in order to adequately describe the real regime of the wind flow, it is necessary to keep in mind the following - it is believed that the degree of deformation of the wind field depends on the linear dimensions of the obstacles, and the reconstruction of the initial characteristics of the wind occurs at a distance of not less than twenty times the height of these obstacles, and for single obstacles – at a distance not less than their tenfold height.

Since, within the considered area the wind flow can pass over zones with different roughness coefficients (Figure 1), unnatural transitions or gaps may form during the mathematical description of the wind speed fields. The creation of smooth surfaces can be achieved by additionally applying interpolation methods, for example, radial basis functions and spline functions with tension [6].

## Results

Based on the developed mathematical tool (model, numerical algorithm) and data processing capabilities in GIS, python based software tool was created.

Computational experiments to study the characteristics of the air flow at different heights were carried out at different values of the surface wind speed and the roughness coefficient of the underlying surface.

As it is expected from the results of numerical calculations (Figure 2) the increase in the air mass velocity along the height of the atmospheric boundary layer is mainly affected by wind speeds at the surface of the earth (here the vane level is 10 m) and the surface roughness class.

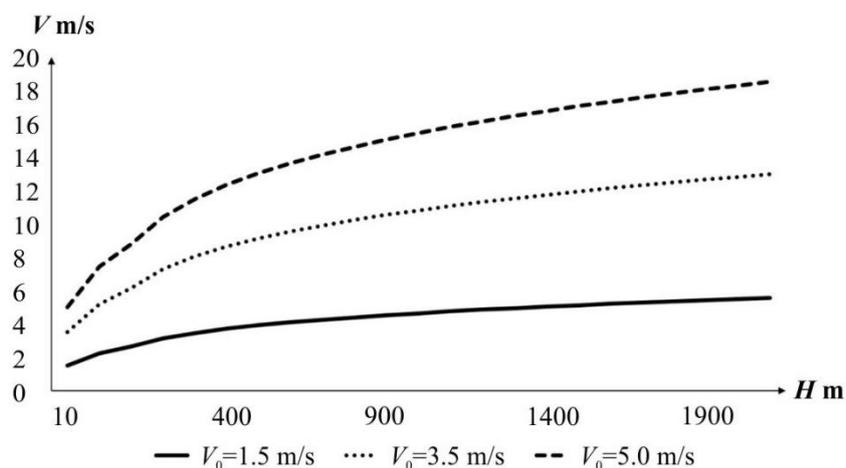


Figure 2. The change in wind speed along the height of the atmospheric boundary layer with roughness coefficient  $k = 0.245$  and various ground-level wind speeds.

With an increase in the roughness coefficient, the wind speed increases with height according to the log law. Such growth occurs to a certain height  $H \approx 2000$  m, and after that the wind speed changes slightly and the effect of the roughness effect disappears.

The movement of the air mass when passing over the water surface ( $k = 0$ ) practically does not change with height, and in the case of passage along land areas with significant heterogeneity of the relief the speed gradient can be observed.

The analysis of the results of numerical calculations shows that the distribution of the concentration of suspended aerosol impurities in the region under consideration largely depends on the horizontal component of the air mass velocity in the atmospheric boundary layer. With increasing horizontal wind speed, the area of influence of the concentration of suspended solids

proportionally expands with time, and the level of concentration of aerosol particles directly decreases with distance from the source of emission of harmful substances (Figure 3).

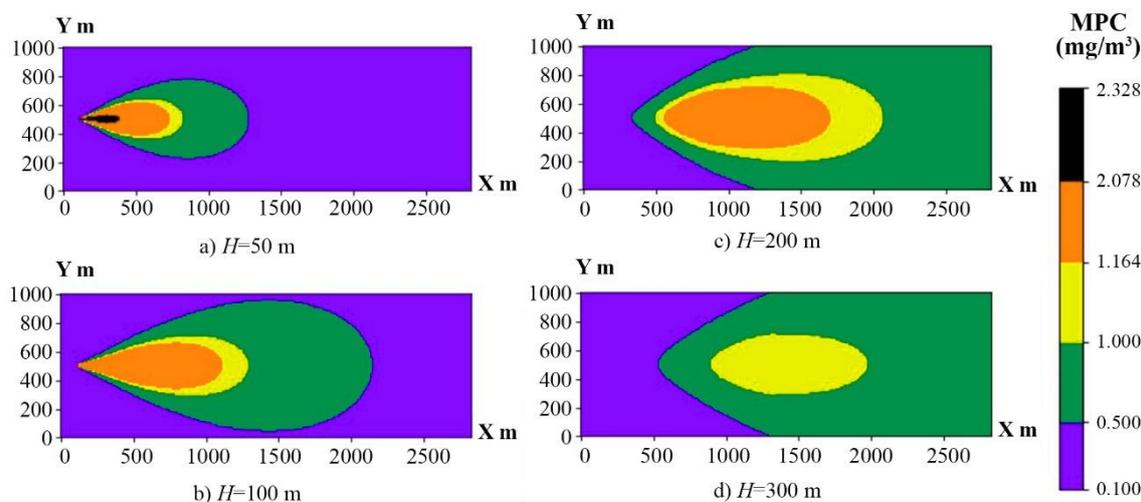


Figure 3. The change in the concentration of ammonium nitrate at different heights,  $t=2$  h,  $V_0 = 0.2$  m/s.

The Figure 3 illustrates the change in the concentration level (in fractions of the maximum permissible concentration) of a single emission of ammonium nitrate from a single source 10 m high. From the results of the experiment, it is confirmed that by increasing the surface roughness coefficient the horizontal component of the wind speed increases in height depending on the initial wind speed at height  $H_0 = 2$  m.

### Conclusion

The awareness of changes in wind speed with altitude depending on the land cover types and the roughness coefficient is a prerequisite for the adequacy of the results of mathematical modeling of the process of dispersion of harmful emissions in the atmosphere. Moreover, it is highly desirable to keep in mind the possibility of dynamically changing the roughness coefficient of the underlying surface when solving specific applied problems.

The considered approach to the construction of wind fields at different heights, based on the use of existing mathematical methods and GIS technologies, allows us to accurately describe the transport and diffusion of impurities in the atmosphere and evaluate the distribution of the concentration of harmful particles.

As follows from an analysis of the results of numerical calculations, the distribution of the concentration of suspended aerosol impurities in the region under consideration largely depends on the horizontal component of the air mass velocity in the atmospheric boundary layer. Moreover, with an increase in the roughness coefficient, the horizontal wind speed increases with height, and the area of influence of the discharge plume proportionally expands with time, thereby reducing the level of concentration of aerosol particles.

### References

1. Mlyavaya, G.V., 2014. The influence of the roughness parameters of the underlying surface on the wind speed, Journal of Academy of Sciences of Moldova. Life Sciences, 2(323). P. 181-187.

2. Ravshanov, N., Akhmedov, D., Kravets, O.Ja., 2020. Atmospheric dispersion modeling in ecological engineering problems, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng., 862. P. 1-8. doi: 10.1088/1757-899X/862/6/062017.
3. Sharipov, D., Muradov, F., Akhmedov, D., 2019. Numerical Modeling Method for Short-Term Air Quality Forecast in Industrial Regions, Applied Mathematics E-Notes, 19. P. 575-584.
4. Hanna, S.R., Briggs, G.A., Hosker, R.P., 1982. Handbook on Atmospheric Diffusion. Springfield: U.S. Dept. of Energy, pp 102.
5. WMO, 2018. Guide to Instruments and Methods of Observation, 2018 ed., Vol. 2. Geneva: WMO, pp 42.
6. Obukhov, S.G., Sarsikeyev, E.Zh., 2012. The mathematical model of small-scale wind turbine using Matlab Simulink software, International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology, 2. P. 42-48.

УДК 004.942

## ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ СОВРЕМЕННЫХ САМОЛЁТОВ

### APPLICATION OF MATHEMATICAL MODELING IN THE TESTING OF MODERN AIRCRAFT

Меренцов Д.С., Николаев С.В., Тихонов А.А.,  
Государственный летно-испытательный центр им. В.П. Чкалова,  
г. Ахтубинск, Российская Федерация

D.S. Merentsov, S.V. Nikolaev, A.A. Tichonov,  
V.P. Chkalov State Flight Test Center,  
Achtubinsk, Russian Federation

**Аннотация.** Современный самолет представляет из себя сложную техническую систему, состоящую из совокупности взаимосвязанных между собой различных элементов. Определение свойств самолета на этапе испытаний является сложным и продолжительным по времени процессом. При испытаниях современных самолетов на их соответствие заданным требованиям возникает проблема достижения цели испытаний при сокращении затрат на проведение испытаний, как финансовых, так и временных. Одним из путей решения является применение математического моделирования при исследовании свойств летательного аппарата и его систем. В статье рассмотрены подходы к разработке математических моделей самолета с учетом его аэродинамических свойств, особенностей системы управления. Кроме того, рассмотренный подход к разработке моделей позволяет дополнять модель динамики самолета моделями различных систем, работа которых влияет на процесс выполнения задач по предназначению и на качества самолета в целом. При разработке математических моделей особое внимание уделяется качеству исходных данных. Так, например, банк аэродинамических характеристик, который используется при расчете аэродинамических сил и моментов, действующих на самолет, получается в результате аэродинамических продувок масштабных моделей соответствующих самолетов.

**Abstract.** A modern aircraft is a complex technical system consisting of a set of interconnected various elements. Determining the properties of an aircraft at the test stage is a complex and time-consuming process. When testing modern aircraft for their compliance with the specified requirements, the problem arises of achieving the test goal while reducing the cost of conducting tests, both financial and temporary. One of the solutions is the use of mathematical modeling in the study of the properties of the aircraft and its systems. The article considers approaches to the development of mathematical models of the aircraft, taking into account its aerodynamic properties, the features of the control system. In addition, the considered approach to the development of models allows you to supplement the model of the dynamics of the aircraft with models of various systems, the work of which affects the process of performing tasks for the purpose and the quality of the aircraft as a whole. When developing mathematical models, special attention is paid to the quality of the source data. So, for example, the bank of aerodynamic characteristics, which is used in the calculation of aerodynamic forces and moments acting on the aircraft, is obtained as a result of aerodynamic purges of scale models of the corresponding aircraft.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, испытания, самолет, имитационное моделирование, динамика полета.

**Keywords:** mathematical modeling, testing, aircraft, simulation, flight dynamics.

Современный самолет является сложной технической системой.

Одним из основных методов исследования свойств самолета как сложной технической системы на этапе его создания и испытаний является математическое моделирование (ММ) [1-2].

Применение математического моделирования в практике испытаний авиационной техники позволяет существенно снизить затраты при проведении испытаний, а также расширить возможности при исследовании невоспроизводимых режимов в летном эксперименте [3-4].

При разработке математических моделей на разных этапах создания самолёта от концептуальных исследований до испытаний, а также в зависимости от решаемых задач применяются различные виды и среды математического моделирования.

При исследовании качеств самолёта на заключительных этапах испытаний, когда образец доведен до надежного и работоспособного состояния, область его функционирования в основном соответствует заданной эксплуатационной, а компоненты бортового оборудования выполняют свои функции при выполнении основных задач полёта, целесообразно применять комплексные математические модели функционирования самолёта как совокупности взаимодействующих систем, летательного аппарата, силовой установки.

Среда моделирования Matlab – Simulink позволяет достаточно оперативно разрабатывать математические модели динамики самолета с сохранением возможности постоянной коррекции ММ по результатам натурных испытаний или в соответствии с задачами.

Рассмотрим структуру и возможности динамической модели самолёта, разработанной в среде Simulink.

Структура применяемых моделей включает в себя следующие основные элементы:

– банк аэродинамических характеристик, полученный в результате экспериментальных продувок макета конкретного типа самолета в аэродинамических трубах, который используется в качестве исходных данных.



– имитационные модели элементов информационно-управляющего поля кабины (многофункциональные индикаторы, коллиматорный авиационный индикатор), которые функционируют в режиме реального времени при симуляции полета [5]. Разработаны в среде Flash. Индикационные кадры и их законы функционирования могут соответствовать реальным летательным аппаратам или быть экспериментальными. Примеры имитационных кадров многофункциональных и коллиматорных индикаторов представлены на рисунках 3 и 4;



Рисунок 3. Примеры информационных кадров многофункциональных индикаторов



Рисунок 4. Примеры кадров коллиматорных авиационных индикаторов

– математическая модель среды функционирования самолета, в основе которой лежит стандартная атмосфера, но есть возможность задавать отклонения от стандартных условий;

– элементы управляющего поля кабины, которые включают в себя джойстик, рычаги управления двигателями, педали.

Основой математической модели динамики самолета является система дифференциальных уравнений, описывающих движение самолета с учетом допущения, что оси связанной системы координат совпадают с главными осями инерции летательного аппарата[6]:

$$\frac{d\alpha}{dt} = \omega_z - \frac{1}{\cos \beta} \left[ \left( \frac{a_x}{V} - \omega_y \sin \beta \right) \sin \alpha + \left( \frac{a_y}{V} + \omega_x \sin \beta \right) \cos \alpha \right],$$

$$\begin{aligned} \frac{d\beta}{dt} &= \frac{a_z}{V} \cos \beta - \left( \frac{a_x}{V} \sin \beta - \omega_y \right) \cos \alpha + \left( \frac{a_y}{V} \sin \beta + \omega_x \right) \sin \alpha, \\ \frac{dV}{dt} &= a_x \cos \alpha \cos \beta - a_y \sin \alpha \cos \beta + a_z \sin \beta, \\ \frac{d\omega_z}{dt} &= \frac{I_x - I_y}{I_z} \omega_x \omega_y + q \frac{S b_A}{I_z} m_z - \frac{k_{\text{дв}} \omega_y}{I_z} - \frac{(P_{\text{пр}} + P_{\text{лев}}) y_{\text{дв}}}{I_z}, \\ \frac{d\omega_y}{dt} &= \frac{I_z - I_x}{I_y} \omega_x \omega_z + q \frac{S l}{I_y} m_y + \frac{k_{\text{дв}} \omega_z}{I_y} + \frac{(P_{\text{пр}} - P_{\text{лев}}) z_{\text{дв}}}{I_y}, \\ \frac{d\omega_x}{dt} &= \frac{I_y - I_z}{I_x} \omega_y \omega_z + q \frac{S l}{I_x} m_x, \\ \frac{d\nu}{dt} &= \omega_y \sin \gamma + \omega_z \cos \gamma, \\ \frac{d\gamma}{dt} &= \omega_x - \operatorname{tg} \nu (\omega_y \cos \gamma - \omega_z \sin \gamma), \\ \frac{d\psi}{dt} &= \frac{1}{\cos \nu} (\omega_y \cos \gamma - \omega_z \sin \gamma), \\ \frac{dH}{dt} &= V [\cos \alpha \cos \beta \sin \nu - \sin \alpha \cos \beta \cos \nu \cos \gamma - \sin \beta \cos \nu \sin \gamma]. \end{aligned}$$

где:

$\alpha, \beta$  – углы атаки и скольжения, град;

$\omega_x, \omega_y, \omega_z$  – угловые скорости относительно связанных осей, град/с;

$\nu, \gamma, \psi$  – углы тангажа, крена, рыскания, град;

$V$  – истинная воздушная скорость, км/ч;

$H$  – высота полета, км;

$m_x, m_y, m_z$  – коэффициенты аэродинамических моментов;

$J_x, J_y, J_z, J_{xy}$  – моменты инерции относительно связанных осей, кг/м<sup>2</sup>;

$l, b_A$  – размах крыла и длина средней аэродинамической хорды, м;

$S$  – эквивалентная площадь крыла, м<sup>2</sup>;

$q$  – скоростной напор, па;

$P_{\text{пр}}, P_{\text{лев}}$  – сила тяги правого и левого двигателей, кгс;

$k_{\text{дв}}$  – кинетический момент роторов двигателей;

$y_{\text{дв}}, z_{\text{дв}}$  – координаты двигателя относительно связанных осей, м;

$\varphi_{\text{дв}}$  – угол установки двигателей, град.

Для более точного учета взаимного влияния каналов крена и направления целесообразно применять более сложную модель, в которой учитывается центробежный момент инерции  $J_{xy}$ .

Данная система уравнений связывает между собой положение самолета в пространстве, условия полета и действующие на самолет силы и моменты.

В дальнейшем, методом интегрирования линейных ускорений и угловых скоростей, определяется динамика изменения координат положения самолета и его угловых положений.

С помощью имитационных кадров многофункциональных индикаторов оператор организуется визуальная обратная связь для оператора, выполняющего моделирование.

Применение стандартных и специализированных библиотек среды Simulink позволяет контролировать параметры в процессе моделирования, а также выполнять углубленный анализ результатов моделирования. На рисунке 5 представлен пример результата моделирования полета группы беспилотных летательных аппаратов с автоматическим выдерживанием места в строю [7].

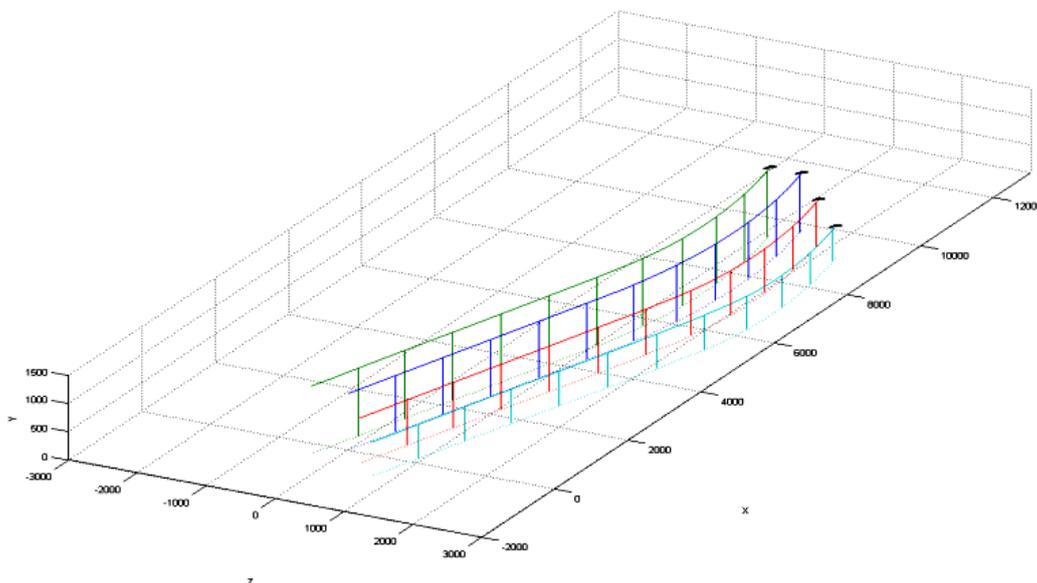


Рисунок 5. Траектория движения группы беспилотных летательных аппаратов, полученная в процессе моделирования

## Выводы

Применение ММ динамики современных самолетов позволяет исследовать особенности функционирования самолета при решении различных целевых задач, с учетом функционирования высокоавтоматизированных систем управления, в том числе систем автоматического управления, в широком диапазоне эксплуатационных факторов [8-10].

## Литература

1. Николаев С.В. Метод имитационного моделирования в летных испытаниях авиационных комплексов. Прикладная физика и математика 2017 г. №3, С. 57-68.
2. Николаев С.В. Применение метода имитационного моделирования в летных испытаниях авиационных комплексов. Авиакосмическое приборостроение 2017. – №8. С. 18-34.
3. Николаев С.В., Тихонов А.А., Меренцов Д.С. Определение в испытаниях вероятности выхода летательного аппарата в информационный контакт с воздушными объектами. Научный вестник МГТУ ГА. 2018; 21(5): 78-93.
4. Николаев С.В. Определение в испытаниях вероятности обнаружения наземных объектов с борта летательного аппарата. Научный вестник МГТУ ГА. 2017; 20(5):131-144.
5. Корсун О.Н., Николаев С.В., Меренцов Д.С., Волоцков В.В. Особенности и технология моделирования индикации на фоне закабинной обстановки современных авиационных комплексов. Научные чтения по авиации, посвященные памяти Н.Е. Жуковского. Москва 2017 г. Сборник докладов. №4. С. 246-253.

6. Аэродинамика, устойчивость и управляемость сверхзвуковых самолетов / Под ред. Г.С. Бюшгенса. – М.: Наука. Физматлит, 1998. – 816 с.
7. Меренцов Д.С., Гулевич С.П., Николаев С.В. Применение моделирования для исследования алгоритмов траекторного взаимодействия группы беспилотных летательных аппаратов. Юбилейная всероссийская научно-техническая конференция «Авиационные системы в XXI веке». Сборник докладов. Москва, 26-27 мая 2016 г. С 376-381.
8. Николаев С.В., Меренцов Д.С., Скрынников А.А., Спирин В.В. Моделирование режима увода самолёта-носителя от осколков авиационных средств поражения при бомбометании с пикирования. Труды ГосНИИАС. Серия Вопросы авионики. Выпуск 3 (32) 2017. С. 3-11.
9. Николаев С.В., Тихонов А.А., Меренцов Д.С., Бурлак Е.А. Применение математического моделирования при оценке боевых возможностей авиационных комплексов при атаке наземной цели. Сборник докладов XV всероссийской научно-технической конференции «Научные чтения по авиации, посвященные памяти Н.Е. Жуковского» 2018 г. С. 126-133.
10. Николаев С.В., Меренцов Д.С., Тихонов А.А., Корсун О.Н. Проблемы оценки эффективности режимов комплексной обороны перспективных авиационных комплексов на этапе государственных испытаний. IV Всероссийская научно-техническая конференция «Моделирование авиационных систем». 2020. С. 167.

## СЕТИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

УДК 004.519.872.3

### МОДЕЛЬ ОБСЛУЖИВАНИЯ ЗАЯВОК С ПРИОРИТЕТАМИ И ПРЕРЫВАНИЕМ В ЗВЕНЕ МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ СВЯЗИ

### MODEL OF SERVICING OF REQUESTS WITH PRECEDENCES AND PREEMPTION IN THE LINK OF THE MULTISERVICE COMMUNICATION NETWORK

Корнилов С.А., Торгашов М.И.,  
ФГКВОУ ВО «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации»,  
г. Орел, Российская Федерация

S.A. Kornilov, M.I. Torgashov,  
The Academy of Federal Security Guard Service of the Russian Federation,  
Orel, Russian Federation

e-mail: korsar-89@bk.ru

**Аннотация.** Задачи защиты от перегрузок, выравнивания потерь и обеспечения приоритетного обслуживания заявок (вызовов) инфокоммуникационных услуг в мультисервисной сети связи в настоящее время имеют большое значение. Особенно острой эта задача становится в условиях возникновения кризисных и чрезвычайных ситуаций, а также отказов оборудования по причине их конечной технико-эксплуатационной надежности и различных дестабилизирующих воздействий на него. Данная статья посвящена вопросам построения аналитической модели обслуживания мультисервисного трафика в звене мультисервисной сети связи, реализующей дисциплину обслуживания заявок с приоритетами и прерыванием. Анализ процесса поступления заявок и передачи информации осуществляется на уровне установления соединений. Поступающие на вход звена потоки являются пуассоновскими, а длительности обслуживания заявок имеют экспоненциальное распределение и не зависят друг от друга. В работе приведено описание системы в символике Кендалла-Башарина, представлено ее пространство состояний и соответствующая диаграмма переходов случайного процесса, рассмотрен алгоритм взаимодействия потока вызовов с системой массового обслуживания. Получены расчетные выражения для характеристик качества обслуживания поступающих потоков заявок и сделаны выводы о применении разработанной модели.

**Abstract.** The tasks of protecting against overloads, balancing losses and ensuring priority servicing of requests (calls) for infocommunication services in a multiservice communication network are currently of great importance. This task becomes especially acute in the conditions of crisis situations and emergencies, as well as equipment failures due to their ultimate technical and operational reliability and various destabilizing influences on it. This article is devoted to the construction of an analytical model for servicing multiservice traffic in the link of a multiservice communication network that implements the discipline of servicing applications with priorities and interruption. Analysis of the process of receipt of applications

and the transfer of information is carried out at the level of establishing connections. The flows arriving at the input of the link are Poisson flows, and the service times of applications have an exponential distribution and are independent of each other. In this work is given description of the system in the Kendall-Basharin notation, presents its state space and the corresponding transition diagram of a random process, the interaction algorithm of the call flow with the queuing system are considered. Calculated expressions are obtained for the quality of service characteristics of the incoming calls flows and conclusions are drawn on the application of the developed model.

**Ключевые слова:** звено мультисервисной сети, система массового обслуживания, пространство состояний, поток вызовов, дисциплина обслуживания с приоритетами и прерыванием, вероятность потерь.

**Keywords:** multiservice network link, queuing system, state space, calls flow, precedences and preemption servicing discipline, calls losses probability.

Ведущим направлением развития современных телекоммуникаций является создание мультисервисных сетей связи (МСС) на основе принципов концепции NGN, способных обеспечить предоставление пользователям практически неограниченного перечня инфокоммуникационных услуг с гибкими возможностями по их управлению.

Анализ функционирования современных сетей связи показал, что процесс обслуживания заявок (вызовов) имеет ряд особенностей, обусловленных их принципами построения и условиями функционирования:

- мультисервисный характер трафика (неординарность заявок, в частности их разноскоростной характер);
- сложный ярко выраженный скачкообразный (волновой) характер зависимости потерь заявок различных видов услуг при мультисервисном обслуживании [1–3];
- необходимость обеспечения приоритетного обслуживания вызовов в условиях возникновения кризисных и чрезвычайных ситуаций [4–8];
- существенная неоднородность параметров трафика и требований к качеству обслуживания и др.

В то же время следует отметить, что существующие мультисервисные модели систем распределения информации (СМО) на уровне соединений [1, 2] не в полной мере учитывают отмеченные особенности построения и условия функционирования МСС и требуют соответствующей доработки.

С учетом выявленных факторов разработана новая модель, которая в символике Кендалла-Башарина [9] может быть записана в следующем виде  $\vec{M}_n / \vec{M}_b / V / L / PRA$ .

На мультисервисную СМО поступает  $n$  потоков вызовов сервисов реального времени.

Каждый поток требований на обслуживание описывается моделью простейшего потока с интенсивностью  $\lambda_k$ ,  $k = \overline{1, n}$ .

Длительности обслуживания заявок  $k$ -го потока являются независимыми случайными величинами, имеющими экспоненциальное распределение со средним временем занятия канального ресурса  $1/\mu_k$ , где  $\mu_k$  – интенсивность обслуживания заявок  $k$ -го потока.

Число единиц канального ресурса (ЕКР) линии связи, необходимое для обслуживания одной заявки  $k$ -го потока –  $b_k$  (целое число).

Схема коммутации полнодоступная, внутренних блокировок нет.

Скорость передачи информации в линии связи, выраженная в ЕКР –  $V$  (целое число).

Потерянная заявка повторно в систему не поступает.

Порядок обслуживания с абсолютным приоритетом (приоритетами и прерыванием).

Обозначим число заявок первого и второго потоков, находящихся на обслуживании,  $i_1 \in \left\{0, 1, \dots, \left\lfloor \frac{V}{b_1} \right\rfloor\right\}$  и  $i_2 \in \left\{0, 1, \dots, \left\lfloor \frac{V}{b_2} \right\rfloor\right\}$  соответственно, где скобки  $\lfloor \cdot \rfloor$  обозначают целую часть выражения.

Общее число занятых в этот момент ЕКР определяется из соотношения  $i = i_1 \cdot b_1 + i_2 \cdot b_2$ . Тогда вектор  $(i_1, i_2)$  отражает состояние СМО в пространстве состояний (1)

$$\Omega = \{(i_1, i_2) : i \leq V\}. \quad (1)$$

Изменение числа заявок каждого из имеющихся потоков, обслуживаемых в системе, описывается двумерным случайным процессом  $r(t) = (i_1(t), i_2(t))$ , определенным на конечном пространстве состояний (1).

Пространство состояний и соответствующая диаграмма переходов СМО, рассматриваемого типа, показаны на рисунке 1.

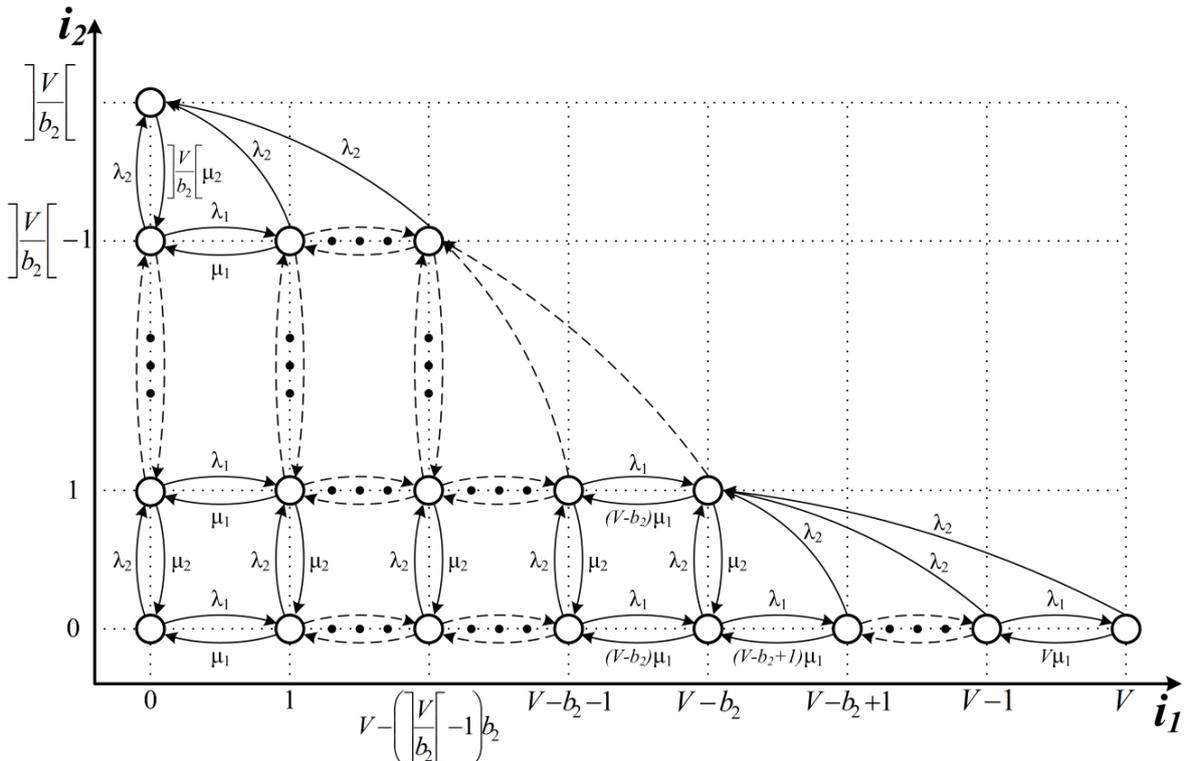


Рисунок 1. Диаграмма переходов для случайного процесса  $r(t)$

Опишем алгоритм взаимодействия потока вызовов с системой.

При поступлении высокоприоритетного вызова возможны следующие исходы:

– вызов будет принят на обслуживание, не влияя на число установленных низкоприоритетных соединений. Ситуация возможна, когда число свободных ресурсов звена больше или равно  $b_2$  ЕКР, т.е. при  $V - i \geq b_2$ ;

– вызов будет принят на обслуживание за счет прерывания  $\left\lfloor \frac{b_2 - (V - i)}{b_1} \right\rfloor$

установленных низкоприоритетных соединений, где  $\lfloor \cdot \rfloor$  – округление к большему целому. Ситуация возможна, когда число свободных ресурсов звена меньше числа ЕКР  $b_2$ , требуемых для установления высокоприоритетного соединения, т.е. при  $V - i < b_2$ ;

– вызов будет потерян, когда число ресурсов звена, не занятых обслуживанием высокоприоритетных соединений, меньше числа ЕКР  $b_2$ , т.е. при  $V - i_2 \cdot b_2 < b_2$ .

При поступлении низкоприоритетного вызова возможны следующие исходы:

– вызов будет принят на обслуживание. Ситуация возможна, когда число свободных ресурсов звена больше или равно  $b_1$  ЕКР, т.е. при  $V - i \geq b_1$ ;

– вызов будет потерян во всех остальных случаях.

Обозначим через  $P(i_1, i_2)$  – стационарную вероятность того, что на обслуживании находятся  $i_1$  заявок на передачу низкоприоритетного трафика и  $i_2$  заявок на передачу высокоприоритетного трафика.

Для нахождения данной вероятности была составлена и решена система уравнений равновесия [3].

В соответствии с интерпретацией стационарных (предельных) вероятностей марковского процесса значение вероятности  $P(i_1, i_2)$  представляет собой долю времени пребывания звена в состоянии  $(i_1, i_2)$ .

Данная интерпретация позволила получить расчетные выражения для искомым характеристик качества обслуживания поступающих потоков заявок. К ним относятся  $\pi_1$  – вероятность потерь заявок низкоприоритетного трафика и  $\pi_2$  – вероятность потерь заявок высокоприоритетного трафика.

Адекватность разработанной модели доказывалась путем проверки ее сходимости к известным моделям СМО при соответствующем выборе значений нагрузочных и структурных параметров и к результатам, полученным при имитационном моделировании. Для этого были разработаны имитационные модели звена МСС в среде AnyLogic.

## Выводы

Применение предложенной модели СМО  $\vec{M}_n / \vec{M}_b / V / L / PRA$  на этапах проектирования и эксплуатации позволяет повысить обоснованность принимаемых решений по обеспечению требуемого качества обслуживания вызовов различных инфокоммуникационных услуг в звене МСС, отличающихся скоростью передачи информации и приоритетами в обслуживании.

## Литература

1. Степанов С.Н. Теория телетрафика: концепции, модели, приложения / С.Н. Степанов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2015. – 868 с.
2. Башарин Г.П. Лекции по математической теории телетрафика. Изд. 3-е, перераб. и доп. / Г.П. Башарин. – М.: РУДН, 2009. – 342 с.

3. Корнилов С.А. Модель звена мультисервисной сети следующего поколения с приоритетной дисциплиной обслуживания / С.А. Корнилов, А.В. Королев // Телекоммуникации. – 2017. – №10. – С. 35–42.
4. RFC 4542. Implementing an Emergency Telecommunications Service (ETS) for Real-Time Services in the Internet Protocol Suite. – 2006.
5. Рекомендация МСЭ-Т Y.2171. Уровни приоритета при управлении доступом в сетях последующих поколений. – 2006.
6. Рекомендация МСЭ-Т H.248.44. Протокол управления шлюзом: Пакет для многоуровневой категории срочности и прерывания сообщений. – 2007.
7. Recommendation ITU-T H.460.14. Support for Multi-Level Precedence and Preemption (MLPP) within H.323 systems. – 2013.
8. Корнилов С.А. Предложения по применению различных стратегий доступа к канальным ресурсам звена мультисервисной сети связи / С.А. Корнилов, А.В. Королев, А.И. Войцеховский // Информационные системы и технологии. – 2019. – №3(113). – С. 82-89.
9. Корнышев Ю.Н. Теория телетрафика: учебник для вузов / Ю.Н. Корнышев, А.П. Пшеничников, А.Д. Харкевич. – М.: Радио и связь, 1996. – 272 с.

## СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ГИС-ТЕХНОЛОГИИ

УДК 004.942

### СТАТИЧЕСКИЙ И МОДАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОМПОНОВОК МЕХАТРОННОГО СТАНОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

#### STATIC AND MODAL ANALYSIS LAYOUTS MECHATRONIC MACHINE EQUIPMENT

Кульга К.С., Валиев А.А.,  
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный  
технический университет»,  
г. Уфа, Российская Федерация

K.S. Kulga, A.A. Valiev,  
FSBEI HPE «Ufa State Aviation Technical University»  
Ufa, Russian Federation

e-mail: stalker\_pro@mail.ru

**Аннотация.** Изложена и экспериментально апробирована методика компьютерного моделирования компоновок мехатронного станочного оборудования с помощью программного обеспечения CAD/CAE-систем для проведения статического и модального анализов на стадии технического предложения. Эта стадия проектирования является одной из самых ответственных и влияет на итоговые результаты проекта. С учетом этого необходим более высокий уровень детализации исходных и результирующих наборов данных геометрических и конечно-элементных моделей компоновок дорогостоящего мехатронного станочного оборудования. Приведены этапы реализации предлагаемой методики на примере компьютерного моделирования мехатронного пяти-координатного многоцелевого станочного оборудования с числовым программным управлением. Такое станочное оборудование должно иметь высокие технические показатели качества для обеспечения механической обработки сложной детали-представителя авиационного двигателя «Лопатка направляющая II ступени» с помощью операций сверления, зенкерования и развертывания отверстий, нарезание резьбы метчиками и фрезами, полустачное и чистовое прямолинейное и контурное фрезерование, чистовое растачивание отверстий. В описание каждого этапа методики приведены особенности его реализации и описаны полученные результаты. Предлагаемая методика компьютерного моделирования может быть применена для проектирования других видов мехатронного оборудования.

**Abstract.** The method of computer modeling of mechatronic machine equipment layouts using CAD/CAE-systems software for static and modal analyses at the stage of technical proposal is described and experimentally tested. This design phase is one of the most important and affects the final results of the project. In view of this, a higher level of detail of the original and resultant data sets of the geometric and finite element models of the layouts of expensive mechatronic machine equipment is needed. Steps of implementation of the proposed technique on the example of computer simulation of mechatronic five-coordinate multipurpose

machine tool equipment with numerical program control are given. Such machine equipment should have high technical quality indicators to ensure the machining of the complex representative part of the aircraft engine “Blade guide of the II stage” Such machine tool equipment must have high technical quality indicators to ensure the machining of a complex part-representative of the aircraft engine “Guiding blade of the II stage” by means of drilling, countersinking and reaming of holes, threading with taps and cutters, semi-finishing and finishing straight-line and contour milling, finishing boring holes. The description of each step of the procedure shows the peculiarities of its implementation and describes the obtained results. The proposed computer simulation technique can be used to design other types of mechatronic equipment.

**Ключевые слова:** мехатронное станочное оборудование, компоновка, CAD/CAE-системы, статический анализ, модальный анализ.

**Keywords:** mechatronic machine equipment, layout, CAD/CAE systems, static analysis, modal analysis.

## **Введение**

Основы компонетики и определение компоновки мехатронного станочного оборудования как самостоятельного объекта были изложены в работах [1, 2]. Компоновка этого дорогостоящего оборудования влияет на его основные показатели качества: статические и динамические упругие деформации, термические деформации, на распределение давлений и износ в подвижных соединениях.

Создание компоновки осуществляется на ранней стадии проектирования станочного оборудования.

Задача создания методики компьютерного моделирования компоновки мехатронного многоцелевого станочного оборудования («цифрового двойника» оборудования) для получения расчетных значений критериев статического и модального анализов на стадии технического предложения является актуальной, так как от решения этой задачи во многом зависит успех проекта в целом.

Цель научного исследования – разработка методики компьютерного моделирования компоновок мехатронного многоцелевого станочного оборудования на стадии технического предложения с помощью программного обеспечения CAD (Computer Aided Design)/CAE (Computer Aided Engineering)-систем и метода конечных элементов (МКЭ).

## **Описание методики**

Исходными данными для компьютерного моделирования компоновки мехатронного многоцелевого станочного оборудования являются:

- результаты анализа конструкции и базового технологического процесса изготовления детали-представителя (включая конструкцию специального станочного приспособления),
- перечень формообразующих исполнительных движений,
- структурно-кинематическая схема компоновки оборудования.

Рассмотрим предлагаемую методику на примере проектирования компоновки мехатронного многоцелевого станочного оборудования (далее, станка).

В качестве компоновки станка-аналога выбрано оборудование производства компании ООО «СТАН» [3].

Для расширения технологических возможностей станок укомплектован поворотным столом и задней бабкой. Угол поворота стола и скорость его вращения программируются с помощью системы ЧПУ. Этот станок должен иметь высокие показатели статического и динамического качества. По этой причине на ранней стадии проектирования станок был подвергнут виртуальным испытаниям – компьютерному моделированию с помощью МКЭ.

В качестве детали-представителя выбрано изделие «Лопатка направляющая II ст.» (далее, деталь). Тип заготовки – штамповка, материал заготовки «ЭИ-961Ш», твердость 280...380 НВ.

Предлагаемая методика статического и модального анализов конечно-элементной модели компоновки станка с помощью программного обеспечения (ПО) CAD/CAE-систем включает восемь этапов.

Этап 1. Проектирование 3D-геометрических моделей детали, станочного приспособления и компоновки станка в CAD-системе [4, 5]. Этот этап также включает подготовку геометрической модели компоновки станка с учетом всех параметров, которые могут оказать существенное влияние на результаты статического анализа на основе МКЭ (рисунок 1).

Этап 2. Создание максимально возможного числа областей с регулярной сеткой конечных элементов (КЭ). Для компоновок станков рекомендуем уплотнять сетку КЭ с помощью настройки параметров управления сеткой [5]. Эти рекомендации относятся к исходной конечно-элементной модели компоновки станка. После первого статического анализа появляется актуальная информация, на базе которой можно изменять параметры дискретизации вышеуказанной модели.

Этап 3. Моделирование статических и кинематических граничных условий для конечно-элементной модели компоновки станка. Определение граничных условий имеет не меньшее значение для точности статического анализа МКЭ, чем функциональность при построении сетки КЭ. На этом этапе учитывается действие активных силовых факторов (составляющих сил резания) и наложенных на систему связей (подвижные и неподвижные стыки).

Составляющие силы резания  $P_x, P_y, P_z$ , действующие в рабочем поле станка, определяются для наиболее нагруженного перехода операции, выполняемой на станке.

Для моделирования действия составляющих сил резания, действующих при фрезеровании поверхностей детали (рисунок 1), предлагается использовать вид внешнего нагружения «Дистанционная нагрузка» [5]. Этот вид нагружения одновременно прикладывается как к обрабатываемой поверхности детали, так и к переднему концу шпиндельного узла станка.

Для моделирования действия сил закрепления детали в станочном приспособлении использовался вид внешнего нагружения «Сила» [4-6].

В станке применяются направляющие качения «рельс и танкетка», для которых производитель экспериментально определил радиальные и осевые податливости, рекомендованную величину предварительного натяга [7]. В станочном приспособлении применяются подшипники качения, для которых предварительно были определены радиальные и осевые податливости.

Для компьютерного моделирования направляющих станка и подшипников использовался КЭ «Пружина» [5].

Моделирование закрепления станка реализовано с помощью КЭ «Заделка» (допущение на этой стадии проектирования).

Разработанная конечно-элементная модель компоновки станка приведена на рисунке 2.

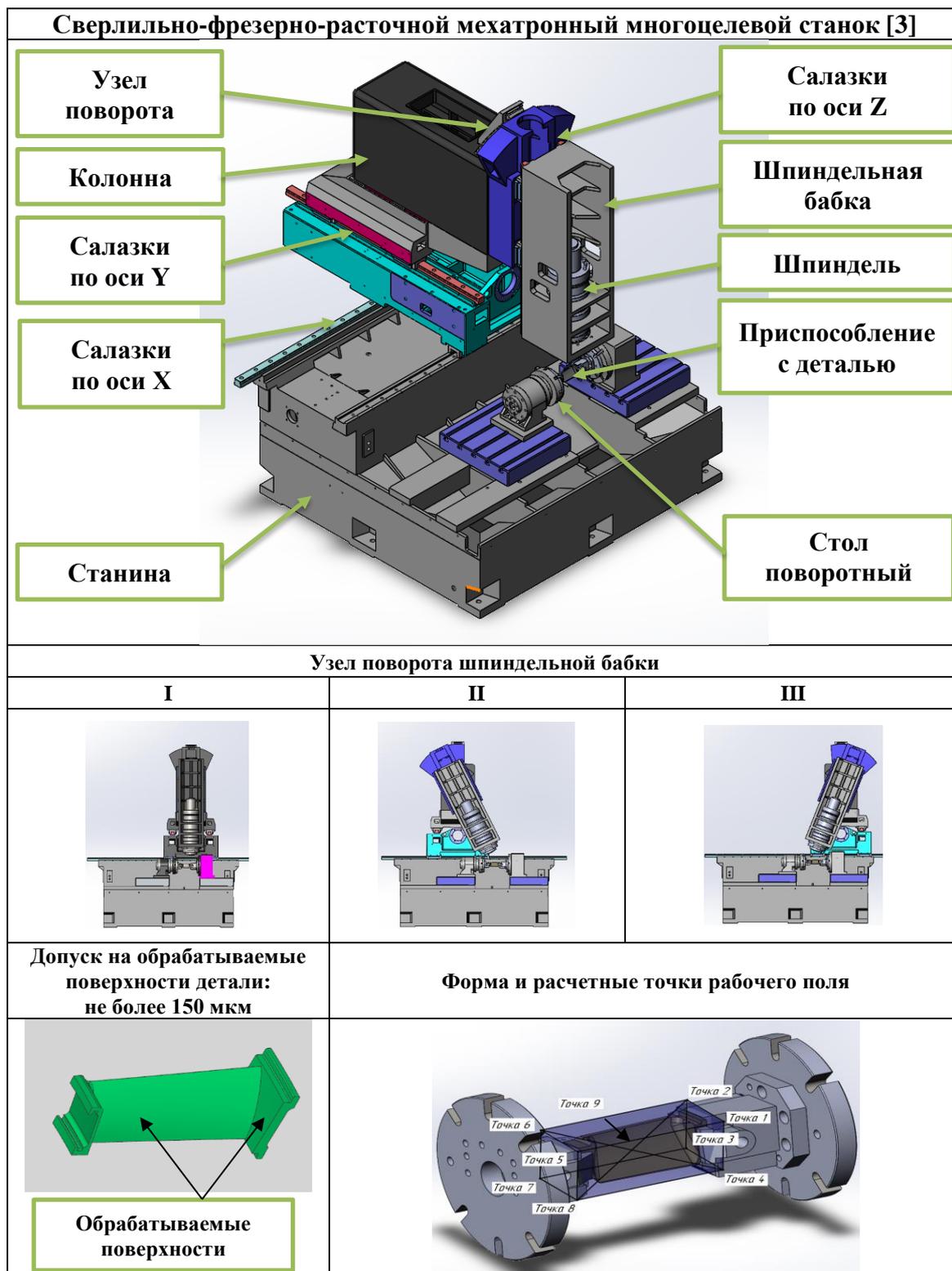


Рисунок 1. Результаты выполнения этапа 1

Этап 4. Влияние настройки дискретизации конечно-элементной модели станка на результаты её статического и модального анализ. Для этого необходимо выявить влияние настройки параметров сетки на погрешность вычисления максимальных эквивалентных напряжений по критерию von Mises и результирующих статических перемещений URES.

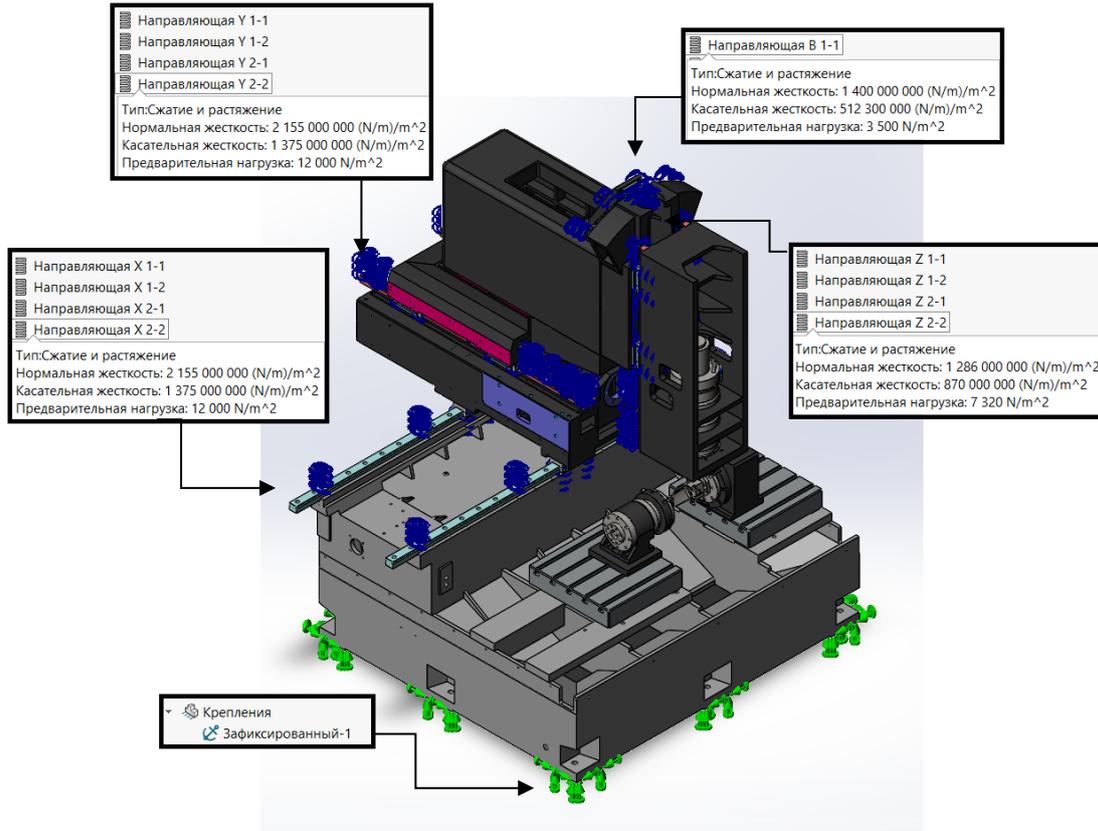


Рисунок 2. Конечно-элементная модель компоновки станка

Этап 5. Статический анализ конечно-элементной модели компоновки станка.

Для выполнения предлагаемого технологического процесса механической обработки детали необходимы три положения шпиндельной бабки (ШБ), реализуемых узлом поворота станка (рисунок 1). Положение I ШБ предназначено для механической обработки профиля детали, а положения II-III ШБ для механической обработки прикомлевых радиусов детали. На рисунке 3 приведены графики расчетных значений напряжений von Mises и результирующих статических перемещений URES станка для положения I ШБ.

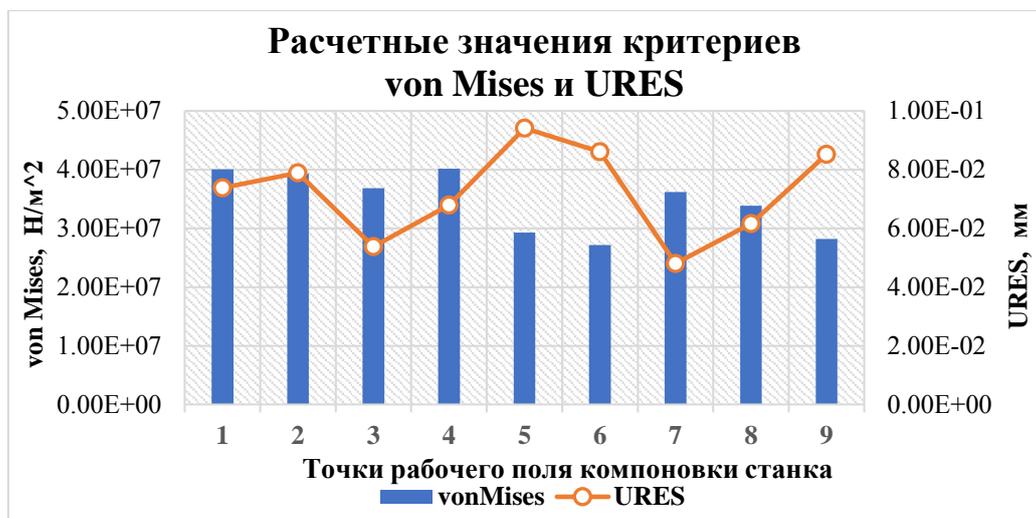


Рисунок 3. Графики с расчетными значениями критериев статического анализа (этап 5)

Этап 6. Обработка и анализ полученных результатов.

Анализ результатов выявил:

– расчетные значения максимальных напряжений по критерию von Mises не превышает допустимых значений;

– максимальные результирующие статические перемещения URES компоновки станка в положении I ШБ больше, чем в положениях II-III, соответственно: 0,09411 мм (1-я точка рабочего поля) > 0,08553 мм > 0,07203 мм. Расчетные максимальные статические перемещение URES и по осям X/Y/Z не превышают допустимого значения: 0,15 мм (указано в чертеже детали);

– наибольший вклад в перемещения оказывает элемент (узел) компоновки станка «Шпиндель» – 25,3% от результирующего статического перемещения URES;

– расчетное минимальное значение коэффициента запаса прочности превышает допустимое значение: 9,143 > [5].

После качественного выполнения этапов 1-6 реализуется переход к модальному анализу конечно-элементной модели станка.

Этап 7. Модальный анализ. На этом этапе реализуются:

– расчеты собственных частот и соответствующих форм колебаний конструкции компоновки станка, обнаружение и анализ резонансных мод (формы вибрационной реакции) компоновки станка. Поскольку нет нагружения конечно-элементной модели компоновки станка, то моды не показывают реальной амплитуды колебаний, а лишь отображают их форму;

– расчеты коэффициентов массового участия, которые связаны с собственными частотами (эффективная масса). Эти коэффициенты необходимы для выявления наиболее опасных режимов работы и сколько частот необходимо охватить для оценки всего динамического поведения компоновки станка.

Модальный анализ является важной составной частью динамического анализа, поскольку знание собственных форм и частот колебаний компоновки станка помогает оценить ее динамическое поведение, например, в переходных процессах. Основные результаты модального анализа конечно-элементной модели компоновки станка приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты модального анализа компоновки станка

Мода	M1	M2	M3	M4	M33	M40	M47
Частота, Гц	17,62	22,64	34,16	71,21	379,31	428,08	478,05
Коэффициент массового участия	0,241 (ось Z)	0,277 (ось X)	0,108 (ось Y)	0,262 (ось X)	0,036 (ось Z)	0,052 (ось X)	0,058 (ось Z)
Элемент (узел) компоновки станка	ШБ, шпиндель, колонна				Деталь		

Этап 8. Определение направлений оптимизации компоновочных факторов станка с целью улучшения результатов статического и модального анализов.

## Выводы

Разработана и экспериментально апробирована методика решения актуальной исследовательской задачи – автоматизированного проектирования компоновок мехатронного многоцелевого станочного оборудования с ЧПУ (включая станочное приспособление) на стадии технического предложения с помощью ПО CAD/CAE-систем и МКЭ для изготовления детали-представителя. Предлагаемая методика может быть применена для проектирования других видов мехатронного оборудования.

## Литература

1. Врагов Ю.Д. Анализ компоновок металлорежущих станков: Основы компонетики. – М.: Машиностроение, 1978. – 208 с.
2. Металлорежущие станки: учебник. В 2 т. / Авраамова Т.М., Бушуев В.В., Гиловой Л.Я. и др.; под ред. Бушуева В.В. в 2 т. Т. 1. – М.: Машиностроение, 2012. – 608 с.
3. ООО «Стан» [Электронный ресурс] // СТАН – лидер российского станкостроения. – 2021. – Режим доступа: <https://www.stan-company.ru> – Проверено 15.02.2021.
4. Dassault Systemes [Электронный ресурс]: // SolidWorks. – 2021. Режим доступа: <https://www.solidworks.com/ru> – Проверено 15.02.2021.
5. Информационные технологии в проектировании мехатронного оборудования: учеб. пособие / К.С. Кульга. Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа: УГАТУ, 2014. – 201 с.
6. Paul M. Kurowski. Engineering Analysis with SolidWorks Simulation. – SDC Publications, 2013. – 496 p.
7. Rexroth [Электронный ресурс]: // A Bosch Group. – 2021. Режим доступа: <https://www.boschrexroth.com/ru/ru/> – Проверено 15.02.2021.