



ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ РОССИИ

06 [201] 2024

В. Тютюнник, А. Баканов
Выявление потребности пользователей
информационной системы **4**

Л. Адамцевич
Анализ научных исследований
в области использования
ИИ в строительстве **42**

П. Каган, М. Куценко
Решение задач цифровизации
строительной отрасли
на основе методов ИИ **60**





ISSN 0204-3653

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № 77-12208 от 29 марта 2002 г.
Учредитель и издатель ФГБУ «РЭА» Минэнерго России
Тираж до 500 шт.
Периодичность выхода 6 раз в год

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук

Научно-редакционный совет

Трусов А. В. – доктор технических наук, директор Пермского ЦНТИ – филиала ФГБУ «РЭА» Минэнерго России (председатель совета); **Адамцевич Л. А.** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве НИУ МГСУ; **Антопольский А. Б.** – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник ИНИОН РАН; **Баканов А. С.** – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник ИППИ РАН; **Баканов В. М.** – профессор кафедры «Персональные компьютеры и сети» факультета информационных технологий МГУПИ; **Гулев С. К.** – доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент РАН, руководитель лаборатории Института океанологии РАН; **Гуриев М. А.** – доктор технических наук, профессор, президент Союза операторов Интернета, председатель Совета фонда гражданских инициатив политики Интернета, член попечительского Совета фонда развития Интернета; **Добролюбов С. А.** – доктор географических наук, профессор, академик РАН, декан географического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова; **Дзегеленок И. И.** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры вычислительных машин, систем и сетей НИУ «МЭИ»; **Дуань С.** – кандидат технических наук, магистр информационных технологий и бизнеса, генеральный директор Харбинской международной ассоциации научно-технического сотрудничества и обмена (КНР); **Евтушенко С. И.** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве НИУМГСУ; **Еремин Н. А.** – доктор технических наук, главный научный сотрудник ИПНГ РАН; **Железнов М. М.** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве НИУ МГСУ; **Залиханов М. Ч.** – доктор географических наук, профессор, академик РАН, заведующий Центром геоинформатики и чрезвычайных ситуаций КБГУ; **Каленов Н. Е.** – доктор технических наук, главный научный сотрудник МСЦ РАН; **Козьминых С. И.** – доктор технических наук, профессор кафедры информационной безопасности Финансового университета; **Лобанов И. В.** – кандидат юридических наук, доцент, ректор РЭУ им. Г. В. Плеханова; **Лопатина Н. В.** – доктор педагогических наук, заведующая кафедрой библиотечно-информационных наук МГИК, ведущий научный сотрудник ФИПС; **Образцов С. М.** – доктор физико-математических наук, начальник лаборатории математического моделирования АО «ГНЦ РФ-ФЭИ»; **Партх П.** – доктор технических наук, Энергетический университет Пандита Диндайала (Индия); **Поляк Ю. Е.** – кандидат экономических наук, ведущий научный сотрудник ЦЭМИ РАН; **Сайпуллаев И. А.** – кандидат экономических наук, доцент, декан факультета экономики и управления Наманганского инженерно-строительного института (Республика Узбекистан); **Сотников А. Н.** – доктор физико-математических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заместитель директора МСЦ РАН; **Тикуннов В. С.** – доктор географических наук, профессор, заведующий лабораторией комплексного картографирования, заведующий региональным центром мировой системы данных географического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова; **Трусов В. А.** – доктор технических наук, профессор НИУ ВШЭ; **Филиппов С. П.** – доктор технических наук, академик РАН, директор ИНЭИ РАН; **Цветкова В. А.** – доктор технических наук, профессор кафедры библиотечно-информационных наук МГИК.

Содержание

От редакции

- 3 А. Горшкова**
Революция за день

Цифра

- 4 В. Тютюнник, А. Баканов**
Выявление потребности пользователей информационной системы

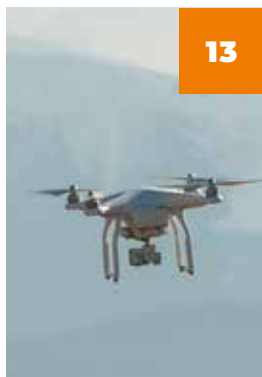
- 13 З. Лященко, А. Лященко, В. Горбанев, А. Ковальчук**
Разработка симулятора управления FPV-квадрокоптером для виртуальной реальности на платформе Unity

ТЭК

- 31 В. Бушуев, Д. Соловьев, К. Дегтярев**
Электроёмкость экономики регионов Сибири: анализ, методология и перспективы повышения энергоэффективности



4



13



31



ИНФОРМАЦИОННЫЕ
РЕСУРСЫ РОССИИ

Строительство

- 42 Л. Адамцевич**
Анализ научных исследований в области использования ИИ в строительстве

- 60 П. Каган, М. Куценко**
Решение задач цифровизации строительной отрасли на основе методов ИИ

Базы данных

- 68 А. Трусов, В. Трусов**
Разработка моделей и алгоритмов системы информационно-аналитической поддержки мероприятий импортозамещения в ТЭК России на основе информации о производителях и потребителях



68



60



INFORMATION RESOURCES OF RUSSIA

Founder's word

- 3** **A. Gorshkova**
A revolution in a day

Digitalization

- 4** **V. Tyutyunnik, A. Bakanov**
Identification of information needs information system users
- 13** **Z. Lyashenko, A. Lyashenko, V. Gorbanev, A. Kovalchuk**
Development of an FPV quadcopter control simulator for virtual reality on the Unity platform

FEC

- 31** **V. Bushuev, D. Solovyev, K. Degtyarev**
Electric intensity of the siberian regions' economy: analysis, methodology, and prospects for improving energy efficiency



Contents

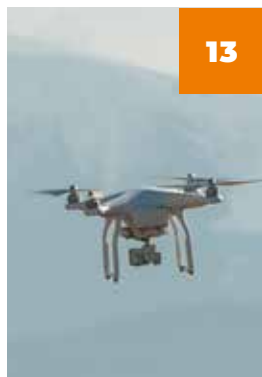
Construction

- 42** **L. Adamtsevich**
Analysis of scientific research in the field of ai applications in construction

- 60** **P. Kagan, M. Kutsenko**
Solving the problems of digitalization of the construction industry based on artificial intelligence methods

Databases

- 68** **A. Trusov, V. Trusov**
Development of models and algorithms for the system of information and analytical support for import substitution measures in the fuel and energy complex of Russia based on information about producers and consumers



Революция за день

Мир разработок систем искусственного интеллекта переживает свою вторую революцию. Китайский стартап DeepSeek выпустил свою генеративную модель DeepSeek R1 с открытым исходным кодом, способную не только обрабатывать данные, но и строить логические рассуждения. По заявлению разработчиков, эта модель способна конкурировать с ChatGPT от OpenAI, а по некоторым направлениям текстов – превосходить ее. Затраты на ее разработку составили менее 6 млн долл., тогда как OpenAI потратила на создание и обучение ChatGPT более 78 млн долл. DeepSeek больше ориентирована на обучение модели, а не на объем обрабатываемых данных, что снижает потребности в ЦОДах и затраты на электроэнергию.

Презентация модели обернулась взрывом на фондовом рынке США. За один день акции главного американского производителя чипов для ИИ Nvidia рухнула почти на 14%, а капитализация более чем на 500 млрд долл. Рынок заговорил об эффективности многомиллиардных инвестиций в ИИ Google, Microsoft, Amazon и так далее. Сами промышленные гиганты признали эффективность R1 и занялись проверкой оригинальности моделей DeepSeek. Успех китайского стартапа, работающего в жестких условиях санкций и ограниченных инвестиций, поднимает закономерный вопрос, почему Россия так сильно отстает в разработке систем ИИ? Что мешает российским компаниям, если не произвести промышленную революцию, то хотя бы создать жизнеспособные конкурентные модели: отсутствие условий для работы маленьких стартапов, непродуманная финансовая господитика, слабая IT-база, незаинтересованность инвесторов, нехватка специалистов и неверие в востребованность отечественных разработок. Ответов на этот вопрос много, но реального решения пока не найдено.

Главный редактор журнала «ИРР»,
Горшкова Анна



ВЫЯВЛЕНИЕ ПОТРЕБНОСТИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Аннотация. Проведён мониторинг запросов пользователей и соответствующих информационных потоков для выявления динамических характеристик изменения потребности в процессе взаимодействия с информационными ресурсами корпоративной информационной системы. Проведена систематизация целевых задач организации на основе разделения видов управленческих работ на функции-задачи, характеризующие связи с конкретными объектами управления и спецификой деятельности соответствующих структурных подразделений организации, и функции-операции, объединяющие универсальные управленческие действия по исполнению решений. На основе анализа информационных запросов к информационным ресурсам корпоративной информационной системы (на примере корпоративной системы электронного документооборота) сделан вывод, что динамические характеристики изменения во времени информационной потребности в процессе выполнения функций-задач описываются логнормальным распределением (непрерывной кривой с пиком и асимметричным спадом), а динамические характеристики информационной потребности пользователей при выполнении ими функций-задач – равномерным распределением.

Тютюнник Вячеслав
Профессор, д. т. н., Московский
государственный институт
культуры, Тамбовский
государственный технический
университет
E-mail: vmtutyunnik@gmail.com

Баканов Арсений
Ведущий научный сотрудник,
д. т. н., Институт психологии РАН
E-mail: arsb3151@gmail.com

Ключевые слова:

информационная потребность, корпоративные информационные системы, мониторинг информационных потоков.

Введение

Исследование информационной потребности является одним из популярных направлений в информатике. Достаточно упомянуть работы таких учёных, как: С. Бредфорд, В. Буш, Р. Тейлор, А. И. Михайлов, Р. С. Гиляревский, В. К. Финн, Ю. М. Арский, В. А. Цветкова, Г. З. Залаев, А. В. Соколов, внесших значительный вклад в различные аспекты этого направления.

Под термином «информационная потребность» будем понимать необходимость в информации, требующую удовлетворения и обычно выражаемую в информационном запросе [1]. При этом необходимость в информации можно трактовать как некоторое состояние, которому будет соответствовать деятельность субъекта, направленная на удовлетворение информационной потребности, вызванная необходимостью устранения дисбаланса (рассогласования) информационной сферы субъекта [2]. Таким образом, информационную потребность можно представить и как мотивацию деятельности, и как саму деятельность. Такая деятельность может представлять собой совокупность запросов, направленных на восстановление баланса информационной сферы субъекта деятельности или группы лиц. Если информационная потребность возникает в процессе выполнения профессиональной деятельности, то её

считают профессиональной, в противном случае – бытовой. При этом информационные потребности можно подразделять на основные (доминирующие) и вспомогательные, на абстрактные (свойственные человеку как субъекту познавательной деятельности) и конкретные (связанные с конкретным объектом, процессом или проблемой), они могут быть присущи отдельной личности, коллективу и обществу в целом [3]. На основании информационной потребности пользователь формулирует информационный запрос, который отправляется в одну из доступных информационных систем. Далее включаются в действие различные информационные процессы, осуществляются поиск и выдача документов или информации.

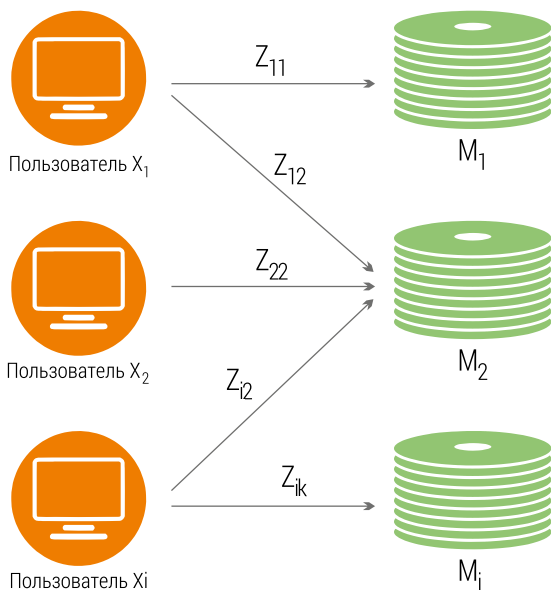
Следует отметить, что в описанной выше информационной технологии, давно ставшей традиционной, имеются не только известные закономерности [4–7], но и масса особенностей, которые вносятся индивидом или социумом, организацией или отраслью, регионом или страной. Зачастую эти особенности «перевешивают» закономерности, поэтому их необходимо обязательно учитывать при проектировании информационных систем, как направленных на обработку информационных потоков вообще, так и специализированных потоков конкретной организации.

**Использование
СЭД для анализа
информационных
запросов
обусловлено
технологиями
обработки
документов,
чёткой
маршрутизацией,
отражением
запросов в базах
данных**



Серверная в офисе
Источник: Wavebreakmedia / depositphotos.com

Рис. 1. Схема корпоративной информационной системы



Целью настоящего исследования является мониторинг запросов пользователей и сопровождающих информационных потоков для выявления динамических характеристик изменения познавательной потребности в процессе взаимодействия с ресурсами корпоративной информационной системы.

Постановка задачи

Формализуем задачу исследования (рис. 1): имеется совокупность пользователей X_i , совокупность информационных массивов M_j , в которых пользователями осуществляется поиск с помощью совокупности информационных запросов Z_{ik} .

Введём в рассмотрение функции-задачи и функции-операции, которые в каждой конкретной организации имеют свои уникальные особенности [8, 9]. Функция-задача – управленческая функция, которую можно определить посредством связи с конкретными объектами управления; наличие такой связи определяет специфику данной функции-задачи. Функция-операция является универсальной в управленческой деятельности, т. е. может применяться к любому объекту управления.

Пользователи в процессе профессиональной деятельности осуществляют выполнение как функций-задач (информационные запросы z_{ik} на рис. 1), так и функций-операций (информационные запросы z_{ko} на рис. 1).

Требуется выявить динамические характеристики изменения информационной потребности IRd в процессе взаимодействия совокупности пользователей X_i с корпоративной информационной системой, т. е. с совокупностью технических и программных средств предприятия, предназначенных для решения конкретных задач и объединённых таким образом, чтобы обеспечивать функционирование предприятия для достижения поставленной цели.

Для выявления информационной потребности пользователей нами осуществлен анализ потребности, как для решения функций-задач, так и для выполнения функций-операций.

Методология исследования

Информационные потоки в любой организации представляют собой сложноструктурированные наборы документов или данных (информации), эффективность обработки которых определяет успешное функционирование организации [9–13]. Управленческие процессы, направленные на выполнение функций-задач и функций-операций, базируются на обработке информационных потоков, которые объединяют информационные ресурсы организации. Независимо от конкретного источника информации, информационные потоки обрабатываются всеми пользователями корпоративной информационной системы. Поэтому нами не только выявлена информационная потребность пользователей, но и разработаны средства мониторинга корпоративных информационных потоков для анализа использования ресурсов информационной среды организации.

Информационные процессы организации описывают, используя совокупность характеристик: направление информационного потока, его структура, описание операций сбора, обработки и хранения информации, учёт корпоративных правил и нормативов, определяющих информационное взаимодействие в организации [14–16]. В настоящем исследовании для мониторинга использовались структурированные электронные информационные потоки организации, исследование которых позволяет сделать информационную среду организации и информационное взаимодействие более комфортным и эффективным.

Мониторинг информационных потоков

Для выявления информационной потребности и прогнозирования использования ресурсов организации нами проведён мониторинг информационных потоков, на основе которого разработана структурная модель





использования ресурсов информационной среды организации. Мы будем исходить из того, что у участника информационного взаимодействия недостаточно информационных ресурсов для реализации поставленных задач и он обращается к источнику ресурсов в информационной среде организации, но не к своему коллеге или во внешнюю информационную сеть, то есть информационная система организации адаптирована к её потребностям.

В процессе исследования рассмотрены:

- информационные процессы организации, направленные на решение управленческих задач и предназначенные для обеспечения всех членов коллектива достаточной информацией, что является необходимым условием успешного функционирования и конкурентоспособности организации;
- информационные потоки организации, которые отражают деятельность организации, и электронные документы, которые характеризуют процессы и результаты деятельности организации [9–12, 17].

Для анализа взаимосвязи информационных потоков и информационных процессов организации учитывали оба класса функций организационного управления: функции-задачи и функции-операции. Для этого проведена систематизация целевых задач организации на основе разделения видов управленческих работ на функции-задачи, характеризующие связи с конкретными объектами управления и спецификой деятельности соответствующих структурных подразделений организации, и функции-операции, объединяющие универсальные управленческие действия по исполнению решений.

Примерное распределение информационных потоков между структурными подразделениями для крупной организации показано в таблице 1 и таблице 2.

Выявленные взаимосвязи функций-задач и функций-операций при обработке информационных потоков различными подразделениями организации отображены в матрице (таблица 3).

Функции-задачи организации	Структурные подразделения	Информ. поток, %
Основные функциональные задачи организации	Функциональные подразделения	70
Перспективные направления развития организации	Подразделение планирования направлений деятельности, научно-техническое подразделение	10

Таблица 1

Функции-операции организации	Структурные подразделения	Информ. поток, %
Поддержка организационного управления	Руководство, секретариат, кадры, бухгалтерия, нормативное обеспечение, контрольное управление	15
Техническое обеспечение функционирования	Вычислительный центр, отдел коммуникаций, материально-техническое снабжение, хозяйственный отдел, транспорт	5

Таблица 2

Функции-задачи						
Функции-операции	Структурное подразделение	1-е подразде- ление	2-е подразде- ление	3-е подразде- ление	Планирование направлений деятельности	Научные исследования
	Руководство	+	+	+	+	+
	Секретариат	+			+	
	Кадры	+		+		
	Бухгалтерия	+	+		+	
	Нормативное обеспечение				+	+
	Контрольное управление		+		+	
	Вычислительный центр	+		+	+	+
	Снабжение	+				
	Транспорт	+				

Таблица 3

Заполненные/незаполненные ячейки в матрице характеризуют наличие или отсутствие информационных потоков и принимают соответственно значения 1 или 0. Количественные значения информационных потоков определены в результате анализа сетевого трафика и информационных задач, выполняемых в подразделениях.

Таким образом, выявлено, что исходный информационный поток (информационные запросы) формируется функциональными

подразделениями организации. При этом из таблицы 3 видно, что функциональные подразделения участвуют практически во всех этапах обработки информационного потока.

Анализ полученных результатов

Полученные данные позволяют охарактеризовать каждого пользователя

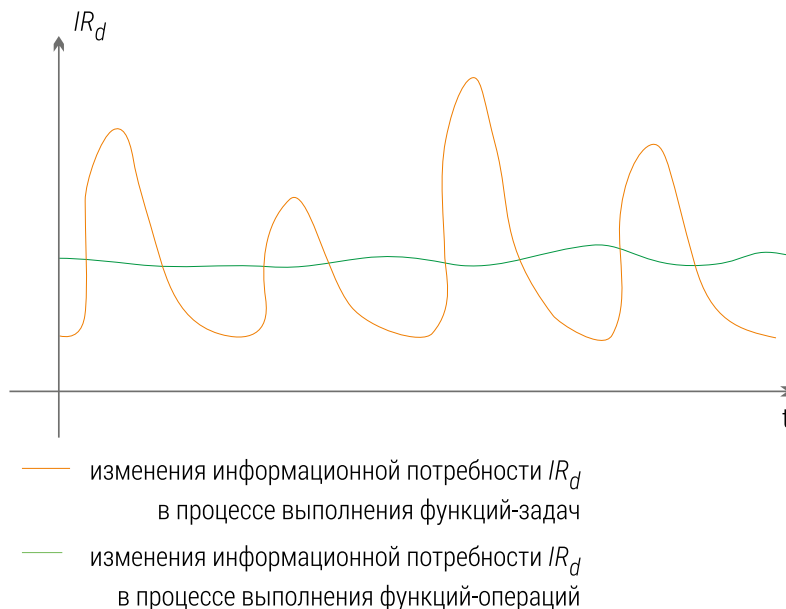


Рис. 2. Динамика изменения информационной потребности

информационной системы организации кортежем (Ci, Oi, Ri, Ai, IPI) , где: Ci – цель, Oi – задачи, Ri – ресурсы, Ai – действия, IPI – информационная потребность. Каждый элемент кортежа измеряем и взаимосвязан друг с другом, а в совокупности показывает динамику изменения информационной потребности сотрудников организации. На основе сформированной матрицы и в результате анализа взаимосвязи информационных потоков, функций-задач (информационных систем) организационного управления и функций-операций (процессов управления) возможно определить наиболее важные и значимые информационные ресурсы для конкретной организации, а также ранжировать информационные ресурсы организации по степени важности.

На основе анализа информационных запросов к информационным ресурсам корпоративной информационной системы (на примере корпоративной си-

стемы электронного документооборота, СЭД) сделан вывод, что динамические характеристики изменения во времени t информационной потребности IR_d в процессе выполнения функций-задач можно описать логнормальным распределением (непрерывной кривой с пиком и асимметричным спадом), а динамические характеристики информационной потребности пользователей при выполнении ими функций-задач – равномерным распределением (рис. 2).

Использование СЭД для анализа информационных запросов обусловлено нормированными технологиями обработки документов, четкой маршрутизацией их прохождения, а также тем, что основные информационные процессы отражаются в базах данных информационной системы [9–12]. Информационные потоки СЭД можно рассматривать как структурированные ресурсы, которые способны содержать значительные объемы информации.

IDENTIFICATION OF INFORMATION NEEDS INFORMATION SYSTEM USERS

Tyutyunnik Vyacheslav, Professor, Doctor of Technical Sciences, Moscow State Institute of Culture, Tambov State Technical University. E-mail: vmtyutyunnik@gmail.com

Bakanov Arseny, Leading Researcher, Doctor of Technical Sciences, Institute of Psychology, Russian Academy of Sciences. E-mail: arsb3151@gmail.com

Abstract. The monitoring of users' information requests and corresponding information flows to identify the dynamic characteristics of changing information needs in the process of interaction with information resources of the corporate information system is carried out. The systematization of target tasks of the organization on the basis of division of types of managerial works into functions-tasks, characterizing relations with specific management objects and specifics of activity of corresponding structural subdivisions of the organization, and functions-operations, uniting universal managerial actions on execution of decisions is carried out. Based on the analysis of information requests to information resources of the corporate information system (by the example of the corporate electronic document management system), it is concluded that the dynamic characteristics of changes in time of information needs in the process of performing functions-tasks are described by a lognormal distribution (a continuous curve with a peak and asymmetric decline), and the dynamic characteristics of information needs of users when they perform functions-tasks by a uniform distribution.

Keywords: information need, corporate information systems, monitoring of information flows.

Библиографический список:

1. Гиляревский Р.С., Триханов Ю.А. Информационная потребность // Библиотечная энциклопедия. Москва: Пашков дом, 2007. С. 419–420.
2. Соколов А.В. Что есть информационная потребность? // Труды Санкт-Петербургского государственного университета культуры и искусств. 2013. Т. 197. С. 7–18.
3. Тютюнник В.М., Дубровин А.Д. Интеллектуальные информационные системы: учебник: 2-е изд., стереотип. Тамбов; М.; СПб.; Баку; Вена; Гамбург: МИНЦ «Нобелистика», 2012. 356 с.
4. Тютюнник В.М. Информационный поиск в глобальной сети: парадоксы цифровизации и скрытые документы // Состояние и перспективы развития международной государственной сети научно-технической информации: сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. (Минск, 19–20 июня 2023 г.). Москва: ГПНТБ России, 2024. С. 41–47. DOI: 10.33186/978-5-85638-272-2-2024-41-4.
5. Tyutyunnik V.M. Information flows in the human brain. Roger Guillemin is 100 years old // Journal of Advanced Materials & Technologies. 2024. Vol. 9, No 1. P. 8–11. DOI: 10.17277/jamt.2024.01.pp.008-011.
6. Optimization of special-purpose information systems operation / V.I.Sumin, Yu.Yu.Gromov, V.M.Tyutyunnik // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. 2023. Vol. 57, No 3. P. 135–139. DOI: 10.3103/S0005105523030044.
7. Тютюнник В.М., Аль Карки М.М. Аналитические и процедурные модели информационного поиска в многофакторных потоках с частично скрытыми данными // Промышленные АСУ и контроллеры. 2023. № 5. С. 8–19. DOI: 10.25791/asu.5.2023.1435.
8. Журавлев А.Л. Психология совместной деятельности. М.: Институт психологии РАН, 2005. – 640 с.
9. Баканова Н.Б. Расширение функций мониторинга в распределенных системах документационного обеспечения управления // Distributed Computer and Communication Networks: Control, Computation, Communications (DCCN-2013): International conference, Moscow, Russia, October 7–10, 2013. Moscow: Technosfera, 2013. P. 325–328.
10. Баканов А.С. Актуальные задачи систем управления информационными ресурсами организации // Информационные ресурсы России. 2021. № 5. С. 25–32. DOI: 10.52815/0204-3653_2021_05183_25.
11. Баканов А.С. Информационные ресурсы для реализации систем поддержки принятия решений // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2021. № 9. С. 25–29. DOI: 10.25791/pribor.9.2021.1291.
12. Баканов А.С., Головина Г.М., Савченко Т.Н. Модель восприятия графической структурированной информации // Психологические и педагогические основы интеллектуального развития: сб. ст. по итогам Междунар. науч.-практ. конф. 2017. С. 11–15.
13. Тимофеев Д.Н., Тютюнник В.М. Информационное обеспечение поддержки принятия групповых решений в полиструктурной процессно-ориентированной системе предприятия // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2020. № 6. С. 22–26.
14. Гиляревский Р.С., Залаев Г.З., Родионов И.И., Цветкова В.А. Современная информатика: наука, технология, деятельность. М.: ВИНТИ, 1998. – 220 с.
15. Тютюнник В.М. Анализ данных и модель информационных процессов для формирования прикладных информационных систем // Промышленные АСУ и контроллеры. 2019. № 4. С. 19–29.
16. Цветкова В.А., Гиляревский Р.С., Родионов И.И., Залаев Г.З., Барышева О.В., Калинин А.А. Информатика как наука об информации / Под ред. Р.С. Гиляревского. М.: Файр-пресс, 2006. – 592 с.
17. Соколов А.В. Информатические опусы. Опус 5. Природа и сущность информации // Науч. и техн. 6-ки. 2011. № 2. С. 5–27.

Bibliography:

1. Gilyarevsky R.S., Grikanov Y.A. Information Need. Library Encyclopedia. Moscow: Pashkov dom, 2007, pp. 419–420.
2. Sokolov A.V. What is information need? Proceedings of the St. Petersburg State University of Culture and Arts. 2013. Vol.197, pp. 7–18.
3. Tyutyunnik V.M., Dubrov A.D. Intellectual information systems: textbook: 2nd ed., stereotype. Tambov; M.; St. Petersburg; Baku; Vienna; Hamburg: INIC Publ. House "Nobelistics", 2012. 356 p.
4. Tyutyunnik V.M. Information search in the global network: paradoxes of digitalization and hidden documents. State and prospects of development of the international state network of scientific and technical information: proceedings of the international sci.-pract. conf. (Minsk, 19–20 June 2023). Moscow: GPNTB of Russia, 2024, pp. 41–47. DOI: 10.33186/978-5-85638-272-2-2024-41-4.
5. Tyutyunnik V.M. Information flows in the human brain. Roger Guillemin is 100 years old. Journal of Advanced Materials & Technologies. 2024. Vol.9, No.1, pp. 8–11. DOI: 10.17277/jamt.2024.01.pp. 008–011.
6. Sumin V.I., Gromov Yu.Yu., Tyutyunnik V.M. Optimization of special-purpose information systems operation. Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. 2023. Vol.57, No.3, pp. 135–139. DOI: 10.3103/S0005105523030044.
7. Tyutyunnik V.M., Al Karkhi M.M. Analytical and procedural models of information search in multifactor streams with partially hidden data (in Russian). Industrial ACS and Controllers. 2023, No.5, pp. 8–19. DOI: 10.25791/asu.5.2023.1435.
8. Zhuravlev A.L. Psychology of joint activity. Moscow: Institute of Psychology RAS, 2005, 640 p.
9. Bakanova N.B. Expansion of monitoring functions in distributed systems of document management support. Distributed Computer and Communication Networks: Control, Computation, Communications (DCCN-2013): International conference, Moscow, Russia, October 7–10, 2013. Moscow: Technosfera, 2013. P. 325–328.
10. Bakanov A.S. Actual tasks of information resources management systems of the organization. Information Resources of Russia. 2021, No.5, pp. 25–32. DOI: 10.52815/0204-3653_2021_05183_25.
11. Bakanov A.S. Information resources for realization of the decision support systems. Instruments and systems. Management, control, diagnostics. 2021, No.9, pp. 25–29. DOI: 10.25791/pribor.9.2021.1291.
12. Bakanov A.S., Golovina G.M., Savchenko T.N. Model of perception of graphic structured information. Psychological and pedagogical foundations of intellectual development: a collection of articles on the results of the International sci.-pract. conf. 2017, pp. 11–15.
13. Timofeev D.N.; Tyutyunnik V.M. Information support of the group decision-making support in the polystructural process-oriented enterprise system. Devices and systems. Management, control, diagnostics. 2020, No.6, pp. 22–26.
14. Gilyarevsky R.S., Zalaev G.Z., Rodionov I.I., Tsvetkova V.A. Modern Informatics: Science, Technology, Activity. Moscow: VINITI, 1998, 220 p.
15. Tyutyunnik V.M. Data analysis and model of information processes for the formation of applied information systems. Industrial ACS and controllers. 2019, No.4, pp. 19–29.
16. Tsvetkova V.A., Gilyarevsky R.S., Rodionov I.I., Zalaev G.Z., Barysheva O.V., Kalin A.A. Informatics as a science of information / ed. by R.S. Gilyarevsky. Moscow: Fair-press, 2006. 592 p.
17. Sokolov A.V. Informaticheskie opusy. Opus 5. The nature and essence of information. Scientific and technical libraries. 2011, No.2, pp. 5–27.

Лященко Зоя

Доцент, к. т. н., кафедра
вычислительной техники
и автоматизированных систем
управления, Ростовский
государственный университет
путей сообщения (РГУПС)
E-mail: izv_ui@rgups.ru

Лященко Алексей

Доцент, к. т. н., декан, факультет
информационных технологий
управления, Ростовский
государственный университет
путей сообщения (РГУПС)
E-mail: lam75@mail.ru

Горбанев Вячеслав

Студент кафедры вычислительной
техники и автоматизированных
систем управления, Ростовский
государственный университет путей
сообщения (РГУПС)
E-mail: gorbanev-2003@mail.ru

Ковальчук Александр

Студент кафедры вычислительной
техники и автоматизированных
систем управления, Ростовский
государственный университет путей
сообщения (РГУПС)
E-mail: kovalchuckaleksandr@yandex.ru

РАЗРАБОТКА СИМУЛЯТОРА УПРАВЛЕНИЯ FPV- КВАДРОКОПТЕРОМ ДЛЯ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ НА ПЛАТФОРМЕ UNITY

Аннотация. Авторами работы рассмотрена проблема разработки симулятора, предназначенного для обучения управлению FPV-квадрокоптером. Определены практическая значимость и цель работы, а также рассмотрены основные этапы разработки и проблемы, возникшие в процессе создания программы. Приведены общие схемы функционирования симулятора и фрагменты кода на языке C#, отвечающие за управление БПЛА.

Ключевые слова:

виртуальная реальность, FPV-квадрокоптер, симулятор, Unity.



Управление дроном
Источник: Stas_K / depositphotos.com

Введение

На сегодняшний день актуальность развития сферы удаленного пилотирования квадрокоптерами стала еще более значимой. Данная отрасль применяется как в гражданской, так и в военной авиации. Одним из самых распространенных видов пилотирования является управление FPV-квадрокоптером (англ. *First Person View* – вид от первого лица). Этот стиль подразумевает, что пилот, используя монитор (зачастую – очки, шлем), может видеть происходящее на экране от лица дрона, что позволяет лучше ориентироваться и совершать различные маневры. Существуют 2 основных режима полета: ACRO-режим (когда выполнение всех действий находится под контролем пилота) и ANGLE-режим (когда дрон автоматически стабилизирует свое положение в воздухе и не дает пилоту возможности совершать вращение). ANGLE-режим в основном ис-

пользуется начинающими пилотами, а также в случаях, когда важна плавность движений, например при видеосъемке. ACRO-режим применяется для более опытных пилотов, т. к. позволяет совершать быстрые и опасные маневры, вращая дрон во всех плоскостях. FPV-квадрокоптеры активно применяются в гражданской сфере в таких случаях, как: видеосъемка, патрулирование территории, дрон-рейсинг. Также данный вид БПЛА используется военными для совершения высокоточных действий и контроля территории.

Практическая значимость данной работы заключается в том, что пилотирование FPV-дрона на сегодняшний день является востребованным направлением, а для качественной подготовки будущих пилотов требуется симулятор, способный максимально достоверно передать через экран процесс управления БПЛА. Разработанное приложение облегчит и удешевит процесс обучения. Симулятор позволит начинающим пилотам совершать ошибки во время полетов без материального ущерба, т. к. попыток может быть бесконечное множество. Целью данной работы является разработка симулятора управления FPV-квадрокоптером для виртуальной реальности на платформе Unity.

Выбор программных средств

В области разработки компьютерных игр и симуляторов существует множество различных программ, называемых движками. Движки имеют в своем составе все необходимые компоненты для создания прикладных программных продуктов, такие как: средства работы с графикой, обработка физики, работа со звуком, редактирование скриптов и управление анимацией. Самыми популярными представителями игровых движков являются Unreal Engine и Unity. Unreal Engine – продукт от компании Epic Games, представляющий из себя обширный инструментальный со множеством разнообразных функций. Он имеет бесплатную лицензию для некоммерческих проектов и уникальное средство для создания скриптов на основе технологии визуального программирования Blueprint.

Минусом данного движка являются громоздкость и сложность разработки. Другим вариантом игрового движка является среда Unity от одноименной компании. Данный редактор отличается удобным и понятным интерфейсом, легковесностью и наличием всех необходимых программных средств. Все скрипты в данном редакторе разрабатываются на языке программирования C#. Таким образом, из перечисленных сред разработки был выбран движок Unity.

Разработка главного меню

С самого начала создания главного меню в среде разработки Unity необходимо добавить пустую сцену и разместить на ней элемент Canvas, на котором в дальнейшем будут располагаться все объекты пользовательского интерфейса. Отображение основной камеры на сцене переводится в режим 2D. На Canvas добавляются кнопки, текстовые объекты, ползунки регулировки, выпадающее меню, чекбоксы и невидимые панели для сокрытия или отображения разделов настроек.

В главном меню присутствуют 3 основные кнопки: “Играть”, “Настройки” и “Выход”. Наведение курсора и нажатие на каждую кнопку сопровождаются определенной анимацией. Когда курсор попадает в область кнопки, срабатывает анимация смещения текста в правую сторону, тем самым давая понять пользователю, что он навелся на необходимый для него элемент меню. Когда пользователь уводит курсор из области кнопки, срабаты-

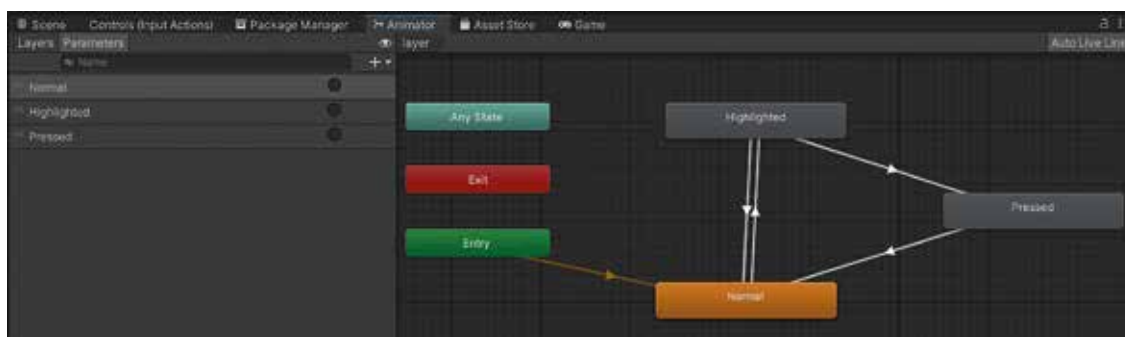
вает анимация обратного смещения объекта в исходное положение (рис. 1). При нажатии на кнопку ее текст увеличивается в размерах, демонстрируя текущий активный элемент меню, и в соответствии с этим срабатывает скрипт, который делает панель выбранного раздела видимой для пользователя.

Панель “Играть” содержит кнопки с изображением уровней, нажатие на одну из которых приведет к активации скрипта и загрузке соответствующей сцены.

Панель “Настройки” имеет в своем составе несколько подразделов, переход между которыми осуществляется по кнопкам: “Аудио”, “Видео”, “Управление”, “Игра”. Каждый из подразделов содержит панель с кнопками, регулируемыми определенные настройки.

Настройки “Аудио” регулируют громкость музыки главного меню, громкость вращения моторов квадрокоптера, громкость звукового отклика при нажатии и наведении курсора на интерактивный элемент меню. Каждый звук хранится в виде дорожки, прикрепленной к объекту “Audio Source” – источник звука. Громкость всех звуков регулируется при помощи элемента slider, который представляет из себя ползунок, принимающий значения в диапазоне от 0 до 1. При изменении громкости на слайдере его значение передается в источник звука и изменяет его в соответствии с выбранными настройками. При каждом изменении состояния слайдера его текущие настройки сохраняются в памяти и при повторном входе в симулятор загружаются и применяются.

Рис. 1. Схема работы анимации кнопок главного меню



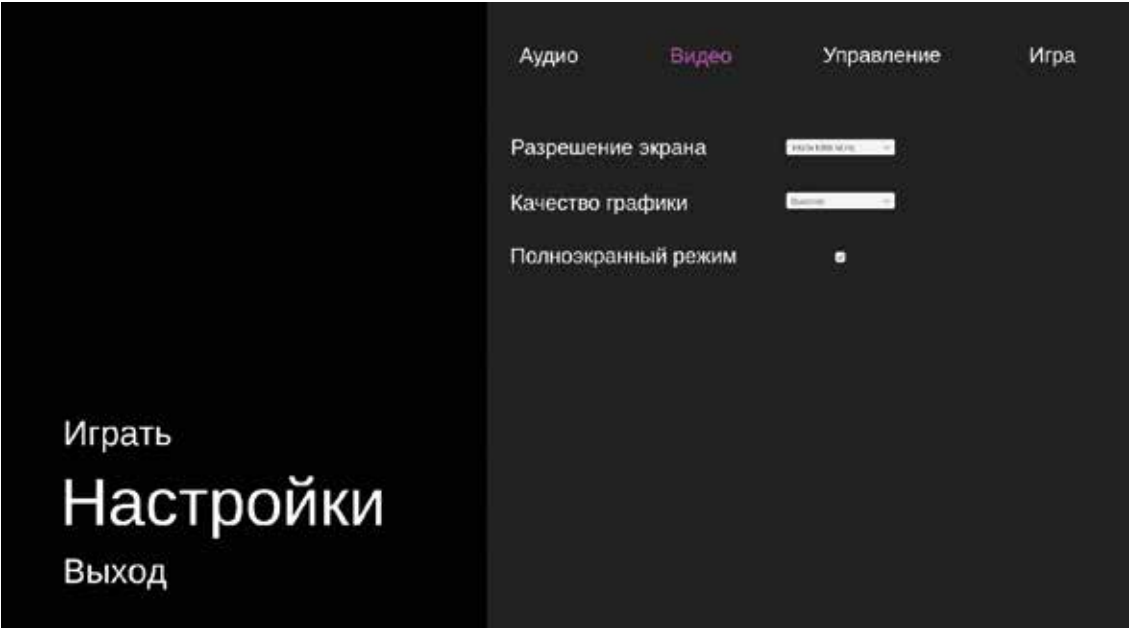


Рис. 2. Настройки “Видео” и кнопка “Настройки” в активном состоянии

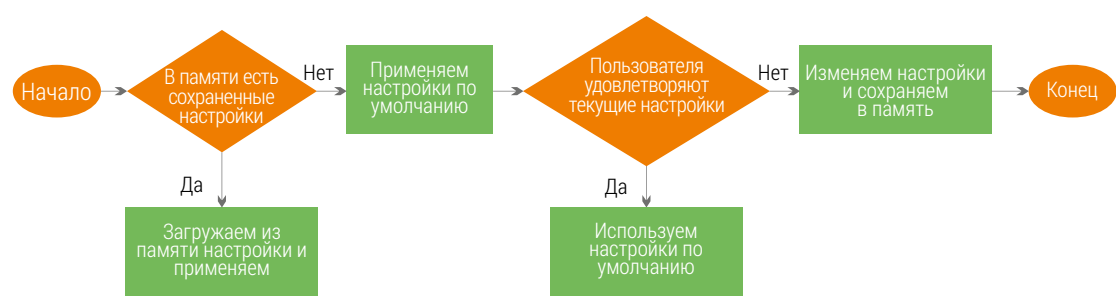


Рис. 3. Блок-схема работы настроек симулятора

Настройки “Видео” (рис. 2) позволяют пользователю менять параметры графики, такие как: разрешение экрана, качество отображаемых текстур и освещения, возможность использования полноэкранного и оконного режимов, тем самым подстраиваясь под любую аппаратную конфигурацию персонального компьютера. Выбор пресета графики или разрешения осуществляется с помощью нажатия на выпадающее меню Dropdown и активацию подходящего варианта настроек. Полноэкранный или оконный режимы переключаются между собой при помощи нажатия на чекбокс. Текущие сохраненные параметры изображения соединяются со встроенными шаблонами редактора и заменяются на активированные пользователем настройки.

Настройки “Управление” содержат специальные поля для привязки клавиатуры и геймпада к определенным действиям в симуляторе, например: смена камеры, смена режима полета, перезапуск сцены, пауза. Когда пользователь выбирает определенное поле привязки, срабатывает скрипт, который считывает любой пользовательский ввод с клавиатуры или геймпада. При нажатии кнопка распознается редактором и ее код сохраняется в памяти под ключом. Затем целевой скрипт, использующий данную настройку, получает код клавиши по ключу и записывает его в переменную для дальнейшего применения.

Настройки “Игра” имеют в своем составе выбор языка интерфейса из 9 вариантов (русский, английский, испанский, итальянский, немецкий, французский, китайский, японский, корейский), включение или выключение HUD (англ. *Head-Up Display* – часть визуального интерфейса игрока, отображаемая на переднем плане экрана). При выборе языка скрипт считывает пункт выпадающего меню Dropdown и записывает значение в переменную. Далее в соответствии с условием применяет к текстовому объекту необходимые перевод и шрифт, после чего изменения сохраняются в памяти по ключу. За активацию HUD отвечает компонент чекбокс, сохраняющий в памяти булево значение

по ключу. При запуске сцены скрипт восстанавливает сохраненное значение и применяет настройки. Все настройки симулятора работают по принципу, описанному на рис. 3.

Панель “Выход” содержит текстовое предупреждение о выходе из игры и кнопки подтверждения и отказа. При нажатии на кнопку “Да” система завершает все текущие процессы симулятора и закрывает окно с программой. При нажатии на кнопку “Нет” панель с предупреждением закрывается, и пользователю снова становятся доступны 3 главные навигационные кнопки меню.

Разработка уровня

На данном этапе создается игровая локация “Порт”. На ней будут располагаться 3D-модели контейнеров, подъемных кранов, грузовиков и корабля, выполняющих функцию препятствий для усложнения процесса полета, а также модель квадрокоптера. Каждой модели присваивается элемент Collider,

Управление дроном

Источник: store.microice.ru



который служит для создания жесткой оболочки и препятствует нежелательному пересечению моделей. В данном проекте используется Box Collider, т. к. это наиболее простой вид коллайдера. Он не требует сложных вычислений, потому что имеет кубическую форму с малым количеством искривлений и граней. Из нескольких Box Collider можно составить один большой, который будет покрывать все части модели. По этому принципу был построен коллайдер всех препятствий на уровне. Группы моделей одинаковой формы и размеров, выстроенные в ряд, были объединены одним большим коллайдером для снижения вычислительной сложности и увеличения оптимизации. Для создания ландшафта в Unity используется Terrain. Данный объект обладает множеством настроек, таких как создание неровностей, рисование текстур поверхности, добавление и редактирование травы и деревьев. Используя все необходимые инструменты, мы добавили на уровень ландшафт и растительность, сделали углубление в поверхности террейна

для создания реки и дополнили его моделью воды. Для того, чтобы локация не выглядела пустынной, нужно дополнить ее моделями домов и дорог. Дома не входят в рабочую область локации и не взаимодействуют с квадрокоптером, а лишь выполняют функцию фона, поэтому данные модели не содержат компонента Box Collider. Также на сцену был добавлен элемент Canvas для создания меню паузы и добавления возможности редактировать настройки игры. Общий вид уровня представлен на рис. 4.

Разработка системы управления квадрокоптером

Самым распространенным устройством управления квадрокоптером является контроллер. Он состоит из двух стиков и нескольких функциональных кнопок. Стиками называются специальные рычажки, которые отвечают за совершение маневров. Каждый рычажок может поворачиваться в любом направлении относительно плоскости XY (рис. 5).

Рис. 4. Сцена уровня "Порт"



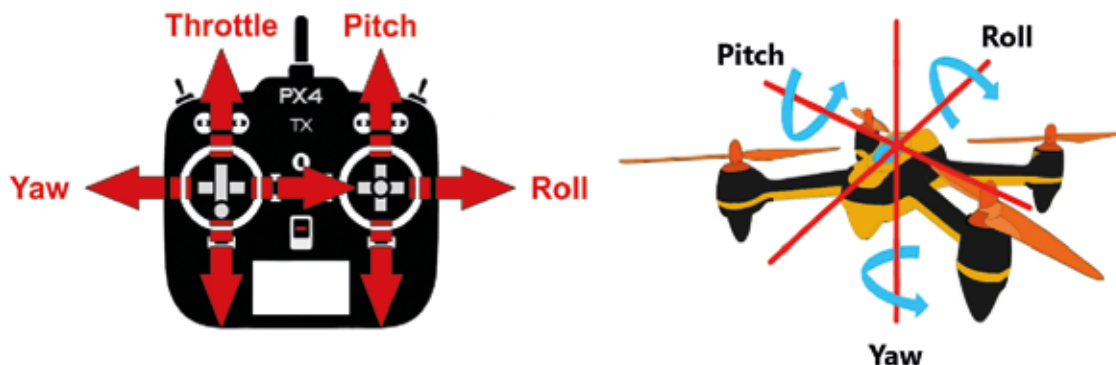


Рис. 5. Схема расположения осей вращения квадрокоптера

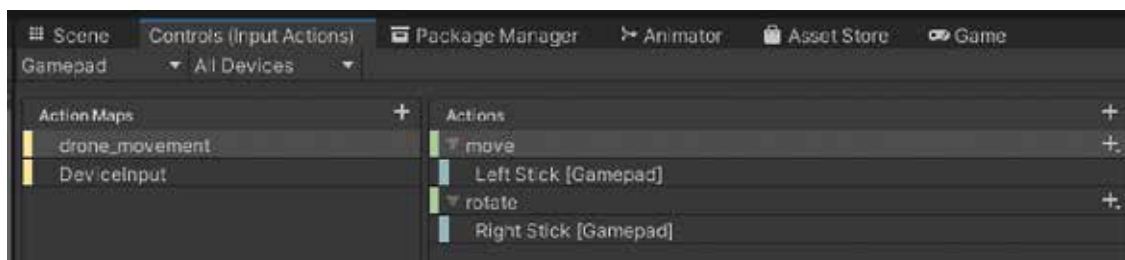


Рис. 6. Структура input action asset

Наклон левого стика по оси Y изменяет скорость вращения моторов квадрокоптера, а по оси X – управляет поворотом квадрокоптера влево-вправо, называемым Yaw (рысканье). Наклон правого стика по оси Y отвечает за Pitch (тангаж), при этом квадрокоптер совершает вращение вперед или назад, а наклон по оси X позволяет осуществлять вращение влево-вправо, которое называется Roll (крен). Данная система управления была реализована в симуляторе.

В качестве контроллера для управления квадрокоптером был выбран игровой геймпад Sony Dualshock 4, подключаемый к ПК при помощи кабеля USB-B или беспроводного соединения Bluetooth. Созданная система управления поддерживает похожие игровые контроллеры от других производителей. Чтобы связать контроллер с действиями в симуляторе была использована

новая встроенная система ввода Unity. Для ее активации в проект был добавлен специальный плагин и создан input action asset, в котором была размещена схема управления дроном и назначены оба стика, отвечающие непосредственно за пилотирование (рис. 6). На каждое действие был назначен Control type со значением Vector2, что означает считывание ввода со стиков по двум осям: X и Y. После установки всех необходимых значений система Unity создает C# класс с описанными настройками. К этому классу можно обращаться из пользовательских скриптов для привязки ввода к активности внутри кода.

Связь системы ввода с моделью квадрокоптера реализована через специальный скрипт. В нем описаны процедуры работы режимов ANGLE и ACRO. В начале создается процедура, передающая значение ввода из input



Обучение управлению беспилотником
Источник: edcomm.ru

system в переменные RightStick и LeftStick для последующей проверки в условных конструкциях. Данные переменные имеют тип данных Vector2, что говорит о возможности хранить в них координаты по осям X и Y. Обратиться к конкретному числовому значению можно через точку с указанием оси, например: LeftStick.x или LeftStick.y. Аналогично для переменной RightStick. Чтобы поднять квадрокоптер в воздух, необходимо приложить к нему силу. На объекте, к которому может быть применена сила, обязательно должен присутствовать компонент Rigidbody, содержащий следующие основные параметры: Mass (масса объекта в кг), Drag (парусность – значение сопротивляемости среды движению игрового объекта; чем выше парусность, тем медленнее скорость перемещения), Angular Drag (угловое сопротивление – объект замедляется при повороте) и Use Gravity (отвечает за применение гравитации к игровому объекту). В нашем случае сила, реализованная в системном методе AddForce,

прикладывается в направлении вверх относительно дрона. Значение силы рассчитывается на каждый кадр и изменяется в зависимости от положения левого стика по оси Y. На контроллере, предназначенном для пилотирования дроном, левый стик по умолчанию находится внизу, т. к. именно он задает скорость вращения моторов. В стандартном игровом геймпаде левый стик по умолчанию находится посередине. В данном положении числовое значение его координаты Y равно 0, в нижнем положении он принимает значение, равное -1, а в верхнем – 1. Чтобы создать достоверное моделирование системы управления квадрокоптером, аналогичное реальной, необходимо преобразовать диапазон допустимых значений, принимаемый стиком при движении по координате Y. Диапазон (-1...1) преобразуем в (0...1) путем суммирования текущей координаты с числом 1 и деления этой суммы на 2.

Теперь, когда стик находится внизу, его числовое значение по координате Y рав-

но 0, а при постепенном отклонении вверх оно будет увеличиваться до 1. Этот диапазон значений будет использоваться при расчете величины прикладываемой силы. Для расчета величины силы и ее плавного изменения через ввод со стика используется математическая функция линейной интерполяции `Mathf.Lerp(a, b, t)`. Значение функции зависит от изменяемого параметра `t`, в нашем случае `t` – это преобразованный ранее диапазон от 0 до 1. Параметр `a` – число, которое функция возвращает при `t ≤ 0`, то есть значение минимальной прикладываемой силы. Параметр `b` – число, возвращаемое функцией при `t ≥ 1`, то есть значение максимальной прикладываемой силы. Текущее значение функции `Mathf.Lerp()` передается в функцию `AddForce()` и перемножается с направлением действия силы. Тем самым пользователь регулирует скорость и высоту полета дрона.

Реализация Yaw (рысканья) для ACRO-режима осуществляется при помощи перемножения координаты X левого стика и числа максимальной скорости поворота дрона. Далее вычисляемое значение передается в функцию `Rotate()` с указанием оси вращения. Аналогичным образом реализована работа Roll (крена) и Pitch (тангажа), отличие составляет ось вращения.

Так как в ANGLE-режиме система стабилизации не позволяет пилоту совершать вращение, необходимо при реализации Yaw, Pitch и Roll добавить возможность ограничивать угол поворота и возвращать дрон в исходное положение при отпускании стика. Сначала нужно рассчитать целевой угол наклона, перемножив текущее значение координаты X (при расчете Roll) или Y (при расчете Pitch) на максимальный угол, после чего следует записать текущий угол наклона в переменную. Unity хранит значения углов в формате углов Эйлера, в котором каждое значение координат X, Y и Z находится в диапазоне от 0 до 360°. Поэтому для удобства вычислений приведем к диапазону от -180 до 180°. При превышении угла 180°, вычитаем 360, чтобы перевести его в отрицательный диапазон. Следующим шагом выполняем линейную интерполяцию при помощи функ-

ции `Mathf.Lerp()` между текущим и целевым углами. Финальным этапом устанавливаем новый угол поворота при помощи функции `Quaternion.Euler()`.

В проект была добавлена возможность перезапуска сцены. Для этого был создан скрипт, в котором система ожидает ввода кнопки, назначенной пользователем в настройках симулятора. Значение выбранной кнопки загружается из памяти в переменную по ключу. Во время проверки условия, если нажатая кнопка соответствует зарезервированной, срабатывает функция перезапуска сцены.

Разработка дополнительных эффектов

В симулятор необходимо добавить звук вращения моторов. Первым шагом следует скачать из любого свободного источника дорожку, полностью или частично содержащую

Адаптация модели управления дроном
Источник: SimpleFoto / depositphotos.com





Пульт управления беспилотником
Источник: djistor.ru

монотонный звук моторов. Далее в программе обработки необходимо обрезать участок с однотономным сигналом. Для редактирования данного аудиоэффекта была выбрана программа FL Studio, т. к. она обладает множеством инструментов для редактирования и создания собственных звуков. Для того, чтобы в аудио эффекте не было резких обрывов во время закликивания, дорожку следует обрезать с двух сторон на одинаковых или максимально близких значениях амплитуды (рис. 7).

Далее получившаяся заготовка экспортируется в редактор Unity в формате mp3. В Unity на модель дрона добавляется объект Audio Source, куда помещается заготовка и закликивается. Чтобы звук изменялся в зависимости от скорости вращения моторов, необходимо создать скрипт, в котором мы будем обращаться к свойству pitch (тон) компонента Audio Source и изменять его в зависимости от вертикального ввода с левого стика. Текущее значение координаты Y преобразованного ранее диапазо-

на (0...1) передается в функцию линейной интерполяции Mathf.Lerp() в качестве изменяемого параметра. Значение функции присваиваем свойству pitch компонента Audio Source. Минимальное значение тона равно 1, максимальное – 1,4. Теперь при изменении скорости вращения моторов тон звука подстраивается под текущее значение пользовательского ввода.

Модель квадрокоптера имеет в своем составе 4 статичных дочерних объекта моторов, для активации вращения которых был создан специальный скрипт. Для расчета скорости вращения добавлена переменная, хранящая произведение пользовательского ввода с левого стика по координате Y и множителя скорости. Далее текущее значение этой переменной передается в функцию Rotate(). Функция применяется к каждому мотору по отдельности. Теперь при изменении скорости моторов с геймпада срабатывает анимация и лопасти вращаются пропорционально подаваемой нагрузке.

В процессе пилотирования реального квадрокоптера нередко происходят случаи превышения летательным аппаратом максимально допустимого радиуса сигнала. При этом на экране монитора появляются помехи, а искажение увеличивается со временем. Подобная функция была реализована в данном симуляторе, поскольку игровая локация имеет свои границы. Для создания помех при выходе за пределы игровой зоны к камере дрона были добавлены компоненты Post-process Layer и Post-process Volume. Первый позволяет выбрать слой, к которому будет применяться постобработка и объект, активирующий этот слой. Второй служит для настройки самого эффекта, изменяя такие параметры, как искажение линзы, хроматическая аберрация и зернистость. У каждого параметра есть несколько настроек, позволяющих редактировать эффект под конкретные нужды. Для ограничения игровой зоны добавим на сцену большой Box Collider (рис. 8) и зададим ему свойство Is Trigger для считывания пересечения с моделью квадрокоптера. В скрипте будем использовать пересечение при проверке условия.



Рис. 7. Обрезка звука по схожей амплитуде



Рис. 8. Ограничение игровой зоны с помощью Box Collider

При выходе за пределы коллайдера активируются постепенно возрастающий эффект визуальных помех, предупреждающая надпись и таймер обратного отсчета, равный 10 секундам (рис. 9). По истечении этого времени включается функция перезапуска текущей сцены. Таймер реализован двумя переменными – булева переменная, хранящая текущее состояние таймера (выключен/включен), и числовая переменная со временем отсчета. Каждый кадр уменьшает значение параметра `Time.deltaTime`, который хранит время в секундах, прошедшее с момента последнего кадра. Если пользователь успел вернуться в игровую область до истечения таймера, эффект помех моментально деактивируется, предупреждающая надпись исчезает, а таймер сбрасывается.

Создание вывода изображения на VR-гарнитуру

Чтобы настроить проект Unity для VR-платформ, необходимо добавить в него пакеты XR

Plugin Management и OpenXR Plugin через Package Manager – средство работы с различными дополнениями редактора. Далее следует указать, какие VR-платформы будут использоваться в проекте. Для этого в настройках проекта на вкладке XR Plug-in Management выбираем OpenXR, который является стандартом доступа к виртуальной и дополненной реальности. Данный сервис позволяет разрабатывать проект под множество различных VR-платформ, используя единый API без необходимости добавления отдельных средств разработки. Финальным этапом конвертируем камеру квадрокоптера в XR-камеру при помощи установленного инструмента.

Обзор аппаратной части. При разработке симулятора FPV-дрона, было принято решение реализовать его для последующего использования с VR-шлемом (от англ. *Virtual Reality* – виртуальная реальность), т. к. данная технология позволяет получить опыт погружения в происходящее, достоверно подражая процессу управления летательным аппаратом. За последние 10 лет

Рис. 9. Применение эффекта помех при выходе за игровую область

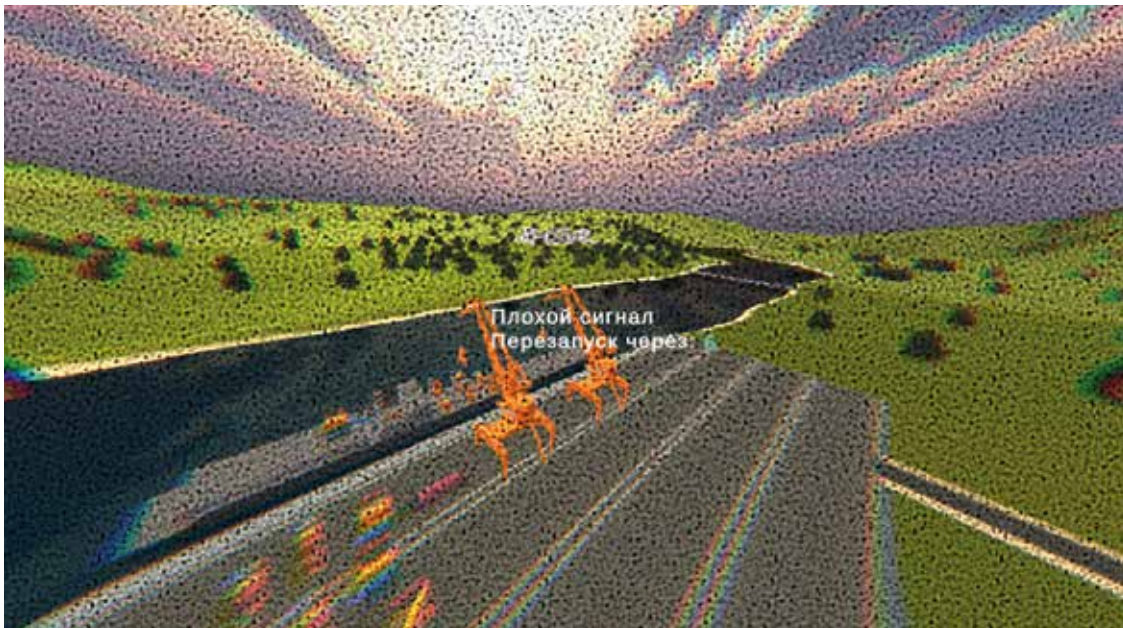




Рис. 10. Структура шлема PICO 4

популяризации технологии VR поспособствовали такие компании, как: Valve, HTC, Samsung, Sony и т. п. Все они внесли весомый вклад в развитие отрасли, пройдя путь от стационарного шлема, подключаемого к компьютеру, до автономной системы, использующей собственные вычислительные мощности.

На рис. 10 продемонстрирован шлем PICO 4 и его составные части. На нем и будет происходить этап тестирования проекта. Для эффекта погружения в шлеме установлены 2 дисплея с линзами на каждый глаз. Для уменьшения габаритов инженеры заменили первоначальный вариант линз Френеля на линзы Pancake, а для отслеживания движений рук, контроллеров и перемещения самого шлема по комнате отвечают датчики 6DoF и RGB Камера. На самих контроллерах установлены инфракрасные датчики.

Операционной системой в данном шлеме выступает Android, адаптированный под VR. Это позволяет устанавливать все имеющиеся на смартфоне приложения формата APK (англ. *Android Package Kit*).

В нашей ситуации симулятор реализован для Windows-платформы с использовани-

ем OpenXR SDK (англ. *Software Development Kit* – комплект для разработки программного обеспечения). Благодаря этому была обеспечена поддержка всех моделей шлемов – стационарных и автономных.

Этап подключения VR-гарнитуры. Для подключения шлема к компьютеру, на оба устройства нужно установить программное обеспечение производителя гарнитуры, в нашем случае – это PICO Connect. Можно реализовать два способа подключения: беспроводное и проводное. После установки и открытия ПО, во всплывающем окне выбираем шлем и подключаемся.

Подключившись к компьютеру, можем надевать шлем и через него осуществлять управление по рабочей области нашего компьютера. Запускаем симулятор через файл exe, после загрузки мы попадаем на главный экран программы.

Этап тестирования меню. На главном экране нас встречают уже вышеупомянутые пункты меню, а именно: «Играть», «Настройки» и «Выход». Выбрав пункт «Настройки», открывается панель с дополнительными разделами: «Аудио», «Видео», «Управление», «Игра».

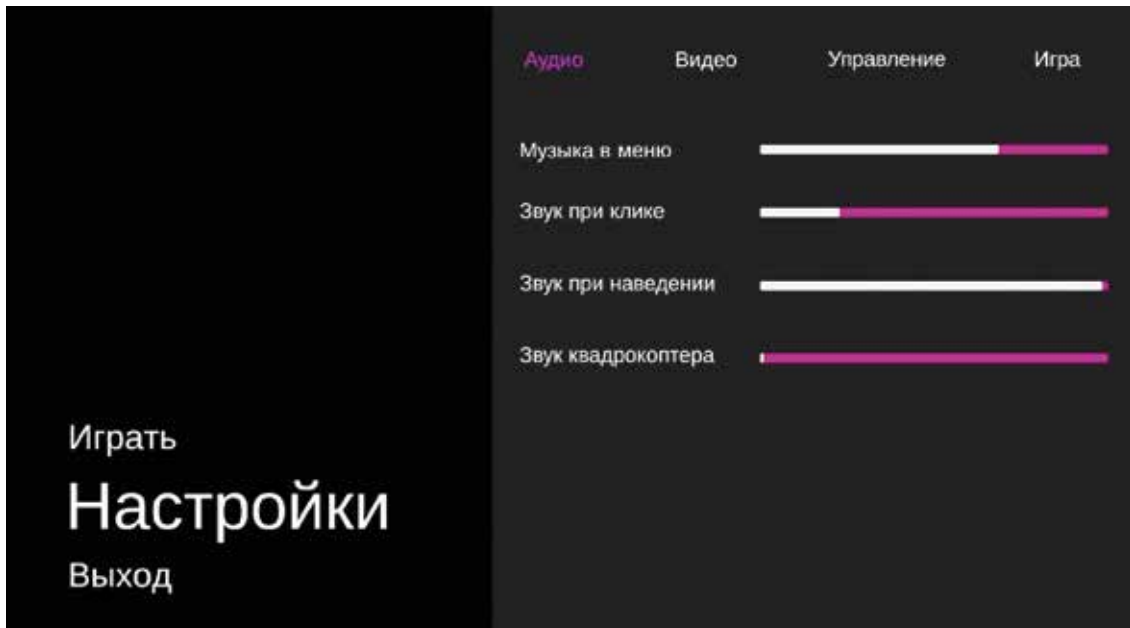


Рис. 11. Процесс регулировки настроек звука

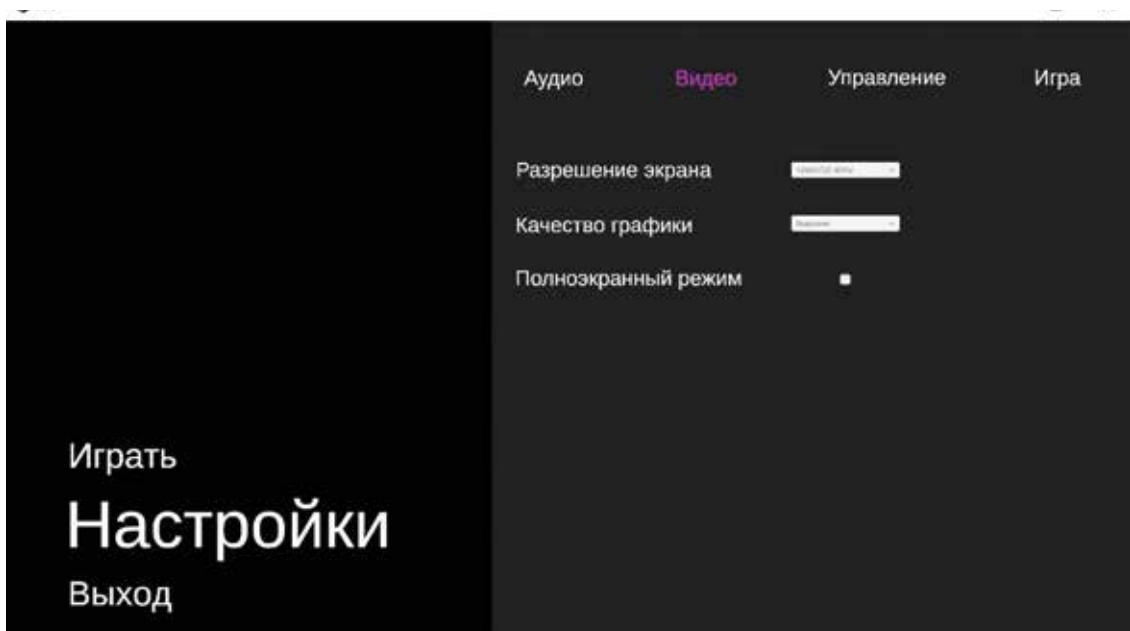


Рис. 12. Процесс регулировки настроек изображения

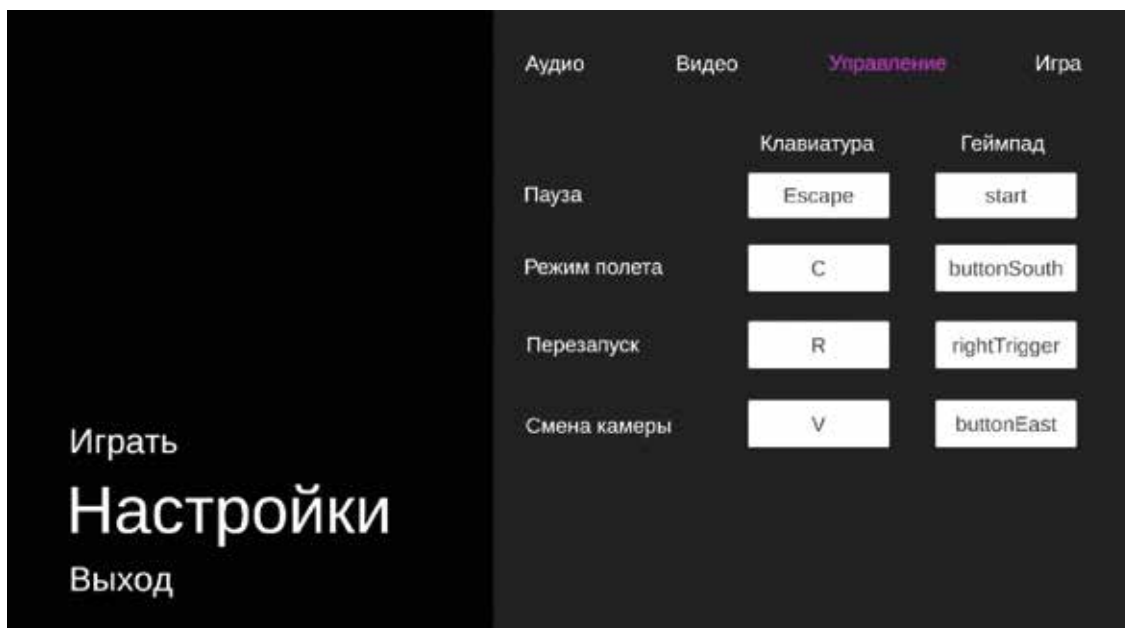


Рис. 13. Процесс изменения настроек управления

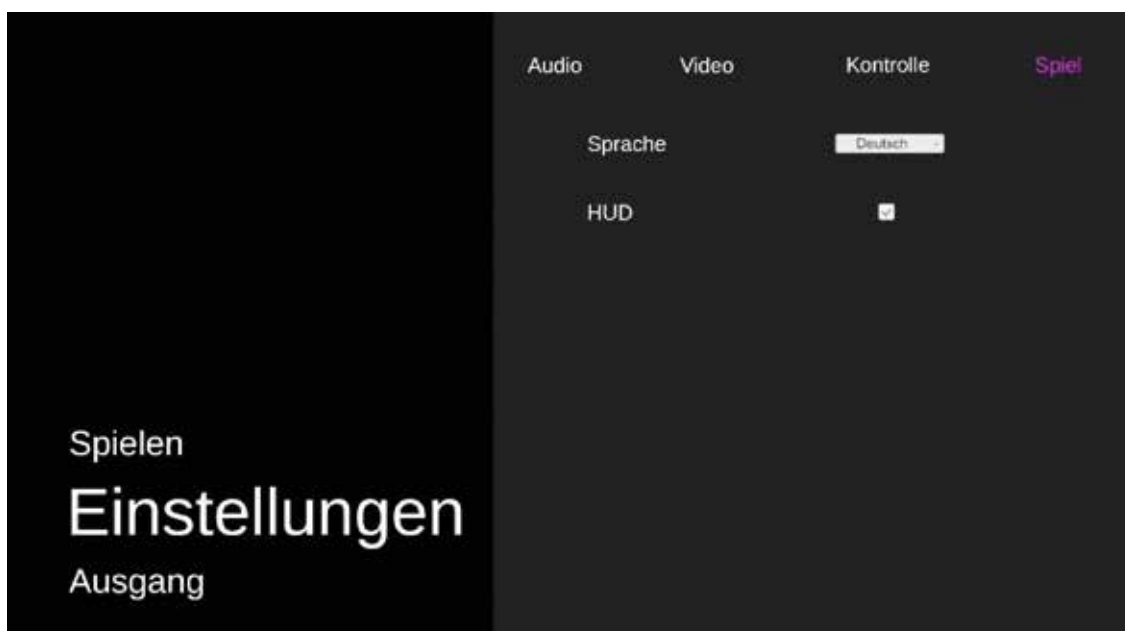


Рис. 14. Процесс регулировки общих настроек симулятора

Переходим в пункт “Аудио” и регулируем ползунки громкости в зависимости от предпочтений пользователя (рис. 11). В процессе манипуляции ползунком пользователь в реальном времени услышит разницу. Данный раздел настроек работает без нареканий. Качество звука высокое. Громкость изменяется плавно без резких рывков и помех.

Переходим в пункт “Видео”, где находятся настройки разрешения экрана, автоматически подобранные под параметры монитора пользователя (рис. 12). Если пользователя не устраивает данное разрешение, он может изменить его, а также выбрать формат отображения: оконный или полноэкранный. Есть возможность выбрать качество текстур. В выпадающем меню доступна графика низкого, среднего и высокого качества, что позволит пользователям, имеющим разную вычислительную мощность, подобрать для себя оптимальные настройки. Данный пункт работает исправно. Симулятор корректно применяет установленные настройки качества.

Следующим шагом выбираем пункт “Управление”, где пользователь может задать более предпочтительные для себя клавиши, вместо уже имеющихся (рис. 13). Выбор происходит как для клавиатуры, так и для геймпада. Если по какой-то причине пользователь не назначил действия на кнопки, система сама установит привязку по умолчанию. Раздел работает исправно и без задержек. Нажатие установленных клавиш соответствует назначенным на них действиям.

Последним пунктом настроек является “Игра”, где пользователь может выбрать нужную ему локализацию и отображение визуального интерфейса. Данный раздел работает исправно, перевод соответствует выбранному языку.

Этап тестирования системы управления квадрокоптером. Для тестирования главной механики, а именно режимов полета ACRO и ANGLE, мы переходим по пунктам “Играть” – “Выбор уровня” – “Порт”. После выбора сцена

Рис. 15. Вывод изображения на VR-шлем



загружается и нам становится доступно управление квадрокоптером с помощью геймпада.

В процессе симуляции проверяем управление путем изменения положения стиков. Как было описано ранее, ответной реакцией симулятора мы наблюдаем полет квадрокоптера в сторону направления, зависящую от положения стика. Не справившись с управлением или столкнувшись с препятствием, квадрокоптер отскакивает и закручивается, имитируя реальное столкновение. Пользователь нажимает клавишу “Рестарт” и, появляясь на стартовой позиции, возвращается в процесс тренировки. В случае вылета за область тренировочной площадки мы видим вышеописанный экран с эффектом помех. Были протестированы 2 режима полета: ACRO, в котором квадрокоптер совершал свободное вращение, и ANGLE, в котором квадрокоптер автоматически стабилизировал свое положение в воздухе и не давал возможности перевернуться. В результате тестирования мы убедились в корректной работе сопутствующих функций и скриптов.

Вывод

В результате выполнения данной работы на платформе Unity был создан симулятор управления FPV-квадрокоптером для виртуальной реальности, который содержит:

- 1) меню с анимированными навигационными кнопками, настройками различных параметров симулятора и панелью выбора уровней;
- 2) уровень с препятствиями и ограничением игровой области, выход за пределы которой активирует помехи;
- 3) звуки вращения моторов, навигации и фоновая музыка в меню;
- 4) систему управления квадрокоптером, использующую 2 режима полета – ANGLE и ACRO;
- 5) вывод изображения на VR-гарнитуру.



DEVELOPMENT OF AN FPV QUADCOPTER CONTROL SIMULATOR FOR VIRTUAL REALITY ON THE UNITY PLATFORM

Lyashenko Zoya, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Department of Computer Engineering and Automated Control Systems, Rostov State University of Railway Engineering (RGUPS). E-mail: izv_ui@rgups.ru

Lyashchenko Alexey, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Dean, Faculty of Information Technology Management, Rostov State University of Railway Engineering (RGUPS). E-mail: lam75@mail.ru

Gorbanev Vyacheslav, Student of the Department of Computer Engineering and Automated Control Systems, Rostov State University of Railway Transport (RGUPS). E-mail: gorbanev-2003@mail.ru

Kovalchuk Alexander, Student of the Department of Computer Engineering and Automated Control Systems, Rostov State University of Railway Transport (RGUPS). E-mail: kovalchuckaleksandr@yandex.ru

Abstract. The authors of the paper consider the problem of developing a simulator designed for learning how to control an FPV quadcopter. The practical significance and purpose of the work are determined, as well as the main stages of development and the problems that arose during the creation of the program are considered. The general operating schemes of the simulator and code fragments in C# responsible for UAV control are given.

Keywords: virtual reality, FPV quadcopter, simulator, Unity.

Библиографический список:

1. Хокинг Д. Unity в действии. – СПб.: Питер, 2023. – 414 с.
2. Корнилов А. В. Unity. Полное руководство. – СПб.: Наука и техника, 2021. – 496 с.
3. Бонд Д. Unity и C#. Геймдев от идеи до реализации. – СПб.: Питер, 2022. – 928 с.
4. Стилмен Э., Грин Д. Head First. Изучаем C#. – СПб.: Питер, 2022. – 768 с.
5. Ферроне Х. Изучаем C# через разработку игр на Unity. – СПб.: Питер, 2022. – 400 с.
6. Прайс М. C# 10 и .NET 6. Современная кросс-платформенная разработка. – СПб.: Питер, 2023. – 848 с.

Bibliography:

1. Hawking D. Unity in action. – St. Petersburg: Peter, 2023. – 414 p.
2. Kornilov A. V. Unity. A complete guide. St. Petersburg: Science and Technology, 2021. 496 p.
3. Bond D. Unity and C#. Game dev from idea to implementation. – St. Petersburg: Peter, 2022. – 928 p.
4. Stillman E., Green D. Head First. Learning C#. – St. Petersburg: Peter, 2022. – 768 p.
5. Ferrone H. Learning C# through game development on Unity. – St. Petersburg: Peter, 2022. – 400 p.
6. Price M. C# 10 and .NET 6. Modern cross-platform development. – St. Petersburg: Peter, 2023. – 848 p.

ЭЛЕКТРОЁМКОСТЬ ЭКОНОМИКИ РЕГИОНОВ СИБИРИ: АНАЛИЗ, МЕТОДОЛОГИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГО- ЭФФЕКТИВНОСТИ

Бушуев Виталий
Генеральный директор,
д. т. н., профессор, Институт
энергетической стратегии
E-mail: vital@guies.ru

Соловьев Дмитрий
Старший научный
сотрудник, к. ф. - м. н.,
Институт энергетической
стратегии; Объединенный
институт высоких температур
Российской академии наук
E-mail: solovev@ocean.ru

Дегтярев Кирилл
Научный сотрудник,
научно-исследовательская
лаборатория возобновляемых
источников энергии,
географический факультет,
к. г. н., Московский
государственный университет
имени М. В. Ломоносова
E-mail: kir1111@rambler.ru

Аннотация. В статье рассматривается показатель электроёмкости экономики, характеризующий объём потребляемой электроэнергии на единицу валового регионального продукта (ВРП), как инструмент анализа энергоэффективности регионов. На примере геоторий Сибири (Байкальская, Западно-Сибирская, Кузбасская и Центрально-Сибирская) проведён анализ динамики электроёмкости за период 2000–2022 гг. и выявлены ключевые тенденции. Разработана методика расчёта электроёмкости на основе данных о потреблении электроэнергии и ВРП, что позволяет проводить сравнительный анализ регионов, выявлять диспропорции в энергоэффективности и обосновывать региональные стратегии развития. Полученные результаты демонстрируют снижение электроёмкости во всех геоториях, что свидетельствует о прогрессе в области энергоэффективности. В то же время сохраняются значительные региональные различия, обусловленные структурой экономики, уровнем развития инфраструктуры и климатическими условиями. Показана значимость электроёмкости как индикатора устойчивого развития и основы для стратегического планирования. Предложенные в статье подходы могут быть использованы для модернизации энергетической инфраструктуры, внедрения энергосберегающих технологий и повышения конкурентоспособности регионов.

Ключевые слова:

электроёмкость, энергоэффективность, регионы Сибири, устойчивое развитие, энергопотребление.



Богучанская ГЭС
Источник: prmira.ru

Введение

Энергоэффективность экономики – один из ключевых индикаторов устойчивого развития регионов и стран, отражающий рациональность использования энергоресурсов для обеспечения экономического роста. В мировых исследованиях широко используется показатель *энергоемкости ВВП* [1], который показывает количество энергии, затрачиваемое на производство единицы валового внутреннего продукта. Этот показатель стал общепринятым инструментом для оценки энергоэффективности национальных экономик и разработки стратегий перехода к низкоуглеродной экономике [2, 3].

Для анализа энергоэффективности на уровне регионов, таких как геотории Сибири, необходимо адаптировать данный подход к специфике территорий и типов энергопотребления. В этой связи вводится показатель *электроемкости экономики*, ко-

торый отражает объем потребляемой электрической энергии на единицу валового регионального продукта (ВРП). Этот показатель позволяет учитывать как общие тенденции экономического роста, так и специфику электроэнергетической инфраструктуры и отраслевого состава экономики геоторий [4].

Оба показателя имеют схожую методологическую основу, поскольку измеряют затраты энергии (в первом случае – электроэнергии, во втором – всей совокупности энергоресурсов) на единицу экономического результата. Тем не менее, между ними существуют принципиальные различия:

1. Энергоемкость ВВП охватывает все виды энергии (электрическую, тепловую, углеводородные топлива и т. д.), что делает его полезным для национального уровня анализа.
2. Электроемкость экономики фокусируется исключительно на потреблении электроэнергии, что особенно важно для регионов с развитой электрической инфраструктурой или энергозависимыми отраслями.
3. Энергоемкость ВВП обычно применяется для межстранового сравнения, позволяя учитывать различия в структуре экономик и доступе к энергоресурсам.
4. Электроемкость экономики удобна для внутристранового анализа, поскольку позволяет выявлять региональные различия, обусловленные спецификой отраслевой структуры, доступностью электроэнергии и климатическими условиями.
5. Энергоемкость ВВП используется как индикатор энергоэффективности в макроэкономическом контексте.
6. Электроемкость экономики служит инструментом для анализа энергопотребления в конкретных секторах, выявления региональных узких мест и разработки точечных решений для повышения энергоэффективности.

Геотории Сибири представляют собой уникальные территории с большим разнообразием природных и экономических условий [5]. Высокая концентрация до-

бывающих отраслей, энергоемких производств и удаленность от централизованных источников энергоснабжения создают значительные региональные различия в потреблении электроэнергии. Учет электроемкости позволяет:

1. **Оценить энергоэффективность региональных экономик.** Электроемкость отражает, насколько рационально используются электроэнергетические ресурсы для создания экономической ценности. Это особенно важно для энергоемких геоторий, где повышение энергоэффективности может существенно снизить издержки.
2. **Выявить диспропорции между регионами.** Анализ электроемкости помогает понять, как различные геотории используют электроэнергию в зависимости от доступности инфраструктуры, климатических условий и отраслевой специализации.
3. **Обосновать региональные стратегии развития.** На основе анализа электроемкости можно выработать рекомендации по модернизации энергетической инфраструктуры, внедрению энергоэффективных технологий и структурной перестройке экономик отдельных регионов.

Анализ и прогнозирование электроемкости экономики имеют ключевое значение для стратегического планирования в условиях растущего спроса на энергию, необходимости декарбонизации экономики и обеспечения устойчивого развития территорий [6–8]. Понимание закономерностей изменения электроемкости в динамике позволяет принимать обоснованные управленческие решения, направленные на снижение издержек, повышение конкурентоспособности регионов и минимизацию экологической нагрузки.

Оценка электроемкости экономики геоторий Сибири становится неотъемлемой частью анализа их энергетической и экономической устойчивости, а разработка методики расчета этого показателя имеет стратегическое значение для научных исследований и практических задач управления.



Год	Байкальская геотория	Западно- Сибирская геотория	Кузбасская геотория	Центрально- Сибирская геотория
2000	57107,5	40540,9	31882,6	59301,6
2001	58031,7	40499	32271	59727,8
2002	56384,8	39649,5	31744,3	58842,2
2003	55906,6	40930,6	30811,7	60940,2
2004	56736,2	41653,6	32797,7	61742
2005	58112	42189,2	33509,4	62468,4
2006	58526,4	43823,7	35489,9	62394,2
2007	58719,6	44898,1	36114,9	65414,9
2008	61232,4	47669,6	36266,1	69734
2009	57149	45463,9	33020,5	67713,8
2010	59744	45827,7	33972	71194,8
2011	61987,4	47190,7	33982,8	69511,5
2012	63219,4	48137,6	38055,4	72215,2
2013	62046,3	46223,4	36099,5	70076,2
2014	61619,6	47483,3	35892	70302,8
2015	58475,2	46693,7	34170,4	70379,2
2016	59273,4	47266,8	35069	72289,1
2017	60200,8	46629,9	35670,4	71129
2018	61553,1	47919,8	35612,7	70845,1
2019	61847,4	47257,6	35312,9	71121,8
2020	60204,1	45621,1	34165,5	72027
2021	65727,1	48331	33398,9	74139,1
2022	68826,2	49326,8	33661,7	76130,7
2023	73420,3	49256,2	34214,2	77830,3

Таблица 1. Потребление электроэнергии в отраслевых геоториях Центральной и Срединной Сибири (млн кВт·ч), [9]

Показатель электроемкости экономики характеризует объем потребляемой электрической энергии, необходимой для производства единицы валового регионального продукта (ВРП). Он измеряется в условных единицах, выражающих отношение потребления электроэнергии (млн кВт·ч) к объему ВРП (млн руб.). Данный показатель позволяет оценить энергоэффективность экономической деятельности регионов и выявить динамику ее изменения во времени.

Расчет электроемкости экономики E_y для каждого года y производится по следующей формуле:

$$E_y = \frac{C_y}{GDP_y},$$

где:

E_y – электроемкость экономики в году y (млн кВт·ч / млн руб.);

C_y – объем потребления электроэнергии в году y (млн кВт·ч);

GDP_y – валовой региональный продукт в году y (млн руб.).

Для выполнения расчетов используются статистические данные по каждому региону (геотории) за период с 2000 по 2022 гг.:

1. Потребление электроэнергии C_y – данные предоставлены региональными органами статистики и энергетическими компаниями (таблица 1), [9].
2. Валовой региональный продукт GDP_y – данные взяты из официальных статистических сборников Росстата (таблица 2), [10].

Объемы потребления электроэнергии учитываются в разрезе всех основных секторов экономики, включая промышленность, сельское хозяйство, услуги и домохозяйства.

Расчет показателя для нескольких геоторий позволяет провести их сравнительный анализ. Например:

1. **Высокий показатель электроемкости** свидетельствует о низкой энергоэффективности региона.
2. **Снижение электроемкости** с течением времени может указывать на внедрение энергоэффективных технологий или структурные изменения в экономике.

Методика расчета электроемкости экономики обеспечивает инструмент для анализа энергоэффективности экономической деятельности регионов Сибири. Данный подход

позволяет выявить ключевые факторы, влияющие на экономическое развитие и энергопотребление, а также служит основой для прогнозирования будущих изменений.

В первую очередь оценка и прогнозирование электроемкости экономики являются важным инструментом для стратегического анализа и планирования устойчивого развития отраслевых геоторий Центральной и Срединной Сибири. Отраслевые геотории характеризуются высокой концентрацией энергоемких отраслей, таких как: добыча полезных ископаемых, металлургия, химическая промышленность, лесная и гидроэнергетика, которые играют ключевую роль в формировании экономики. Учитывая их удаленность от крупных рынков сбыта и централизованных энергетических узлов, анализ электроемкости помогает оценить рацию-

Таблица 2. Валовой региональный продукт в отраслевых геоториях Центральной и Срединной Сибири (млн руб.), [10]

Год	Байкальская геотория	Западно-Сибирская геотория	Кузбасская геотория	Центрально-Сибирская геотория
2000	124588,3	208054,9	88728,1	235674,9
2001	150315,1	280229,5	113800,2	264658,2
2002	178080,4	369678,2	136156,7	263265,6
2003	220180,8	461549,9	164903,1	309817,4
2004	277162,7	640500,5	244462	408395,5
2005	333008,4	760138,6	295378,4	493126,9
2006	422546,7	932791,8	342210,6	654718
2007	510096,7	1114695	437790,2	817261
2008	563590,9	1328285	575901,9	834129,8
2009	579962,6	1292993	512408	857136,6
2010	679666,6	1476733	625914,9	1182338
2011	788185,5	1742367	751198,4	1317314
2012	902709,4	1990574	718320,4	1351236
2013	982086,4	2221237	667950,5	1440083
2014	1102810	2429307	752024	1615041
2015	1204541	2641296	843345,4	1884744
2016	1359972	2845155	903348,9	2087644
2017	1492906	3027393	1097861	2260203
2018	1719091	3283949	1266425	2690773
2019	1825729	3408106	1110195	3031803
2020	1797127	3408822	1045077	3073541
2021	2266546	4094301	1807387	3461120
2022	2803819	4732541	2188751	3775966

нальность использования электроэнергии и определить пути повышения энергоэффективности.

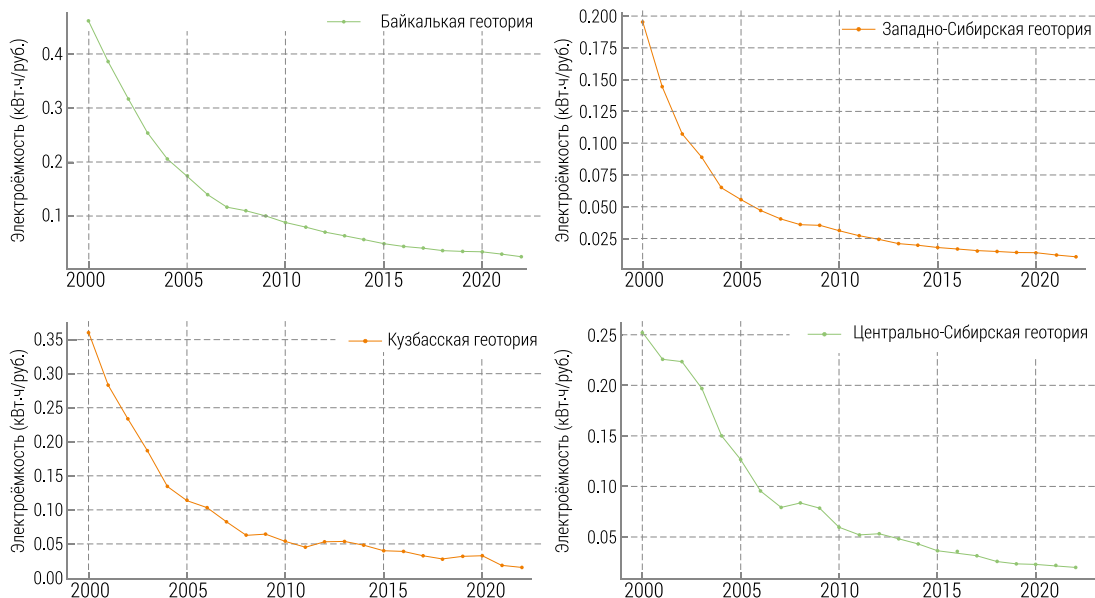
Электроёмкость экономики позволяет количественно оценить уровень энергоэффективности, выявить низкоэффективные отрасли и предоставить базу для инвестиционных решений, направленных на модернизацию производств и внедрение энергосберегающих технологий. Специфика Центральной и Срединной Сибири, включающая значительный гидроэнергетический потенциал, суровые климатические условия и преобладание добывающих отраслей, делает электроёмкость важным индикатором для анализа энергоёмкости экономики на региональном уровне. Высокая концентрация гидроэлектростанций обеспечивает доступность электроэнергии, но одновременно способствует росту энергоёмкости из-за доминирования энергоёмких производств.

Оценка электроёмкости также позволяет выявить региональные диспропорции,

связанные с доступностью энергоресурсов, уровнем развития инфраструктуры и отраслевой специализацией. Сравнительный анализ геотерий помогает определить энергоэффективные регионы, перенести их успешные практики на другие территории и обеспечить равномерное распределение энергетических ресурсов между промышленным и бытовым секторами. Прогнозирование электроёмкости на долгосрочный период, например до 2036 г., позволяет учитывать сценарии экономического роста, возможные изменения в энергетической политике и климатические факторы. Это дает возможность регионам адаптироваться к изменениям и планировать энергетическое развитие.

Электроёмкость также играет важную роль в повышении экономической и экологической устойчивости. Рациональное использование электроэнергии снижает издержки предприятий, что делает их более конкурентоспособными на внутреннем и внешнем

Рис. 1. Динамика электроёмкости экономики отраслевых геотерий Центральной и Срединной Сибири в 2000–2022 гг.
Источник: расчеты авторов



Год	Байкальская геотория	Западно- Сибирская геотория	Кузбасская геотория	Центрально- Сибирская геотория
2000	0,45837	0,194857	0,359329	0,251625
2001	0,386067	0,144521	0,283576	0,225679
2002	0,316626	0,107254	0,233145	0,223509
2003	0,253912	0,088681	0,186847	0,196697
2004	0,204704	0,065033	0,134163	0,151182
2005	0,174506	0,055502	0,113446	0,126678
2006	0,138509	0,046981	0,103708	0,095299
2007	0,115115	0,040278	0,082494	0,080042
2008	0,108647	0,035888	0,062973	0,083601
2009	0,098539	0,035162	0,064442	0,079
2010	0,087902	0,031033	0,054276	0,060215
2011	0,078646	0,027084	0,045238	0,052768
2012	0,070033	0,024183	0,052978	0,053444
2013	0,063178	0,02081	0,054045	0,048661
2014	0,055875	0,019546	0,047727	0,04353
2015	0,048546	0,017678	0,040518	0,037342
2016	0,043584	0,016613	0,038821	0,034627
2017	0,040325	0,015403	0,032491	0,03147
2018	0,035806	0,014592	0,028121	0,026329
2019	0,033875	0,013866	0,031808	0,023459
2020	0,0335	0,013383	0,032692	0,023435
2021	0,028999	0,011804	0,018479	0,021421
2022	0,024547	0,010423	0,015379	0,020162

Таблица 3. Динамика электроёмкости экономики по отраслевым геоториям Центральной и Срединной Сибири в 2000–2022 гг. (кВт·ч/руб.)
Источник: расчеты авторов

рынках, а также уменьшает углеродный след региона, что соответствует глобальным трендам декарбонизации. Кроме того, результаты анализа электроёмкости становятся основой для разработки стратегий регионального развития, включая инфраструктурные проекты, программы энергоэффективности и привлечение инвестиций.

Анализ динамики электроёмкости экономики в 2000–2022 гг. по геоториям Сибири

На рис. 1 представлены 4 графика, каждый из которых демонстрирует динамику электроёмкости экономики для одной из геоторий Сибири в период 2000–2022 гг. (табличные данные к графикам представлены

в таблице 3). Графики расположены в формате сетки 2x2. Левый верхний график представляет данные по Байкальской геотории, где видно устойчивое снижение электроёмкости с 2000 г., что отражает значительное улучшение энергоэффективности в регионе благодаря модернизации промышленности и изменениям в структуре экономики. Кривая постепенно сглаживается к 2022 г., что указывает на стабилизацию уровня электроёмкости. Правый верхний график демонстрирует динамику Западно-Сибирской геотории. На нём видно плавное и устойчивое снижение электроёмкости на протяжении всего периода, что отражает высокую эффективность использования электроэнергии, несмотря на доминирование энергоёмких отраслей, таких как добыча нефти и газа.

Геотория	Среднегодовое изменение (%)	Уровень электроёмкости в 2022 (кВт·ч/руб.)
Байкальская геотория	-12,3215	0,024547
Западно-Сибирская геотория	-12,1858	0,010423
Кузбасская геотория	-12,3242	0,015379
Центрально-Сибирская геотория	-10,5103	0,020162

Таблица 4. Анализ динамики электроёмкости экономики по отраслевым геоториям Центральной и Срединной Сибири
Источник: расчеты авторов

Кривая находится на самом низком уровне среди всех геоторий, что подтверждает наилучший уровень энергоэффективности.

Левый нижний график на рис. 1 показывает динамику Кузбасской геотории, где видно резкое снижение электроёмкости в начале периода, что связано с активной модернизацией добывающих отраслей и переходом на более эффективные технологии. К 2022 г. уровень электроёмкости остаётся сравнительно низким, что свидетельствует о позитивных изменениях в структуре экономики региона.

Омская ТЭЦ-5
Источник: smartik.ru



Правый нижний график представляет данные Центрально-Сибирской геотории. Он демонстрирует наименьший темп снижения электроёмкости по сравнению с другими геоториями, что связано с сохранением высокой доли энергоёмких отраслей, таких как металлургия и химическая промышленность. Несмотря на снижение, уровень электроёмкости остаётся относительно высоким, что подчёркивает необходимость дальнейших улучшений в энергоэффективности.

Все геотории демонстрируют тренд к снижению электроёмкости, что указывает на положительную динамику в области энергоэффективности. Западно-Сибирская геотория выделяется наилучшим уровнем электроёмкости, тогда как Центрально-Сибирская остаётся самой энергоёмкой. Разные цвета кривых на графиках помогают визуально отличить динамику электроёмкости в каждой геотории, что облегчает сравнительный анализ. Этот рисунок позволяет оценить как индивидуальные успехи каждой геотории, так и выявить общие тенденции в снижении электроёмкости экономики регионов Сибири.

Таблица 4 предоставляет информацию о тенденциях изменения энергоэффективности в разных геоториях Сибири. Она включает данные о среднегодовом изменении электроёмкости (в %) и уровне электроёмкости в 2022 г. (в кВт·ч на рубль ВРП). Среднегодовое изменение показывает, насколько электроёмкость геотории менялась в среднем за год: положительное значение указывает на рост, что может свидетельствовать о снижении энергоэффективности, а отрицательное – на снижение, что говорит об улуч-

шении энергоэффективности и возможной модернизации инфраструктуры. Уровень электроёмкости в 2022 г. отражает количество кВт·ч, потребляемых для производства одного рубля ВРП. Высокие значения свидетельствуют о высокой энергоёмкости (низкой энергоэффективности), а низкие – об экономии электроэнергии и её рациональном использовании. Например, геотории с отрицательным трендом и низким уровнем электроёмкости демонстрируют успешное внедрение энергоэффективных технологий, тогда как высокий уровень электроёмкости и положительный тренд могут указывать на необходимость улучшений в управлении энергопотреблением и модернизации экономической структуры. Таблица позволяет сделать выводы о текущем состоянии и динамике энергоэффективности в геоториях, что важно для разработки стратегий устойчивого развития.

Результаты анализа электроёмкости экономики по отдельным геоториям следующие:

1. Байкальская геотория:

- среднегодовое изменение (%): -12,32%. Значительное снижение электроёмкости указывает на положительную динамику в области энергоэффективности. Это может быть связано с модернизацией промышленного сектора, переходом на менее энергоёмкие технологии и структурными изменениями в экономике;
- уровень электроёмкости в 2022 г. (кВт·ч/руб.): 0,0245. Низкий уровень электроёмкости свидетельствует о рациональном использовании электроэнергии в регионе. Вероятно, внедрение энергоэффективных технологий позволило снизить энергетические издержки, особенно в доминирующих отраслях, таких как гидроэнергетика и переработка ресурсов.

2. Западно-Сибирская геотория:

- среднегодовое изменение (%): -12,19%. Снижение электроёмкости в регионе также демонстрирует улучшение энергоэффективности, что может быть связано с модернизацией нефтегазового



Новосибирская ТЭЦ
Источник: ridus.ru

сектора, внедрением современных технологий добычи и транспортировки природных ресурсов;

- уровень электроёмкости в 2022 г. (кВт·ч/руб.): 0,0104. Самый низкий уровень среди всех геоторий. Это указывает на высокий уровень энергоэффективности экономики региона, несмотря на преобладание энергоёмких отраслей. Вероятно, важным фактором является наличие эффективной инфраструктуры и технологической модернизации.

3. Кузбасская геотория:

- среднегодовое изменение (%): -12,32%. Одно из самых значительных средне-

годовых снижений электроёмкости среди всех геоторий, что может быть связано с повышением эффективности в угольной промышленности, которая является ключевой для региона;

- уровень электроёмкости в 2022 г. (кВт·ч/руб.): 0,0154. Уровень электроёмкости ниже среднего, что указывает на достигнутые успехи в энергоэффективности, несмотря на высокую концентрацию энергоёмких отраслей. Снижение зависимости от электроэнергии могло быть обусловлено внедрением энергосберегающих технологий.

4. Центрально-Сибирская геотория:

- среднегодовое изменение (%): -10,51%. Темп снижения электроёмкости ниже, чем у остальных геоторий. Это может быть связано с сохранением высокой доли энергоёмких отраслей, таких как металлургия, химическая промышленность и лесопромышленный комплекс;
- уровень электроёмкости в 2022 г. (кВт·ч/руб.): 0,0202. Уровень электроёмкости всё ещё относительно высокий, что свидетельствует о значительном потреблении электроэнергии для поддержания экономической активности. Высокая доля энергоёмких отраслей в структуре экономики требует дальнейших мер по повышению энергоэффективности.

Выводы

Все геотории Сибири демонстрируют устойчивую тенденцию к снижению электроёмкости за анализируемый период с 2000 по 2022 гг., что указывает на позитивную динамику в области повышения энергоэффективности. Наиболее успешным регионом в этом отношении является Западно-Сибирская геотория, которая достигает самого низкого уровня электроёмкости благодаря высокому уровню модернизации и внедрению передовых технологий в таких ключевых отраслях, как нефтегазовый сектор. В то же время Центрально-Сибирская геотория остаётся наиболее энергоёмкой, что связа-

но с доминированием тяжёлой промышленности, включая металлургию и химию, в её экономической структуре. Этот регион требует дополнительных усилий по внедрению энергосберегающих технологий и модернизации инфраструктуры для сокращения энергетических издержек.

Кузбасская геотория также демонстрирует значительные успехи в снижении электроёмкости, несмотря на высокую концентрацию добывающих отраслей, что свидетельствует о прогрессе в модернизации производств и внедрении энергосберегающих технологий. Байкальская геотория, благодаря своей уникальной экономической структуре, сосредоточенной на гидроэнергетике и ресурсопереработке, также показывает положительные результаты в области энергоэффективности.

Электроёмкость играет ключевую роль как индикатор устойчивого развития, позволяя количественно оценить эффективность использования электроэнергии для создания экономической ценности. Низкий уровень электроёмкости указывает на рациональное использование ресурсов, снижение энергетических издержек и сокращение углеродного следа, что соответствует глобальным трендам декарбонизации и перехода к низкоуглеродной экономике. Этот показатель также служит основой для стратегического планирования, поскольку позволяет выявлять региональные диспропорции, разрабатывать меры по повышению энергоэффективности и прогнозировать изменения в энергопотреблении в долгосрочной перспективе. Таким образом, снижение электроёмкости в регионах Сибири подчёркивает значимость целенаправленных усилий по оптимизации энергопотребления для обеспечения их устойчивого социально-экономического развития и повышения конкурентоспособности на внутреннем и внешнем рынках.

Работа выполнена в рамках госзадания «Географические основы устойчивого развития энергетических систем» № 121051400082-4.

ELECTRIC INTENSITY OF THE SIBERIAN REGIONS' ECONOMY: ANALYSIS, METHODOLOGY, AND PROSPECTS FOR IMPROVING ENERGY EFFICIENCY

Bushuev Vitaly, General Director, D.Sc. (Engineering), Professor, Institute of Energy Strategy. E-mail: vital@guies.ru

Solovev Dmitry, Senior Researcher, Ph.D. (Physics and Mathematics), Joint Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences, Institute of Energy Strategy. E-mail: solovev@guies.ru

Degtyarev Kirill, Research Fellow, Candidate of Geographical Sciences, Research Laboratory of Renewable Energy Sources, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University. E-mail: kir1111@rambler.ru

Abstract. This article examines the economic electric intensity, which characterizes the amount of electricity consumed per unit of gross regional product (GRP), as a tool for analyzing the energy efficiency of regions. Using the example of Siberian territories (Baikal, West Siberian, Kuzbass, and Central Siberian regions), the dynamics of electric intensity over the period 2000–2022 were analyzed, and key trends were identified. A methodology for calculating electric intensity based on electricity consumption and GRP data was developed, enabling comparative analysis of regions, identification of energy efficiency disparities, and substantiation of regional development strategies. The results demonstrate a decline in electric intensity across all territories, indicating progress in energy efficiency. However, significant regional differences remain, driven by economic structure, infrastructure development level, and climatic conditions. The importance of electric intensity as an indicator of sustainable development and a foundation for strategic planning is highlighted. The approaches proposed in the article can be used to modernize energy infrastructure, implement energy-saving technologies, and enhance the competitiveness of regions.

Keywords: electric intensity, energy efficiency, Siberian regions, sustainable development, energy consumption.

Библиографический список:

1. Долматов И.А., Шутова М.А. Методология прогнозирования энергоёмкости ВВП и отдельных отраслей (секторов) экономики // 151 засед. открытого семинара "Экономика энергетики". Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. 2014. С. 30.
2. Хабибрахманов Р.Р., Рыжкова Л.В. Факторы, определяющие энергоёмкость отечественной экономики // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2012. № 12 (48). С. 112.
3. Бушуев В.В., Куричев Н.К., Громов А.И. Энергетическая стратегия-2050: методология, вызовы, возможности // ЭСКО. Энергетика и промышленность. 2013. № 6. С. 14–19.
4. Клепач А.Н. Структурные факторы экономического роста // Научные труды Вольного экономического общества России. 2016. № 5(202). С. 25–39.
5. Бушуев В.В., Зайченко В.М. Энергетика геотерии // Региональная энергетика и энергосбережение. 2021. № 3. С. 50–53.
6. Дегтярев К.С., Соловьев Д.А. Географическая информационная основа оценки и районирования территорий для развития возобновляемой энергетики // Информационные ресурсы России. 2024. № 4(199). С. 4–13. DOI:10.52815/0204-3653_2024_4199_4.
7. Соловьев Д.А., Залиханов А.М. Климатические изменения и энергетика: влияние, прогнозы и последствия // Окружающая среда и энергосбережение. 2021. № 3. С. 62–74. DOI:10.5281/zenodo.5547013.
8. Агафонова Е.А., Березкин М.Ю., Бушуев В.В., Вережемская П.С., Дегтярев К.С., Залиханов А.М., Колпаков А.Ю., Криницкий М.А., Нефедова Л.В., Показеев К.В., Саенко В.В., Синоугин О.А., Соловьев Д.А., Фёдорова Е.В., Фёдоров В.М., Фролов Д.М. Климатические изменения и энергетика. Москва: «КДУ», 2024.
9. Потребление электроэнергии по субъектам Российской Федерации (обновлено: 28.05.2024 г.) [Электронный ресурс]. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/elbalans_2023.xlsx
10. Валовой региональный продукт по субъектам Российской Федерации (обновлено: 26.04.2024 г.) [Электронный ресурс]. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/VRP_s_1998.xlsx

Bibliography:

1. Dolmatov, I.A., Shutova, M.A. Methodology for Forecasting the Energy Intensity of GDP and Specific Industries (Sectors) of the Economy // 151st Open Seminar "Economics of Energy". Institute of Economic Forecasting, Russian Academy of Sciences. 2014. P. 30.
2. Khabibrakhmanov, R.R., Ryzhkova, L.V. Factors Determining the Energy Intensity of the Domestic Economy // Management of Economic Systems: Electronic Scientific Journal. 2012. No. 12 (48). P. 112.
3. Bushuev, V.V., Kurichev, N.K., Gromov, A.I. Energy Strategy-2050: Methodology, Challenges, Opportunities // ESCO. Energy and Industry. 2013. No. 6. P. 14–19.
4. Klepach, A.N. Structural Factors of Economic Growth // Scientific Papers of the Free Economic Society of Russia. 2016. No. 5(202). P. 25–39.
5. Bushuev, V.V., Zaichenko, V.M. Energy of Territories // Regional Energy and Energy Saving. 2021. No. 3. P. 50–53.
6. Degtyarev, K.S., Solovov, D.A. Geographic Information Basis for Assessment and Zoning of Territories for Renewable Energy Development // Information Resources of Russia. 2024. No. 4(199). P. 4–13. DOI:10.52815/0204-3653_2024_4199_4.
7. Solovov, D.A., Zalihanov, A.M. Climate Change and Energy: Impacts, Forecasts, and Consequences // Environment and Energy Studies. 2021. No. 3. P. 62–74. DOI:10.5281/zenodo.5547013.
8. Agafonova, E.A., Berezkin, M.Y., Bushuev, V.V., Verezhemskaya, P.S., Degtyarev, K.S., Zalihanov, A.M., Kolpakov, A.Y., Krinitsky, M.A., Nefedova, L.V., Pokazeev, K.V., Saenko, V.V., Sinyugin, O.A., Solovov, D.A., Fedorova, E.V., Fedorov, V.M., Frolov, D.M. Climate Change and Energy. Moscow: "KDU", 2024.
9. Electricity Consumption by Subjects of the Russian Federation (Updated: 28.05.2024) [Electronic Resource]. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/elbalans_2023.xlsx
10. Gross Regional Product by Subjects of the Russian Federation (Updated: 26.04.2024) [Electronic Resource]. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/VRP_s_1998.xlsx

АНАЛИЗ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Аннотация. В статье представлен анализ внедрения технологий искусственного интеллекта (ИИ) в строительной отрасли. Исследование основано на анализе публикаций, представленных в международной базе знаний за 2024 г. В итоговую выборку вошли 2258 публикаций, отобранных по ключевым словам «construction» и «artificial intelligence». Результаты проведенного анализа показывают, что методы машинного обучения играют ключевую роль в развитии технологий ИИ, независимо от сферы их применения. Строительная отрасль не является исключением, и значительное число исследований посвящено внедрению методов машинного обучения в этой области. Помимо машинного обучения, актуальными направлениями исследований являются цифровизация, применение цифровых двойников, устойчивое развитие и экология, кибербезопасность, интеллектуальные системы и робототехника, а также образование и профессиональное развитие. Выявлены перспективные направления применения ИИ в строительстве, включая анализ больших данных, прогнозирование состояния строительных объектов, мониторинг строительных площадок с использованием дронов, оснащенных ИИ, оптимизацию логистических процессов и другие задачи.

Адамцевич Любовь
Доцент, к. т. н., заведующая НИЛ
энергоэффективности, экологии
и устойчивого строительства
НИИ СМиТ, Национальный
исследовательский Московский
государственный строительный
университет (НИУ МГСУ)
E-mail: AdamtsevichLA@mgsu.ru

Ключевые слова:

искусственный интеллект, строительство, машинное обучение, цифровые двойники, устойчивое развитие.

**ИИ используется
в строительстве
для решения
таких задач, как
прогнозирование
свойств
материалов,
оценка качества
конструкций,
управление
производством
и т.д.**

Введение

Основателем направления развития искусственного интеллекта считается А.Тьюринг, который дал описание абстрактной вычислительной машине, состоящей из безграничной памяти и сканера, перемещающегося вперёд и назад по памяти в 1935 г. При этом самая ранняя успешная программа искусственного интеллекта создана только в 1951 г. Термин «artificial intelligence» («искусственный интеллект») был впервые использован Д.МакКарти в 1956 г. на конференции в Университете Дартмута. Новое развитие искусственный интеллект получил в середине 1990-х гг. Самый известный пример – суперкомпьютер IBM Deep Blue, который в 1997 г. обыграл в шахматы чемпиона мира Г.Каспарова.

Вместе с тем, с течением времени и развитием науки и техники искусственный интеллект получил новые возможности, и в настоящее время ни одна отрасль не обходится без искусственного интеллекта. Данная статья посвящена анализу внедрения технологии ИИ в строительной отрасли.

Материалы и методы

Основой для анализа внедрения технологии ИИ стала международная база знаний Scopus. На первом этапе для определения основных трендов в развитии

технологии сформирована выборка по ключевому слову «artificial intelligence». При формировании тренда целесообразно рассматривать не один год, а несколько, чтобы отследить изменения в динамике. Поскольку концепция Индустрии 4.0, где одна из ключевых ролей как раз у технологии ИИ [1], была анонсирована немецким правительством в 2011 г., в этой связи для формирования выборки использован период с 2011 по 2024 гг.

В итоговую выборку вошло 489 324 публикаций, распределение которых по годам представлено на рис. 1. Из рисунка виден ежегодный рост публикаций, пик которых зафиксирован в 2024 г.

На рис. 2 представлены основные тренды в области ИИ за указанный период. Как видно из рисунка, одна из ключевых позиций занимает машинное обучение «machine learning» (ML), которое представляет собой совокупность методов искусственного интеллекта, с помощью которых можно создавать самообучающиеся системы. Классификация видов машинного обучения представлена на рис. 3.

После определения основных трендов в ИИ, сформирована выборка для определения актуальных направлений применения ИИ в строительстве. Выборка собрана по двум ключевым словам: «construction» и «artificial intelligence», год формирования выборки – 2024.

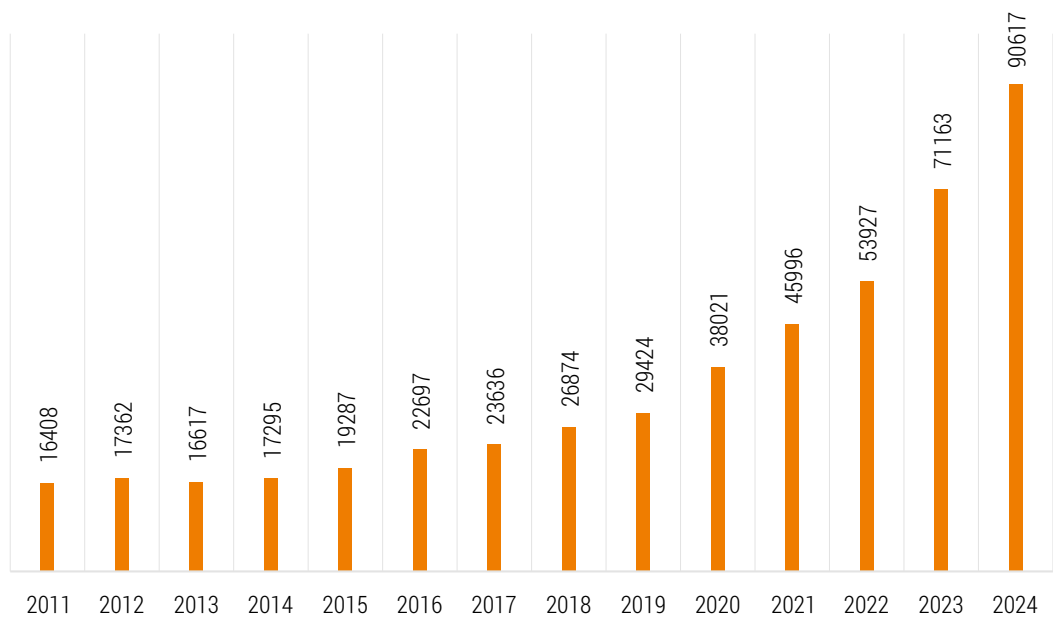


Рис. 1. Распределение публикаций по годам по ключевому слову «artificial intelligence»

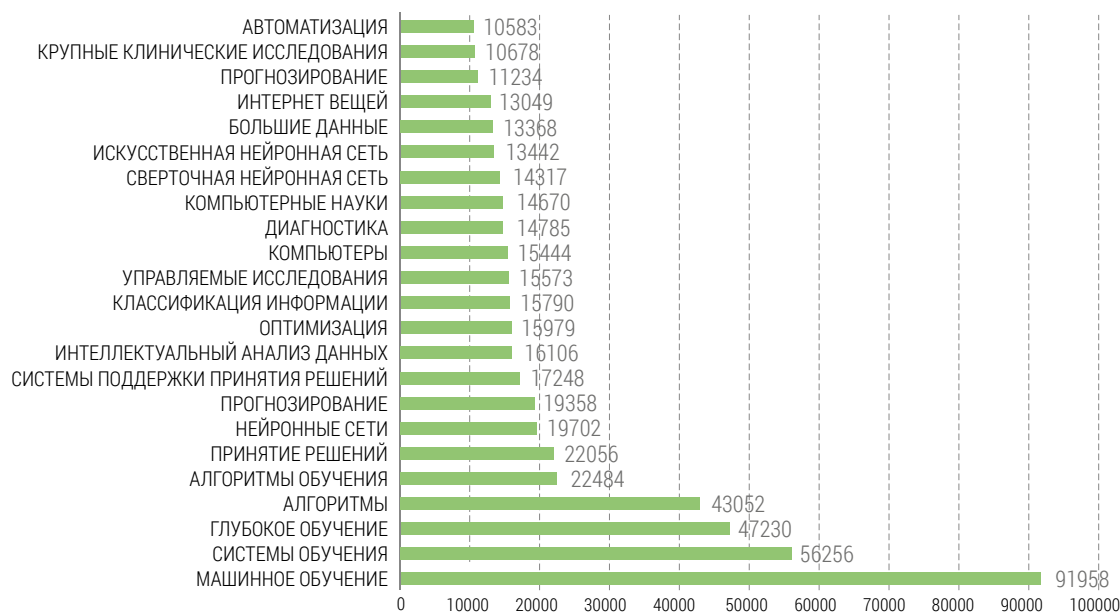


Рис. 2. Основные тренды в ИИ

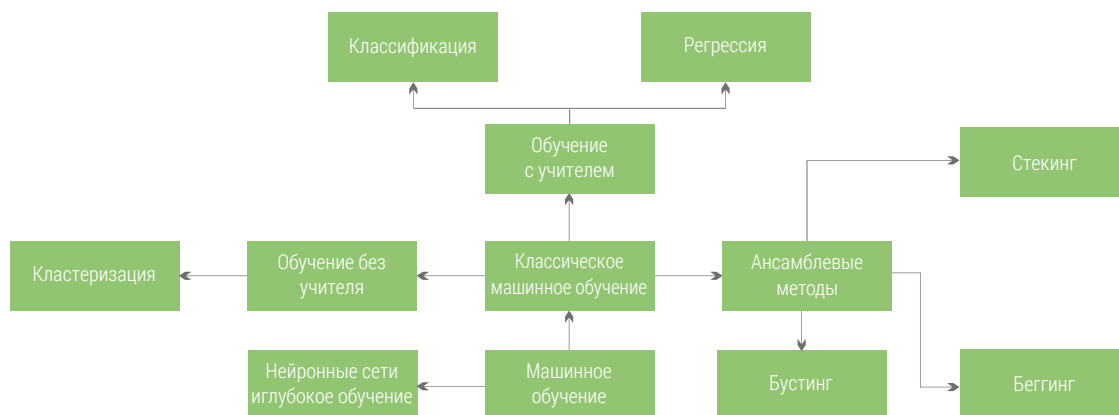


Рис. 3. Классификация видов машинного обучения



Рис. 4. Укрупненная схема исследования

При проведении первичного анализа выявлено, что некоторые публикации относятся к отраслям знаний, которые не связаны со строительной отраслью.

Принято решение такие публикации из дальнейшего исследования исключить. Далее сформирована кластерная карта по выборке для определения основных направлений исследований в области применения искусственного

интеллекта в строительстве, после проведен анализ публикаций и выявлены основные задачи, на решение которых направлены рассматриваемые в выборке исследования.

По итогам проведенного исследования сформированы актуальные направления развития исследований.

Таким образом, схему исследования можно представить в следующем виде:



Рис. 5. Распределение публикаций по отраслям знаний

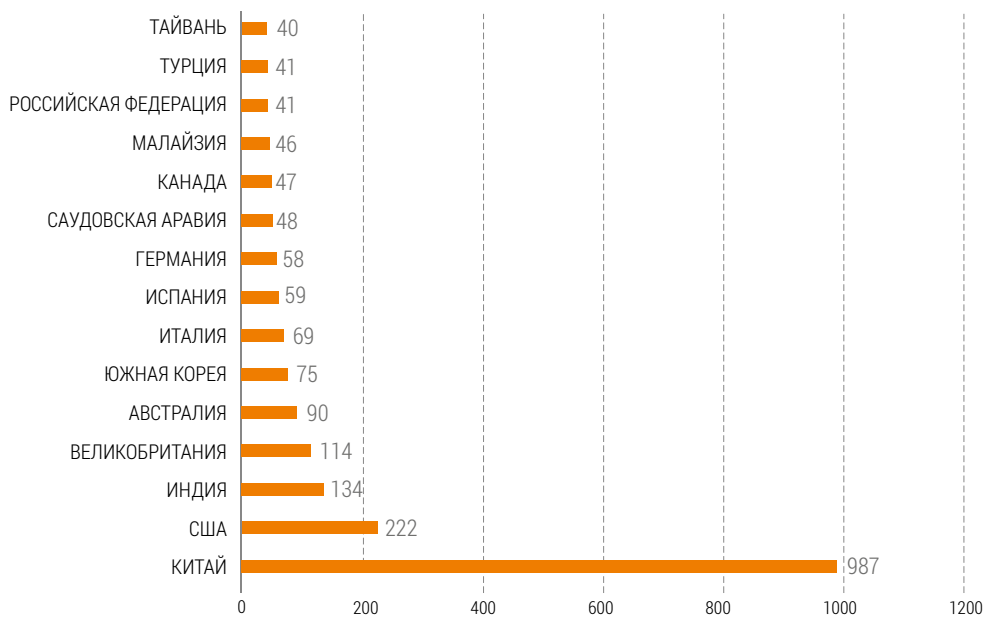


Рис. 6. Распределение публикаций из выборки по странам

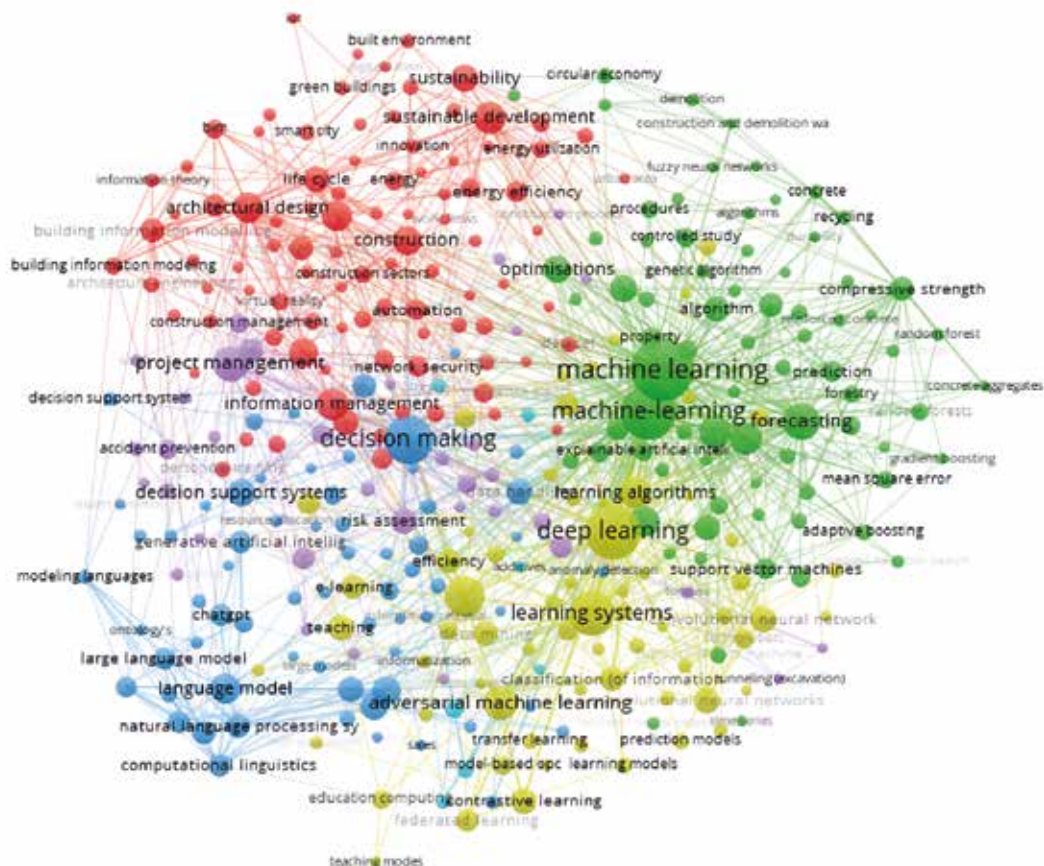


Рис. 7. Кластерная карта, сформированная по выборке с ключевыми словами «construction» и «artificial intelligence»

Результаты

В начале исследования сформирована выборка из 2631 публикации. Распределение по отраслям знаний представлено на рис. 5.

Однако из рисунка видно, что не все отрасли знаний относятся к теме исследования, а наибольшее количество публикаций приходится на информационные технологии и инженерные науки, далее идет математика, на материаловедение приходится всего 4% от общего количества публикаций. Для дальнейшего анализа оставим только те от-

расли знаний, которые наиболее релевантны цели исследования: инженерные науки, ИТ, математика, социальные науки, материаловедение, энергетика, экология, принятие решений, науки о Земле.

В итоговой выборке осталось 2258 публикаций, где на первом месте по количеству публикаций – Китай – 47,7%, на втором – США – 10,7%, на третьем – Индия – 6,4% (рис. 5). Публикации из Российской Федерации составляют около 2% и занимают 13 место. На рис. 6 представлены первые 15 стран по количеству публикаций.

На рис. 7 показана взаимосвязь ключевых слов выборки. Минимальное количество совпадающих ключевых слов в выбранных публикациях установлено 10. Пороговому значению соответствовало 368 слов из 16673. Для каждого из 368 ключевых слов программой рассчитана общая сила одновременных ссылок с другими ключевыми словами.

По кластерной карте можно выделить 5 кластеров, каждый из которых направлен на решение задач в строительной отрасли, наиболее четко видны кластеры, касающиеся методов ИИ, такие, как машинное обучение, глубокое обучение. Много внимания уделяется вопросам принятия решений, а также развитию объектов капитального строительства на этапах жизненного цикла с применением методов ИИ.

На следующем этапе были проанализированы публикации из выборки по их содержанию. В таблице 1 представлены топ-20 наиболее цитируемых публикаций из выборки.

Вместе с тем анализ всей выборки позволил выделить следующие направления исследований:

- 1. Применение ИИ и машинного обучения, включая прогнозирование свойств материалов (прочности бетона, сроков схватывания бетонной смеси и т. д.), оптимизацию производственных процессов и управление данными, повышение энергоэффективности зданий и сооружений.
- 2. Цифровизация и цифровые двойники. В данном направлении рассматривается использование цифровых двойников

Таблица 1 (начало)

Ссылка	Количество цитирований	Краткая аннотация	
[2]	183	Большие языковые модели (LLM), такие как ChatGPT и GPT-4, произвели настоящую революцию в области обработки естественного языка и ИИ благодаря своей способности к генерации и обобщению текста. Однако эти модели, по своей сути, являются “черными ящиками” и не всегда могут точно фиксировать и использовать фактические знания. В отличие от них, графы знаний (KG), такие как Wikipedia и Huaru, представляют собой структурированные модели, которые хранят точные данные. KG могут значительно улучшить LLM, предоставляя внешние знания для повышения точности выводов и интерпретируемости результатов. Тем не менее, графы знаний сложны в построении и развитии, что создает вызовы для существующих методов генерации новых фактов и представления невидимых знаний. Поэтому интеграция LLM и KG для одновременного использования их преимуществ является ключевым направлением исследований. В статье авторами представлена дорожная карта для объединения LLM и KG, которая включает 3 основных фреймворка: – KG-enhanced LLMs: модели включают KG на этапах предобучения и вывода LLM, что улучшает понимание и использование знаний, полученных моделями; – LLM-augmented KGs: LLM используются для различных задач, связанных с KG, таких как встраивание, завершение, построение и генерация графов в текст, а также ответы на вопросы; – Synergized LLMs + KGs: LLM и KG играют равные роли и взаимодействуют взаимовыгодным образом, улучшая как модели LLM, так и графы знаний для двунаправленного рассуждения, основанного как на данных, так и на знаниях. Авторам проведен обзор существующих исследований и определены будущие направления исследований для максимально эффективного использования потенциала рассматриваемых подходов.	

Ссылка	Количество цитирований	Краткая аннотация
[3]	44	В последние годы технологии машинного обучения (ML) стали широко применяться для выявления сложных взаимосвязей между различными параметрами в аддитивном производстве (АП). Эти модели ML используются для распознавания сложных закономерностей в больших наборах данных, раскрывая скрытые знания, которые играют ключевую роль в принятии обоснованных решений в процессе АП. Совместная синергия между машинным обучением и аддитивным производством обладает потенциалом для революционного преобразования процессов проектирования и производства деталей, напечатанных с помощью АП. В представленном обзоре рассматриваются проблемы и возможности, возникающие на пересечении этих развивающихся областей. Представлен всесторонний анализ публикаций, связанных с применением ML в АП, охватывающий общие приложения ML, такие как контроль качества, оптимизация процессов, улучшение проектирования, анализ микроструктур и разработка материалов. В заключении обзора акцентируется внимание на использовании передовых моделей машинного обучения, разработке новых датчиков и приложений ML в инновационных сферах, связанных с АП. Выдвинуто предположение о том, что интеграция машинного обучения в процессы АП существенно расширит возможности 3D-печати и откроет новые горизонты в исследованиях, связанных с аддитивным производством.
[4]	40	Представленное в статье исследование посвящено изучению литературы, связанной с применением цифровых технологий для продвижения циркулярной экономики (циклической экономики или «экономики замкнутого цикла») в строительной отрасли. Для достижения цели был использован комплексный подход, включающий библиометрический анализ, анализ текстового интеллекта и контент-анализ. Этот подход позволил достичь 3 основных целей: – раскрыть эволюционный прогресс в данной области; – определить ключевые темы исследований; – выявить проблемы, препятствующие внедрению цифровых технологий для ЦЭ. В результате проанализировано 365 публикаций. Результаты исследования выявили 8 ключевых цифровых технологий, которые были разделены на 2 основных кластера: «цифровизация и передовые технологии» и «технологии устойчивого строительства». Первый кластер включал такие технологии, как машинное обучение, ИИ, глубокое обучение, аналитика больших данных и обнаружение объектов с компьютерным зрением. Эти технологии использовались для: 1. Прогнозирования образования отходов строительства и сноса. 2. Идентификации и классификации отходов. 3. Управления отходами с помощью компьютерного зрения. Второй кластер включал технологии, такие как Интернет вещей (IoT), блокчейн и информационное моделирование зданий (BIM). Эти технологии способствуют оптимизации использования ресурсов, повышению прозрачности и внедрению устойчивых практик в строительной отрасли. В целом данные технологии демонстрируют значительный потенциал для повышения эффективности управления отходами и обеспечения ЦЭ в строительстве.
[5]	38	Сверхвысокопроизводительный бетон (UHPC) представляет собой инновационный и устойчивый строительный материал, способный заменить традиционный бетон. В исследовании для оценки бетонных композитов и сокращения временных и финансовых затрат в строительной отрасли применялись методы ИИ. Для прогнозирования прочности на сжатие и изгиб UHPC использовались подходы машинного обучения (ML) и гибридного ML. Набор данных включал 626 точек данных по прочности на сжатие и 317 точек данных по прочности на изгиб, собранные из опубликованных исследовательских статей. 14 важных переменных были выбраны в качестве входных параметров для анализа

Ссылка	Количество цитирований	Краткая аннотация	
		Год	Тема
		2023	гибридных алгоритмов ML и ML. В исследовании применялись алгоритмы XGBoost, LightGBM и гибридные алгоритмы XGBoost-LightGBM для прогнозирования свойств УНРС. Методы поиска по сетке (GS) использовались для корректировки гиперпараметров моделей с целью достижения высокой точности и эффективности. Были обучены модели ML и гибридные ML, на этапе тестирования применялись статистические оценки, такие как коэффициент детерминации (R-квадрат), среднеквадратическая ошибка (RMSE), средняя абсолютная ошибка (MAE) и коэффициент эффективности (CE). Результаты показали, что гибридный алгоритм ML превзошел алгоритмы XGBoost и LightGBM по значениям R-квадрата и RMSE для прогнозирования прочности на сжатие и изгиб. Гибридная модель ML и 2 модели ML продемонстрировали значения R-квадрата выше 0,94 на этапах тестирования и чуть более 0,97 на этапе обучения. Точность гибридной модели ML для прогнозирования прочности на сжатие показала значение R-квадрата почти 0,996 для этапа обучения и 0,963 для тестирования. Прогнозирование прочности на изгиб также выявило высокие значения R-квадрата для гибридной модели ML и 2 традиционных моделей ML, достигающие почти 0,95 на этапе обучения и около 0,81 на этапе тестирования. Однако гибридная модель XGB-LGB продемонстрировала наивысшую точность и наименьшую ошибку среди всех моделей.
[6]	37	2023	Основная цель данного исследования заключается в изучении влияния управления «зелеными» знаниями (GKM) ¹ на «зеленые» инновации (GTI) ² и устойчивую производительность в строительных фирмах. В рамках исследования также рассматривается роль ИИ как модератора взаимосвязи между GKM и «зеленым» человеческим капиталом (GHC) ³ . Для сбора данных проведен опрос среди 309 строительных фирм в Пакистане. Проверка гипотез осуществлялась с использованием пакетов программного обеспечения AMOS-24 и SPSS PROCESS. Результаты исследования продемонстрировали, что GKM оказывает значительное положительное влияние на GTI и долгосрочную производительность. Установлено, что различные аспекты «зеленого» интеллектуального капитала (GIC), такие как «зеленый» структурный капитал, «зеленый» реляционный капитал и «зеленый» человеческий капитал, играют ключевую роль в посредничестве взаимодействий между GKM и GTI, а также в корреляции между GKM и устойчивой производительностью. Кроме того, исследование показало, что ИИ существенно влияет на взаимосвязь между GKM и GHC.
[7]	37	2023	Распределенные атаки типа «отказ в обслуживании» (DDoS) и атаки на основе ботнетов представляют собой серьезные угрозы безопасности в средах Интернета вещей (IoT). Большинство современных исследовательских подходов используют централизованные механизмы защиты для предотвращения DDoS-атак в IoT, однако существует необходимость в надежном и масштабируемом решении. Интеграция технологий, таких как распределенные механизмы на основе блокчейна и смарт-контракты, позволяет создать устойчивую распределенную структуру для защиты от DDoS-атак в IoT. В статье предложен многоуровневый подход к смягчению DDoS-атак (ML-DDoS) для защиты IoT-устройств и других вычислительных ресурсов с использованием структуры на основе

¹ Green knowledge management (GKM) – это управление знаниями и возможностями, связанными с устойчивыми экологическими технологиями и практиками.

² Green technological innovation (GTI) – «зелёные» технологии – экологически безопасные технологии, которые нацелены на защиту окружающей среды, снижение образования загрязняющих веществ и парниковых газов, более эффективное использование ресурсов, увеличение объёмов и глубины переработки отходов.

³ Green human capital – знания, навыки и способности сотрудников в отношении экологической устойчивости.

Ссылка	Количество цитирований	Краткая аннотация
		блокчейна. Основная концепция предложенной системы заключается в применении механизма проверки на основе устройств с использованием блокчейна, что позволяет исключить вредоносные устройства из IoT-среды. Разработанная структура создана с использованием Hyperledger Caliper, инструмента для тестирования производительности блокчейна, а ее эффективность оценивалась с помощью 3 приложений для тестирования производительности. Результаты показывают, что предложенная структура обеспечивает значительные улучшения по сравнению с современными методами: до 35% увеличения пропускной способности, до 40% уменьшения задержки и до 25% лучшего использования центрального процессора.
[8]	36	Увеличение площади поверхности испарения солнечных дистилляторов за счет внедрения нового солнечного дистиллятора на основе инновационных конфигураций представляет собой экономически эффективную стратегию для максимизации выхода дистиллированной воды. Исследование предлагает новаторский солнечный дистиллятор призматической формы с фитильными материалами и распылительными форсунками, направленный на увеличение скорости испарения внутри желоба дистиллятора и, следовательно, на повышение выхода пресной воды. Были построены и испытаны 2 солнечных дистиллятора с двойными наклонными крышками: модифицированный солнечный дистиллятор с призматическим бассейном, двумя наклонными крышками и распылительными форсунками (MSS) и эталонный солнечный дистиллятор с двойным наклоном (RSS). Разработана гибридная структура ИИ, интегрирующая нейронную сеть с долговременной краткосрочной памятью (LSTM), настроенную с использованием алгоритма строительства Великой стены (GWCA). Эта модель предназначена для прогнозирования температуры соленой воды и соответствующего объема пресной воды в 2 исследованных солнечных дистилляторах, при этом время, солнечный поток, скорость ветра и температура окружающей среды выступают в качестве входных данных. Экспериментальные результаты продемонстрировали значительное улучшение производительности MSS по сравнению с RSS. Ежедневное производство пресной воды для MSS достигло 7,94 кг/м²/день, что на 49,53% больше, чем у RSS, производящего 5,31 кг/м²/день. Кроме того, ежедневная энергетическая эффективность MSS составила 57,40%, а эксергетическая эффективность – 3,80%, что представляет собой увеличение на 44,23% и 72,74% соответственно по сравнению с RSS. Прогнозирование с использованием модели LSTM-GWCA показало высокий коэффициент детерминации: 0,996 для температуры соленой воды MSS и 0,983 для продукта пресной воды, в то время как для LSTM эти значения составили 0,963 и 0,922 соответственно. Эти результаты подчеркивают значительное улучшение производительности и эффективности предложенного солнечного дистиллятора призматической формы, а также точность прогнозирования модели LSTM-GWCA.
[9]	36	В этом исследовании рассматривается, как применение инновационных технологий Индустрии 4.0 на этапе проектирования может способствовать сокращению строительных отходов и улучшению процессов восстановления, повторного использования и переработки строительных материалов. Исследование использует трехэтапный последовательный смешанный методический подход, включающий тщательный обзор современной литературы, интервью с 6 экспертами в области цифрового строительства и опрос 75 опытных отраслевых специалистов. В исследовании определены и обсуждаются 10 цифровых технологий, способных улучшить процессы на этапе проектирования и, как следствие, повысить цикличность в строительстве: 1. Аддитивное и роботизированное производство. 2. Искусственный интеллект. 3. Аналитика больших данных.

Ссылка Количество цитирований		Краткая аннотация
		4. Технология блокчейна. 5. Моделирование информации о зданиях. 6. Цифровые платформы. 7. Цифровые двойники. 8. Географические информационные системы. 9. Паспорта и базы данных материалов. 10. Интернет вещей. Исследование демонстрирует, что использование этих технологий для поддержки концепций циклического проектирования в строительном секторе может значительно улучшить показатели переработки материалов и сократить количество ненужных строительных отходов.
[10]	34	Появление технологии цифрового двойника – Digital Twin (DT) – открывает уникальные возможности для общества, обеспечивая передачу данных в реальном времени из физической среды в ее цифровой аналог. Несмотря на достигнутые успехи в различных отраслях промышленности, сектор архитектуры, инжиниринга, строительства и эксплуатации (АЕСО) все еще нуждается в дальнейших усовершенствованиях для внедрения этих технологий вместо традиционных подходов. Цель исследования состоит в том, чтобы сделать использование этих технологий стандартной практикой, а не передовой операцией. Статья направлена на устранение существующего разрыва путем представления всеобъемлющей структуры, объединяющей технологии и концепции, полученные из целевых тематических исследований и анализа различных отраслей. Эта структура предназначена для предоставления передовых практик сектору АЕСО. Она подчеркивает потенциал DT для оптимизации надзора и цифрового управления застроенной средой на протяжении всего жизненного цикла объектов, включая проектирование, строительство, эксплуатацию и техническое обслуживание. Статья основана на обзоре литературы и представляет целостный подход к описанию ролей таких цифровых инструментов, как информационное моделирование зданий (BIM), географические информационные системы (ГИС), Интернет вещей (IoT) и другие ключевые факторы в среде DT. Эти технологии облегчают одновременную оценку сопутствующих преимуществ, таких как экономия ресурсов, и будущих перспектив, включая мониторинг целей устойчивости проектов.
[11]	33	Исследователи активно работают над созданием точных моделей прогнозирования скорости ветра, которые играют ключевую роль в управлении ветроэнергетическими системами, однако прогнозирование идеальной производительности остается сложной задачей. Для повышения точности прогнозирования в исследовании разработана новая структура, основанная на двухэтапном методе обработки данных. Кроме того, была применена стратегия многоцелевой оптимизации для определения весов последовательностей прогнозирования. Использовались методы глубокого обучения и улучшенные алгоритмы экстремальных обучающих машин, что позволило достичь точных результатов прогнозирования. Экспериментальные результаты подтвердили превосходство предлагаемой структуры прогнозирования ветра по сравнению с другими эталонными моделями. Это устанавливает ее как приемлемое решение для прогнозирования скорости ветра и мощный инструмент для управления работой электросети.
[12]	29	Большие языковые модели (LLM), обученные на больших наборах данных, стали известны в 2018 г. после того, как Google представила BERT⁴. Впоследствии были выпущены различные LLM, такие как модели GPT от OpenAI. Эти модели успешно справляются с разнообразными задачами и находят широкое применение в таких

⁴ BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) – языковая модель, основанная на архитектуре

Ссылка		Количество цитирований		Краткая аннотация	
				областях, как бизнес и образование. Однако потенциал и проблемы использования LLM в строительной отрасли остаются малоизученными. Данное исследование направлено на оценку возможностей моделей GPT в контексте строительства. Для достижения целей исследования применяются критический обзор, экспертное обсуждение и анализ тематических исследований. Результаты исследования выявили значительные возможности для моделей GPT на протяжении всего жизненного цикла строительного проекта. Подчеркиваются не только перспективы, но и существующие проблемы, связанные с применением моделей GPT. Разработан прототип варианта использования для выбора и оптимизации материалов, что демонстрирует практическую ценность LLM в строительной отрасли.	
[13]		29		Использование технологий ИИ в зданиях может значительно способствовать снижению потребления энергии за счет контроля, автоматизации и надежности. Целью обзора является изучение применения ИИ для повышения энергоэффективности на различных этапах жизненного цикла здания, включая: 1. Проектирование. 2. Строительство. 3. Эксплуатацию и контроль здания. 4. Техническое обслуживание. 5. Модернизацию. Обзор охватывает несколько исследований в этой области, опубликованных в период с 2018 по 2023 гг., которые были выявлены с помощью поиска, по ключевым словам, в различных исследовательских базах данных. В ходе исследования были обобщены технологии и подходы, связанные с ИИ и энергоэффективностью. Обсуждаются будущие возможности применения ИИ для повышения энергоэффективности на различных этапах жизненного цикла зданий. Подчеркивается, что решения на основе ИИ в настоящее время используются для: 1. Проектирования и оптимизации зданий. 2. Принятия решений. 3. Предиктивного и адаптивного управления. 4. Обнаружения и диагностики неисправностей. 5. Энергетического бенчмаркинга. Эти приложения эффективно способствуют повышению энергоэффективности в зданиях, соответствуя современным энергетическим потребностям. Однако необходимы дальнейшие исследования для изучения использования ИИ на этапе строительства, чтобы поддержать разработку энергоэффективных строительных технологий и систем, а также для планирования и принятия прогнозных решений.	
[14]		29		Встраивание графа знаний (KGE) направлено на изучение мощных представлений для использования в различных приложениях ИИ. Контрастное обучение широко использовалось в обучении графов как эффективный механизм для повышения дискриминационной способности изученных представлений. Однако сложные структуры KG затрудняют построение соответствующих контрастных пар. Авторами установлено, что сущности в реляционной симметричной структуре обычно похожи и коррелируют. С этой целью предложена структура контрастного обучения графа знаний, основанного на реляционно-симметричной структуре, KGE-SymCL. Предлагается подход plug-and-play, при котором сущности в реляционно-симметричных позициях рассматриваются	

«трансформер». Предназначена для предобучения языковых представлений с целью их последующего применения в широком спектре задач обработки естественного языка.

Ссылка	Количество цитирований	Краткая аннотация	
		Исследования	Выводы
		как положительные пары. Кроме того, самоконтролируемая потеря выравнивания предназначена для объединения положительных пар.	
[15]	27	Целью данного исследования является предложение новой структуры для прогнозирования прочности и многокритериальной оптимизации (МОО) экономичного и экологически устойчивого сверхвысокопроизводительного бетона (UHPC), что способствует интеллектуальному, устойчивому строительству. Для достижения этой цели были интегрированы различные модели машинного обучения (ML) на основе древовидных и усиливающих ансамблей, чтобы сформировать точную и надежную модель прогнозирования для одноосной прочности на сжатие UHPC. Рассмотрено 19 целевых функций, включая: стоимость и одноосную прочность на сжатие, 17 категорий воздействия на окружающую среду, которые всесторонне оценивают экологическую устойчивость смеси UHPC. Для практического применения модели прогнозирования ML и алгоритма МОО для UHPC был разработан программный инструмент на основе графического пользовательского интерфейса FAI-OSUSCONCRET. Этот программный инструмент предлагает быстрые, точные и интеллектуальные прогнозы и многоцелевые оптимизации, адаптированные к конкретным требованиям проекта, что приводит к смеси UHPC, идеально соответствующей потребностям проекта.	
[16]	24	Несмотря на стремительный прогресс в области ИИ, в строительной отрасли ИИ применяется не так часто. В последнее время появление и быстрое внедрение расширенных больших языковых моделей (LLM), таких как GPT от OpenAI, PaLM от Google и Llama от Meta, показали большой потенциал и вызвали значительный интерес во всем мире. Однако малоизученными остаются возможности и проблемы внедрения генеративного ИИ (GenAI) в строительный сектор, что создает критический пробел в знаниях для исследователей и практиков. Учитывая беспрецедентные возможности GenAI по созданию контента, похожего на человеческий, на основе изучения существующего контента, авторы представляют информацию по 2 основным направлениям: 1. Что принесет будущее GenAI в строительную отрасль? 2. Каковы потенциальные возможности и проблемы внедрения GenAI в строительную отрасль? В результате проведенного исследования рекомендуется концептуальная структура реализации GenAI, даются практические рекомендации, обобщаются будущие исследовательские вопросы и формируется основополагающая литература для содействия последующему расширению исследований в области GenAI в строительстве и смежных областях архитектуры и инжиниринга.	
[17]	22	В последние годы графы знаний (KG) широко применяются в различных областях для различных целей. Семантическая модель KG может представлять знания через иерархическую структуру, основанную на классах сущностей, их свойствах и их отношениях. Построение больших KG может обеспечить интеграцию разнородных источников информации и помочь системам ИИ стать более объяснимыми и интерпретируемыми. В этом систематическом обзоре рассматривается выборка недавних публикаций, чтобы понять, как KG в настоящее время используются в системах eXplainable AI (XAI). Для достижения этой цели авторами разработана структура, а использование KG разделено на 4 категории: 1. Извлечение признаков. 2. Извлечение отношений. 3. Построение KG. 4. Рассуждения KG.	

Ссылка	Количество цитирований	Краткая аннотация
[18]	21	В борьбе с изменением климата и для повышения стандартов устойчивости строительный сектор пытается сократить потребление энергии и воздействие на окружающую среду. Использование цифровизации в свете Индустрии 4.0 и 5.0 имеет огромный потенциал для революционных преобразований в секторе строительства. Цифровизация преобразует здания на протяжении всего их жизненного цикла, охватывающего этапы проектирования, строительства, эксплуатации и модернизации/вывода из эксплуатации. Целью данного исследования является анализ роли цифровых технологий в устойчивых зданиях. При этом проводится систематический обзор литературы для изучения текущего ландшафта применения 13 ключевых цифровых технологий: датчики, информационное моделирование зданий (BIM), системы управления зданиями (BMS), интеллектуальные счетчики, 3D-печать/аддитивное производство, робототехника, аналитика больших данных, Интернет вещей (IoT), машинное обучение, ИИ, цифровой двойник, блокчейн, кибербезопасность. Эти технологии обсуждались с учетом их функций, применения в зданиях, внедрения и рыночных тенденций, проблем и путей их решения. Результаты исследования показывают, что цифровые технологии делают здания более интегрированными, гибкими, энергоэффективными, умными и устойчивыми за счет оптимизации использования ресурсов, повышения эффективности эксплуатации и минимизации воздействия на окружающую среду. Например: датчики обеспечивают сбор данных в реальном времени, BIM облегчает оценку устойчивости, ИИ улучшает управление энергопотреблением. Кроме того, цифровые технологии могут привести к снижению энергоемкости в строительном секторе на 30–50% к 2040 г. Хотя цифровые технологии предлагают многообещающие решения с точки зрения повышения стандартов устойчивости в зданиях, они также сталкиваются с рядом проблем, таких как: 1. Высокая первоначальная стоимость. 2. Риски конфиденциальности и безопасности, связанные с утечками данных и кибератаками. 3. Неосведомленность клиентов. 4. Нехватка квалифицированной рабочей силы и др.
[19]	20	Развитие мощных инструментов ИИ, включая ChatGPT, вызвала интерес у бизнес-практиков, учитывая их способность кардинально менять рабочие процессы. Хотя инструменты ИИ предназначены для расширения человеческих возможностей, их эффективное внедрение требует умения понимать, где, когда и как их лучше всего использовать. Кроме того, осмысленное взаимодействие с контентом, создаваемым генеративным ИИ (GenAI), требует сложности соответствующей разработки подсказок для оптимизации процесса обучения. Поскольку область GenAI продолжает развиваться, искусство разработки эффективных подсказок стало необходимым навыком для использования ее полного потенциала. Это исследование разрабатывает протокол подсказок ИИ через призму теории конструктивизма. Основываясь на принципах конструктивизма, где люди усваивают новые знания, связывая их со своим существующим пониманием, это исследование предполагает активный процесс взаимодействия в совместном построении знаний человеком и ИИ через GenAI. Цель состоит в том, чтобы предоставить бизнес-менеджерам и их командам возможность создавать эффективные подсказки ИИ и проверять ответы, тем самым улучшая взаимодействие с пользователем, оптимизируя рабочие процессы и максимизируя потенциальные результаты чат-ботов ИИ.
[20]	19	Растущая потребность в сокращении выбросов углерода и продвижении интеллектуальных, энергосберегающих зданий подпитывает динамику развития сложных систем управления. В этом исследовании дается комплексная оценка усовершенствованных средств управления, специально разработанных для таких

Ссылка	Количество цитирований	Краткая аннотация	
		Тема	Аннотация
[21]	19	зданий. Охваченные темы разнообразны и охватывают большие данные, сбор данных, автоматизацию в строительстве, цифровизацию энергии, моделирование энергии здания. Средства управления, которые рассматриваются, отдают приоритет потребностям жильцов, обеспечивают энергетическую безопасность, гибкость и надежность, а также используют машинное обучение для систем управления. Кроме того, в исследовании изучаются контроллеры, которые используют ИИ, адаптацию к изменению климата, а также проблемы и возможности, связанные с достижением баланса между сложностью и эффективностью управления.	зданий. Охваченные темы разнообразны и охватывают большие данные, сбор данных, автоматизацию в строительстве, цифровизацию энергии, моделирование энергии здания. Средства управления, которые рассматриваются, отдают приоритет потребностям жильцов, обеспечивают энергетическую безопасность, гибкость и надежность, а также используют машинное обучение для систем управления. Кроме того, в исследовании изучаются контроллеры, которые используют ИИ, адаптацию к изменению климата, а также проблемы и возможности, связанные с достижением баланса между сложностью и эффективностью управления.
		Интеллектуальная робототехника может произвести революцию в различных отраслях промышленности за счет увеличения производительности, оптимизации операций и обогащения взаимодействия с клиентами. Целью этого систематического обзора литературы является анализ новых технологий и тенденций в области интеллектуальной робототехники, рассмотрение ключевых вопросов исследований, выявление проблем и возможностей и предложение лучших практик для ответственной и выгодной интеграции в различные секторы. Последствия и будущие направления интеллектуальной робототехники включают в себя решение как проблем, так и потенциальных рисков, максимизацию выгод и обеспечение ответственного внедрения. Постоянное совершенствование и доработка существующих технологий будут определять жизнь человека и отрасли, стимулируя инновации и достижения в области интеллектуальной робототехники.	Интеллектуальная робототехника может произвести революцию в различных отраслях промышленности за счет увеличения производительности, оптимизации операций и обогащения взаимодействия с клиентами. Целью этого систематического обзора литературы является анализ новых технологий и тенденций в области интеллектуальной робототехники, рассмотрение ключевых вопросов исследований, выявление проблем и возможностей и предложение лучших практик для ответственной и выгодной интеграции в различные секторы. Последствия и будущие направления интеллектуальной робототехники включают в себя решение как проблем, так и потенциальных рисков, максимизацию выгод и обеспечение ответственного внедрения. Постоянное совершенствование и доработка существующих технологий будут определять жизнь человека и отрасли, стимулируя инновации и достижения в области интеллектуальной робототехники.

Таблица 1 (конец)

- для диагностики неисправностей и оптимизации производственных процессов, а также внедрение BIM-технологий (Building Information Modeling) в сочетании с ИИ и IoT (Интернет вещей).
3. Устойчивое развитие и экология. Здесь основное внимание уделяется разработке экологически устойчивых материалов и технологий, а также сокращению строительных отходов и использованию переработанных материалов. Также в отдельный блок можно вынести исследования в области повышения энергоэффективности и адаптивности зданий.
 4. Кибербезопасность и применение ИИ, включая вопросы защиты данных и систем в строительной отрасли, «смягчение» DDoS-атак на основе блокчейна.
 5. Интеллектуальные системы и робототехника, включая робототехнические приложения для сортировки отходов и повышения безопасности.

6. Образование и профессиональное развитие, внедрение генеративного ИИ в образовательные процессы.
- В то же время стоит отметить, что публикаций по вопросам применения предиктивной аналитики в строительстве мало. Это свидетельствует о необходимости рассмотрения вопросов внедрения предиктивной аналитики и мониторинга объектов капитального строительства для дальнейшего развития ИИ в строительной отрасли.
- Использование ИИ для анализа больших данных и прогнозирования состояния строительных объектов позволит предсказывать возможные аварии, оценку износа материалов и оптимизацию затрат на эксплуатацию зданий.
- Мониторинг строительных площадок с помощью дронов, оснащенных ИИ, позволит проводить не только инвентаризацию материалов, но и инспектировать труднодоступные участки строительства и съемки для проектных целей.

Внедрение BIM-технологий с интеграцией ИИ для создания интерактивных моделей зданий и анализа всех этапов жизненного цикла объекта позволит проводить расчет потребностей в материалах и предотвратит излишки или дефицит ресурсов.

Оптимизация логистических процессов с помощью ИИ, включая выбор поставщиков, контроль доставки и минимизацию задержек поможет сократить издержки и повысить эффективность снабжения строительных площадок.

Анализ строительных материалов на наличие дефектов на этапе поставок и проверка точности выполнения работ в соответствии с проектной документацией также могут быть проведены с использованием ИИ.

Применение ИИ для прогнозирования рисков и построения графиков выполнения задач позволит руководителям проектов принимать своевременные обоснованные решения на основе текущих данных и предсказаний.

Выводы

В результате проведенных исследований можно сделать вывод о том, что одна из ключевых ролей в развитии ИИ отведена методам машинного обучения.

В то же время строительная отрасль не является исключением и значительное количество исследований посвящено вопросам применения методов машинного обучения для решения таких задач, как прогнозирование свойств материалов, оценка качества конструкций с применением машинного зрения, оптимизация производственных процессов и управление данными и др.

Кроме машинного обучения, актуальными являются такие направления исследований, как цифровизация и цифровые двойники, устойчивое развитие и экология, кибербезопасность, интеллектуальные системы и робототехника, образование и профессиональное развитие.

В рамках перспективных направлений стоит отметить такие задачи, как:

- использование ИИ для анализа больших данных и прогнозирования состояния строительных объектов;
- мониторинг строительных площадок с помощью дронов, оснащенных ИИ;
- внедрение BIM-технологий с интеграцией ИИ для создания интерактивных моделей зданий и анализа всех этапов жизненного цикла объекта;
- оптимизация логистических процессов с помощью ИИ;
- анализ строительных материалов на наличие дефектов на этапе поставок и проверка точности выполнения работ в соответствии с проектной документацией;
- применение ИИ для прогнозирования рисков и построения графиков выполнения задач и др.

Анализ работы ИИ
Источник: sberbs.ru



ANALYSIS OF SCIENTIFIC RESEARCH IN THE FIELD OF AI APPLICATIONS IN CONSTRUCTION

Adamtsevlch Lyubov, Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Head of the Research Laboratory for Energy Efficiency, Ecology, and Sustainable Construction, Research Institute of Construction Management and Technologies, Moscow State University of Civil Engineering (MGSU). E-mail: AdamtsevlchLA@mgsu.ru

Abstract. The article presents an analysis of the implementation of artificial intelligence (AI) technologies in the construction sector. The study is based on the analysis of publications available in the international knowledge base for 2024. A total of 2,258 publications were selected using the keywords "construction" and "artificial intelligence". The results of the analysis indicate that machine learning methods play a key role in the development of AI technologies, regardless of the field of application. The construction industry is no exception, with a significant number of studies dedicated to the application of machine learning methods in this area. In addition to machine learning, other relevant research areas include digitalization, digital twins, sustainable development and ecology, cybersecurity, intelligent systems and robotics, as well as education and professional development. Promising directions for the application of AI in construction have been identified, including big data analysis, predicting the condition of construction objects, monitoring construction sites using AI-equipped drones, optimizing logistics processes, and other tasks.

Keywords: artificial intelligence, construction, machine learning, digital twins, sustainable development.

Библиографический список:

1. Адамтсевич Л.А., Сорокин И.В., Настычук А.В. Перспективные в условиях цифровой трансформации строительной отрасли технологии Индустрии 4.0 // Строительство и архитектура. 2022. Т. 10. № 4. С. 101-105.
2. Pan, S., Luo, L., Wang, Y., Chen, C., Wang, J., Wu, X., Unifying Large Language Models and Knowledge Graphs: A Roadmap, IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, vol. 36, pp. 3580–3599, 2024, doi: 10.1109/TKDE.2024.3352100
3. Ng, W.L., Goh, G.L., Goh, G.D., Ten, J.S.J., Yeong, W.Y., Progress and Opportunities for Machine Learning in Materials and Processes of Additive Manufacturing, Advanced Materials, vol. 36, 2024, doi: 10.1002/adma.202310006
4. Rodrigo, N., Omrani, H., Chang, R., Zuo, J., Leveraging digital technologies for circular economy in construction industry: a way forward, Smart and Sustainable Built Environment, vol. 13, pp. 85-116, 2024, doi: 10.1108/SASBE-05-2023-0111
5. Das, P., Kashem, A., Hybrid machine learning approach to prediction of the compressive and flexural strengths of UHPC and parametric analysis with shapley additive explanations, Case Studies in Construction Materials, vol. 20, 2024, doi: 10.1016/j.cscm.2023.e02723
6. Khan, A.N., Mehmood, K., Kwan, H.K., Green knowledge management: A key driver of green technology innovation and sustainable performance in the construction organizations, Journal of Innovation and Knowledge, vol. 9, 2024, doi: 10.1016/j.jik.2023.100455
7. Hayat, R.F., Aurangzeb, S., Aleem, M., Srivastava, G., Lin, J.C.-W., ML-DDoS: A Blockchain-Based Multilevel DDoS Mitigation Mechanism for IoT Environments, IEEE Transactions on Engineering Management, vol. 71, pp. 12605–12618, 2024, doi: 10.1109/TEM.2022.3170519
8. Elsheikh, A., Zayed, M., Aboghazala, A., Essa, F.A., Rehman, S., L. Muskens, O., Kamal, A., Elaziz, M.A., Innovative solar distillation system with prismatic absorber basin: Experimental analysis and LSTM machine learning modeling coupled with great wall construction algorithm, Process Safety and Environmental Protection, vol. 186, pp. 1120–1133, 2024, doi: 10.1016/j.psep.2024.04.063
9. Talla, A., McIlwaine, S., Industry 4.0 and the circular economy: using design-stage digital technology to reduce construction waste, Smart and Sustainable Built Environment, vol. 13, pp. 179–198, 2024, doi: 10.1108/SASBE-03-2022-0050
10. Piras, G., Agostinelli, S., Muzi, F., Digital Twin Framework for Built Environment: A Review of Key Enablers, Energies, vol. 17, 2024, doi: 10.3390/en17020436
11. Wang, J., Niu, X., Zhang, L., Liu, Z., Huang, X., A wind speed forecasting system for the construction of a smart grid with two-stage data processing based on improved ELM and deep learning strategies, Expert Systems with Applications, vol. 241, 2024, doi: 10.1016/j.eswa.2023.122487
12. Saka, A., Taiwo, R., Saka, N., Salami, B.A., Ajayi, S., Akande, K., Kazemi, H., GPT models in construction industry: Opportunities, limitations, and a use case validation, Developments in the Built Environment, vol. 17, 2024, doi: 10.1016/j.dibe.2023.100300
13. Yussuf, R.O., Asfour, O.S., Applications of artificial intelligence for energy efficiency throughout the building lifecycle: An overview, Energy and Buildings, vol. 305, 2024, doi: 10.1016/j.enbuild.2024.113903
14. Liang, K., Liu, Y., Zhou, S., Tu, W., Wen, Y., Yang, X., Dong, X., Liu, X., Knowledge Graph Contrastive Learning Based on Relation-Symmetrical Structure, IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, vol. 36, pp. 226–238, 2024, doi: 10.1109/TKDE.2023.3282989
15. Wajjira, T.G., Kutty, A.A., Alam, M.S., A novel framework for developing environmentally sustainable and cost-effective ultra-high-performance concrete (UHPC) using advanced machine learning and multi-objective optimization techniques, Construction and Building Materials, vol. 416, 2024, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2024.135114
16. Ghimire, P., Kim, K., Acharya, M., Opportunities and Challenges of Generative AI in Construction Industry: Focusing on Adoption of Text-Based Models, Buildings, vol. 14, 2024, doi: 10.3390/buildings14010220
17. Rajabi, E., Etmiani, K., Knowledge-graph-based explainable AI: A systematic review, Journal of Information Science, vol. 50, pp. 1019–1029, 2024, doi: 10.1177/01655515221112844
18. Asif, M., Naeem, G., Khalid, M., Digitalization for sustainable buildings: Technologies, applications, potential, and challenges, Journal of Cleaner Production, vol. 450, 2024, doi: 10.1016/j.jclepro.2024.141814
19. Robertson, J., Ferreira, C., Botha, E., Oosthuizen, K., Game changers: A generative AI prompt protocol to enhance human-AI knowledge co-construction, Business Horizons, vol. 67, pp. 499–510, 2024, doi: 10.1016/j.bushor.2024.04.008
20. Ahmed, I., Asif, M., Alhelou, H.H., Khalid, M., A review on enhancing energy efficiency and adaptability through system integration for smart buildings, Journal of Building Engineering, vol. 89, 2024, doi: 10.1016/j.jobe.2024.109354
21. Licardo, J.T., Domjan, M., Orehovački, T., Intelligent Robotics – A Systematic Review of Emerging Technologies and Trends, Electronics (Switzerland), vol. 13, 2024, doi: 10.3390/electronics13030542

Bibliography:

1. Adamtsevich, L.A., Sorokin, I.V., Nastychuk, A.V. Prospective Technologies of Industry 4.0 in the Context of Digital Transformation of the Construction Industry // *Construction and Architecture*, 2022, vol. 10, no. 4, pp. 101–105.
2. Pan, S., Luo, L., Wang, Y., Chen, C., Wang, J., Wu, X., Unifying Large Language Models and Knowledge Graphs: A Roadmap, *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, vol. 36, pp. 3580–3599, 2024, doi: 10.1109/TKDE.2024.3352100.
3. Ng, W.L., Goh, C.L., Goh, G.D., Ten, J.S.J., Yeong, W.Y., Progress and Opportunities for Machine Learning in Materials and Processes of Additive Manufacturing, *Advanced Materials*, vol. 36, 2024, doi: 10.1002/adma.202310006.
4. Rodrigo, N., Omrany, H., Chang, R., Zuo, J., Leveraging Digital Technologies for Circular Economy in Construction Industry: A Way Forward, Smart and Sustainable Built Environment, vol. 13, pp. 85–116, 2024, doi: 10.1108/SAS-BE-05-2023-0111.
5. Das, P., Kashem, A., Hybrid Machine Learning Approach to Prediction of the Compressive and Flexural Strengths of UHPC and Parametric Analysis with Shapley Additive Explanations, *Case Studies in Construction Materials*, vol. 20, 2024, doi: 10.1016/j.cscm.2023.e02723.
6. Khan, A.N., Mehmood, K., Kwan, H.K., Green Knowledge Management: A Key Driver of Green Technology Innovation and Sustainable Performance in the Construction Organizations, *Journal of Innovation and Knowledge*, vol. 9, 2024, doi: 10.1016/j.jik.2023.100455.
7. Hayat, R.F., Aurangzeb, S., Aleem, M., Srivastava, G., Lin, J.C.-W., ML-DDoS: A Blockchain-Based Multilevel DDoS Mitigation Mechanism for IoT Environments, *IEEE Transactions on Engineering Management*, vol. 71, pp. 12605–12618, 2024, doi: 10.1109/TEM.2022.3170519.
8. Elsheikh, A., Zayed, M., Aboghazala, A., Essa, F.A., Rehman, S., Muskens, L., Kamal, A., Elaziz, M.A., Innovative Solar Distillation System with Prismatic Absorber Basin: Experimental Analysis and LSTM Machine Learning Modeling Coupled with Great Wall Construction Algorithm, Process Safety and Environmental Protection, vol. 186, pp. 1120–1133, 2024, doi: 10.1016/j.psep.2024.04.063.
9. Talla, A., McIlwaine, S., Industry 4.0 and the Circular Economy: Using Design-Stage Digital Technology to Reduce Construction Waste, Smart and Sustainable Built Environment, vol. 13, pp. 179–198, 2024, doi: 10.1108/SAS-BE-03-2022-0050.
10. Piras, G., Agostinelli, S., Muzi, F., Digital Twin Framework for Built Environment: A Review of Key Enablers, *Energies*, vol. 17, 2024, doi: 10.3390/en17020436.
11. Wang, J., Niu, X., Zhang, L., Liu, Z., Huang, X., A Wind Speed Forecasting System for the Construction of a Smart Grid with Two-Stage Data Processing Based on Improved ELM and Deep Learning Strategies, *Expert Systems with Applications*, vol. 241, 2024, doi: 10.1016/j.eswa.2023.122487.
12. Saka, A., Taiwo, R., Saka, N., Salami, B.A., Ajayi, S., Akande, K., Kazemi, H., GPT Models in Construction Industry: Opportunities, Limitations, and a Use Case Validation, *Developments in the Built Environment*, vol. 17, 2024, doi: 10.1016/j.dibe.2023.100300.
13. Yussuf, R.O., Asfour, O.S., Applications of Artificial Intelligence for Energy Efficiency Throughout the Building Lifecycle: An Overview, *Energy and Buildings*, vol. 305, 2024, doi: 10.1016/j.enbuild.2024.113903.
14. Liang, K., Liu, Y., Zhou, S., Tu, W., Wen, Y., Yang, X., Dong, X., Liu, X., Knowledge Graph Contrastive Learning Based on Relation-Symmetrical Structure, *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, vol. 36, pp. 226–238, 2024, doi: 10.1109/TKDE.2023.3282989.
15. Wakjira, T.G., Kutty, A.A., Alam, M.S., A Novel Framework for Developing Environmentally Sustainable and Cost-Effective Ultra-High-Performance Concrete (UHPC) Using Advanced Machine Learning and Multi-Objective Optimization Techniques, *Construction and Building Materials*, vol. 416, 2024, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2024.135114.
16. Ghimire, P., Kim, K., Acharya, M., Opportunities and Challenges of Generative AI in Construction Industry: Focusing on Adoption of Text-Based Models, *Buildings*, vol. 14, 2024, doi: 10.3390/buildings14010220.
17. Rajabi, E., Etmnani, K., Knowledge-Graph-Based Explainable AI: A Systematic Review, *Journal of Information Science*, vol. 50, pp. 1019–1029, 2024, doi: 10.1177/01655515221112844.
18. Asif, M., Naeem, G., Khalid, M., Digitalization for Sustainable Buildings: Technologies, Applications, Potential, and Challenges, *Journal of Cleaner Production*, vol. 450, 2024, doi: 10.1016/j.jclepro.2024.141814.
19. Robertson, J., Ferreira, C., Botha, E., Oosthuizen, K., Game Changers: A Generative AI Prompt Protocol to Enhance Human-AI Knowledge Co-Construction, *Business Horizons*, vol. 67, pp. 499–510, 2024, doi: 10.1016/j.bushor.2024.04.008.
20. Ahmed, I., Asif, M., Alhelou, H.H., Khalid, M., A Review on Enhancing Energy Efficiency and Adaptability Through System Integration for Smart Buildings, *Journal of Building Engineering*, vol. 89, 2024, doi: 10.1016/j.jobe.2024.109354.
21. Licardo, J.T., Domjan, M., Orehovački, T., Intelligent Robotics – A Systematic Review of Emerging Technologies and Trends, *Electronics (Switzerland)*, vol. 13, 2024, doi: 10.3390/electronics13030542.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ЦИФРОВИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ИИ

Каган Павел
Доцент, к. т. н.,
кафедра ИСТАС, НИУ МГСУ
E-mail: kagan@mgsu.ru

Куценко Максим
Аспирант, кафедра ИСТАС,
НИУ МГСУ
E-mail: maks_kutsenko_mk@mail.ru

Аннотация. В работе раскрываются потенциально возможные методы по оптимизации трудоемких задач в сфере строительного производства с применением методов искусственного интеллекта. Основная идея заключается в объединении технологии информационного моделирования на различных этапах строительного производства и методов искусственного интеллекта, что может заменить существующие способы решения тех или иных задач. Совмещение данных технологий позволит повысить эффективность проектов и снизить трудозатраты. Сформулированы основные недостатки существующих методов оптимизации рассматриваемых процессов, выявлены основные направления, требующие значительных трудозатрат.

Ключевые слова:

искусственный интеллект, информационное моделирование, жизненный цикл объекта, нейронные сети.

Введение

Согласно Указу Президента РФ от 10.10.2019 г. № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» (вместе с «Национальной стратегией развития искусственного интеллекта на период до 2030 г.») определены основные тенденции и направления развития технологий искусственного интеллекта (ИИ) в России [1].

В настоящее время значительное число исследований посвящено «модной» теме ИИ. Так, в статье [2] рассматривается применение ИИ на разных этапах строительного проекта, от проектирования до проведения торгов и управления финансами. Обсуждаются ключевые преимущества использования ИИ для повышения эффективности и минимизации рисков в строительной отрасли. В работе [3] рассматриваются возможности современных информационных технологий, включая ИИ в сфере строительства. Анализируется, как ИИ может способствовать улучшению качества и ускорению строительных процессов. В статье [4] речь идет о возможностях и ограничениях использования ИИ в архитектуре и строительстве. В исследованиях [5–7] рассматривают основные методы, направления и перспективы применения ИИ в строительстве, включая автоматизацию процессов и улучшение качества проектирования.

Преимущества использования ИИ для управления проектами и рекомендации для его эффективной интеграции приводятся в работе [8]. Перспективы и трудности внедрения генеративных технологий ИИ в строительный сектор рассматриваются в [9]. Авторы анализируют, как использование крупных языковых моделей может значительно улучшить процессы проектирования и возведения объектов, а также освещают основные проблемы, которые могут возникнуть при их внедрении в данную отрасль. В [10] показано, что внедрение ИИ в разработку программного обеспечения, в том числе для нужд строительной отрасли, позволяет сократить время и стоимость разработки, а также улучшить качество конечного продукта. Работа [11] показывает, как технологии анализа больших данных (Big Data) и системы бизнес-аналитики (BI) трансформируют строительную индустрию. Анализируется влияние цифровой трансформации на повышение эффективности строительных процессов, с особым вниманием к задачам логистики.

Таким образом, над исследованиями в данной области работает значительное число специалистов, что говорит о понимании возможностей интеграции ИИ в строительную отрасль для повышения эффективности и снижения сроков возведения объектов. Как показано в [12], внедрение информационных

**Актуальными
задачами
строительства
являются
использование
инструментов
информационного
моделирования
и алгоритмов
математического
моделирования**



технологий, таких как BIM-моделирование, системы мониторинга строительных процессов и платформы управления проектами, приводит к значительному снижению временных и ресурсных затрат, улучшению качества выполненных работ и упрощению координации участников.

На сегодняшний день актуальными задачами строительного производства являются использование инструментов информационного моделирования [13], а также внедрение различного рода алгоритмов математического моделирования и соответствующего программного обеспечения [14].

Строительство включает основные этапы, среди которых: концепция, проектирование, строительство, реконструкция/ремонт (эксплуатация), ликвидация. Для каждого из этапов строительного производства существуют определенные проблемы, которые могут увеличить финансовые и временные затраты выполнения работ, таким образом повышая стоимость проекта и снижая его экономическую эффективность. В качестве примера рассмотрим этапы возведения жилого комплекса.

Концепция

Для данного этапа характерно активное взаимодействие и утверждение архитектурно-планировочных решений с заказчиком и администрацией города/региона. Основная проблема этапа концепции – это значительные трудозатраты, необходимые для согласования финального архитектурного-планировочного решения и расположения жилого комплекса в рамках инфраструктуры города, для которого требуется проработка генерального плана и предоставление планировочных решений. Зачастую отдельные задачи могут быть решены с помощью методов генеративного дизайна, однако функционал данной технологии можно улучшить с помощью методов искусственного интеллекта.

Одним из решений подобных задач является применение методов искусственного

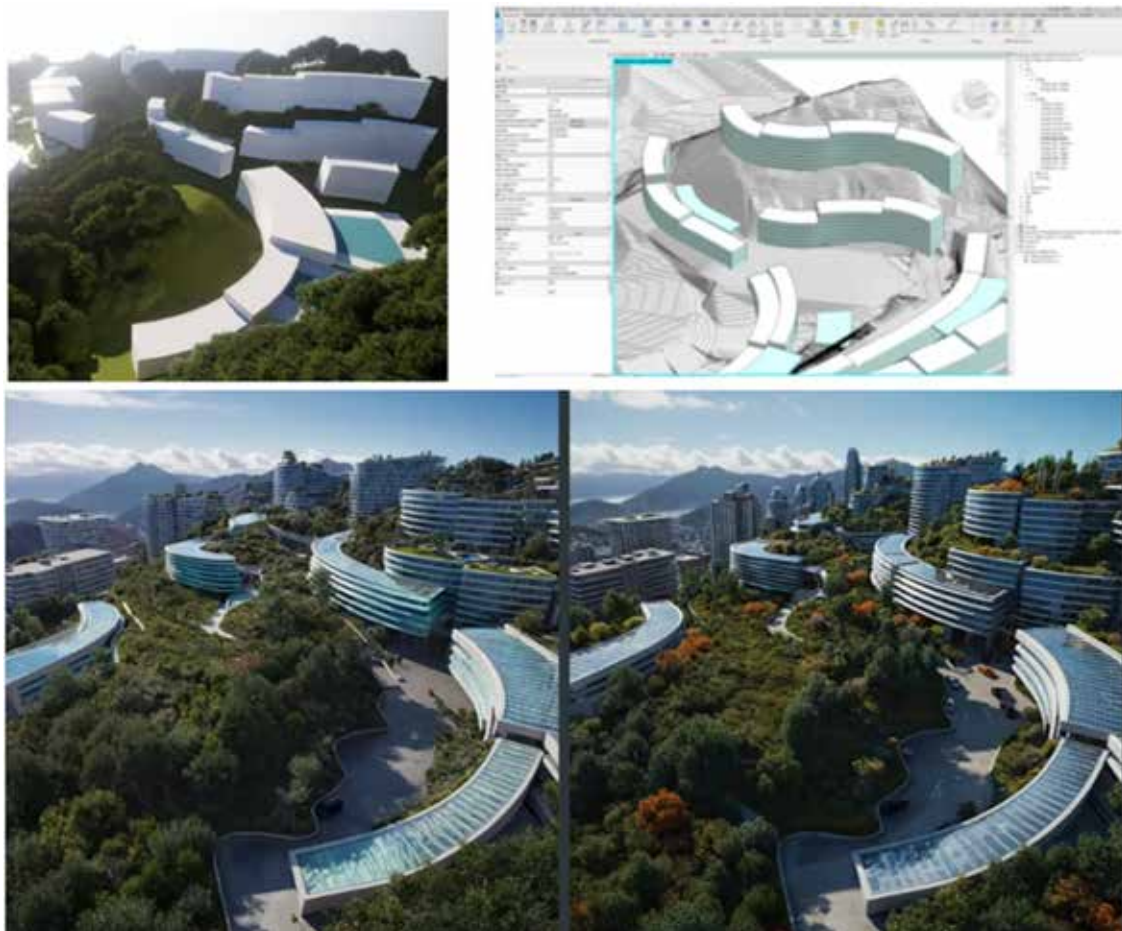


Рис. 1. Оптимизация процесса концептуального проектирования

интеллекта для генерации архитектурно-планировочных решений зданий и их элементов. На основании технического задания заказчика, архитектор создает ориентировочный генеральный план застройки и его основные параметры (этажность зданий, зонирование застройки, количество парковочных мест, количество объектов, примерный фасад здания и т. д.), таким образом получая примерную схему застройки объекта. Далее полученные данные загружаются в нейросетевую модель генеративного типа, где осуществляется

3D-визуализация будущей застройки. Полученные изображения передаются, например, в Grasshopper, в котором по заданному алгоритму создается основная геометрия информационной модели объекта, а также генеральный план застройки объекта. На рис. 1 рассмотрен пример реализации подобного проекта:

Аналогичным образом осуществляется процесс создания фасадных элементов здания, изначально создается паттерн фасада, подготовленное изображение паттерна фасада загружается в Grasshopper для соз-



Рис. 2. Оптимизация процесса создания фасадных элементов

дания «объема», после создания «объема» фасадный элемент подгружается в информационную модель в качестве семейства. На рис. 2 рассмотрен пример реализации отдельных фаз данного процесса.

Проектирование

Основная сложность проектирования объекта капитального строительства жилого комплекса заключается в значительных трудозатратах, которые возникают при создании документации (много рутинных задач) и многократном согласовании проектных решений (например, изменения заданий от смежных отделов). На данный момент наиболее часто применяют локальную оптимизацию процессов в виде алгоритмов и соответствующего программного обеспечения для тех или иных задач проектирования, подобный подход позволяет повысить эффективность работы, однако не все процессы можно оптимизировать с его помощью.

Для решения данной проблемы также можно воспользоваться методами искусственного интеллекта. В качестве примера рассмотрим проектирование пятого раздела проектной документации «Сведения об инженерном оборудовании, о сетях инженерно-технического обеспечения, перечень инженерно-технических мероприятий, содержание технологических решений», согласно Постановлению Правительства РФ от 16.02.2008 г. № 87 (ред. от 01.12.2021 г.) «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию». В состав проектной документации входит пояснительная записка к проекту (ПЗ) и перечень необходимых графических материалов (среди которых структурные схемы, функциональные схемы автоматизации). Наиболее сложной частью при разработке является графическая часть. При создании проектной документации проектировщик должен учитывать задание от смежных отделов внутренних инженерных систем, а также техническое задание заказчика. Для упрощения данного процесса необходимо обучить нейросеть на ранее реализованных аналогичных проектах, на основании полученных исходных данных генерируется ПЗ и необходимый перечень графического материала. Далее проектировщик осуществляет проверку сгенерированной документации и, в случае необходимости, вносит изменения в сгенерированную документацию. Также учитывается задание, которое должно поступить в смежные отделы. На рис. 3 схематично продемонстрирован данный процесс.

Строительство

Этап строительства является наиболее трудозатратным и дорогостоящим этапом на всем жизненном цикле объекта капитального строительства, среди проблем данного этапа можно выделить следующие: значительные трудозатраты по реализации строительно-монтажных работ, возникновение коллизий при монтаже оборудования,

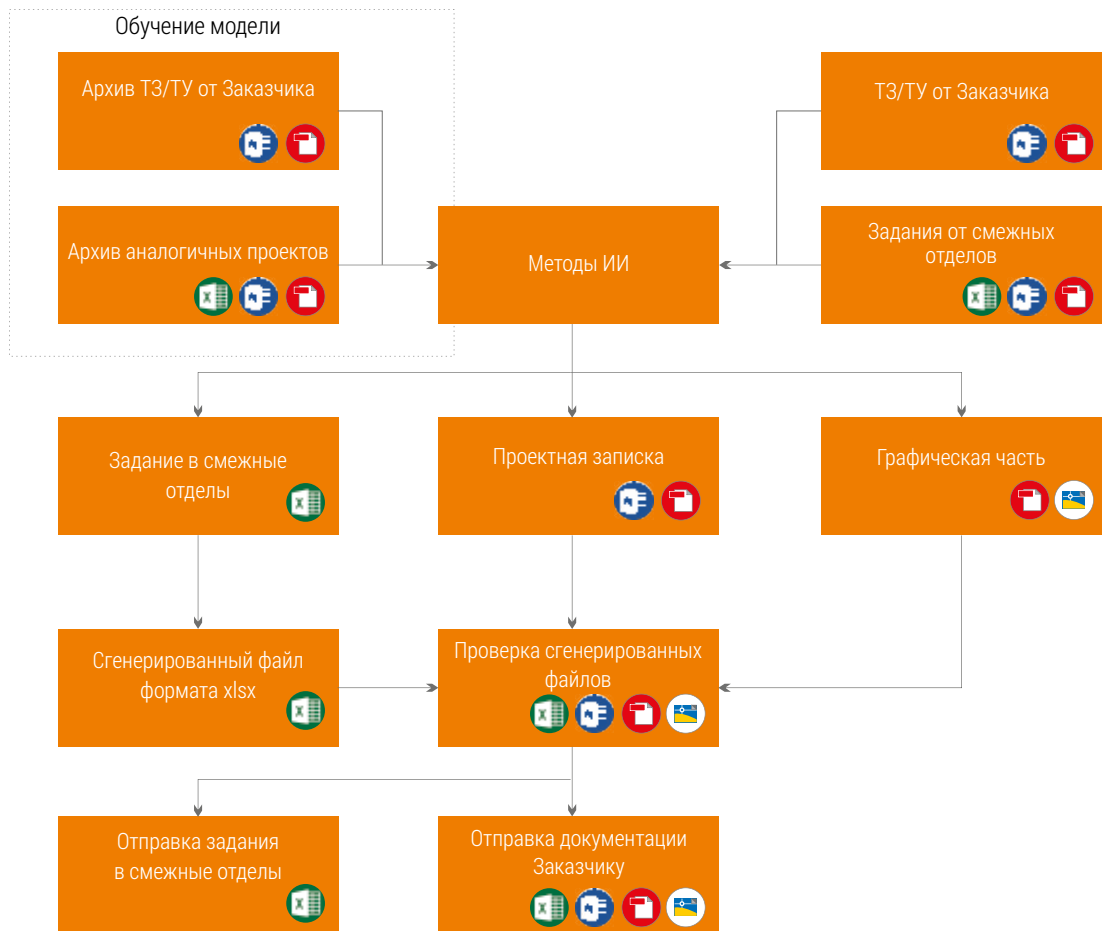


Рис. 3. Оптимизация процесса проектирования и выдачи задания в смежные отделы

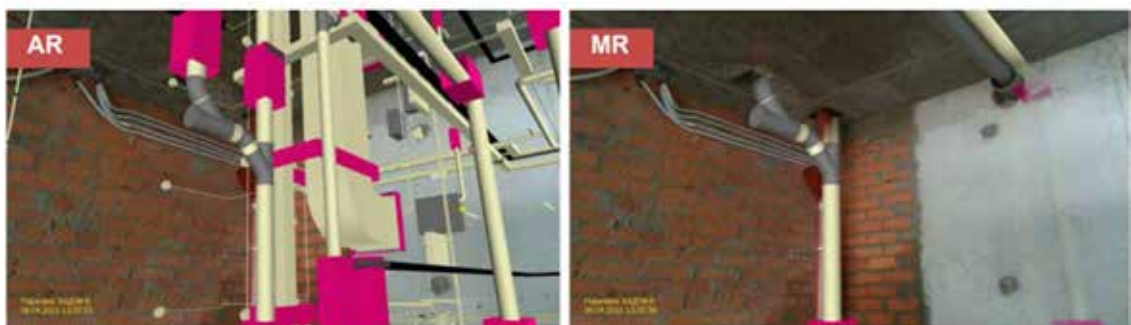


Рис. 4. Оптимизация процесса строительства (вид через очки дополненной реальности)



Рис. 5. Упрощенная схема процесса оптимизации формирования строительной информационной модели

временные затраты на формирование документации (актов, отчетностей, исполнительной документации и т. д.). На сегодняшний день активно применяются технологии дополненной реальности, реализуемые такими компаниями, как Bentley, BRIOMRS и др. Данные проблемы также могут быть решены с помощью методов искусственного интеллекта.

Решением данных задач может быть комплексная программа, реализованная на методе машинного обучения, а также использующая технологии дополненной реальности. Для осуществления строительно-монтажных работ монтажные бригады часто сверяются с рабочей документацией того или иного раздела, что замедляет работу. Чтобы оптимизировать данный процесс, можно воспользоваться технологией дополненной реальности, а именно – очками AR, которые позволяют совмещать реальную картину на строительной площадке и информационную модель объекта. Это позволит «видеть» необходимое оборудование смежных отделов, таким образом снижая вероятность возникновения коллизий. Пример приведен на рис. 4.

Для упрощения задачи создания исполнительной документации к строительной каске можно подключить камеру с машинным зрением и лидарами. Такой подход позволит считывать, какие системы уже смонтированы на строительной площадке, и формировать из этих данных строительную информационную модель. На рис. 5 изображена упрощенная схема предлагаемой технологии.

Заключение

Рассмотрены новые методы оптимизации задач строительной отрасли с применением методов искусственного интеллекта. В качестве продолжения данной тематики предлагается провести более подробное исследование рассматриваемых методов для выявления преимуществ и недостатков в сравнении с традиционными методами автоматизации, применяемыми для данных процессов.

Строитель на стройке

Источник: meteor / depositphotos.com

SOLVING THE PROBLEMS OF DIGITALIZATION OF THE CONSTRUCTION INDUSTRY BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS

Kagan Pavel, Ph. D. in Engineering, Associate Professor, Department of Information Systems, Technologies and Automation in Construction (ISTAS), Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "National Research Moscow State University of Civil Engineering" (NRU MGUSU). E-mail: kagan@mgsu.ru

Kutsenko Maxim, postgraduate student, Department of Information Systems, Technologies, and Automation in Construction (ISTAS), Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "National Research Moscow State University of Civil Engineering" (NRU MGUSU). E-mail: maks_kutsenko_mk@mail.ru

Abstract. The paper reveals potential methods for optimizing labor-intensive tasks in the field of construction production using artificial intelligence methods. The main idea is to combine information modeling technology at various stages of construction production and artificial intelligence methods, which can replace existing methods for solving certain problems. Combining these technologies will improve the efficiency of projects and reduce labor costs. The main disadvantages of existing methods for optimizing the processes under consideration are formulated, the main areas requiring significant labor costs are identified.

Keywords: artificial intelligence, information modeling, object life cycle, neural networks.

Библиографический список:

1. Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 г. утверждена Указом Президента РФ от 10.10.2019 г. № 490 (в редакции от 15.02.2024 г.).
2. Иванов К. Д., Романова Н. С. Искусственный интеллект в строительстве // Вестник НИУ МГСУ. 2023. № 5. С. 15–21.
3. Плаксина Е., Иванов Н. Повышение эффективности контроля за ходом строительства на базе технологий искусственного интеллекта // Информационные ресурсы России. 2024. № 4 (199). С. 14–22.
4. Александров С. В., Егорова А. Ю. Искусственный интеллект в архитектуре и строительстве // Вестник МГСУ. 2023. № 7. С. 12–19.
5. Морозов А. Н., Кузнецова Е. А. Использование искусственного интеллекта в строительстве // Вестник МГСУ. 2023. № 8. С. 25–31.
6. Дроздова Е. С., Саврас А. Р., Карнейчик В. В. Применение искусственного интеллекта в сфере строительства // Инженерный бизнес: сборник материалов IV Международной научно-практической конференции в рамках 21-й Международной научно-технической конференции БНТУ «Наука образованию, производству и экономике» 22–24 ноября 2023 г. Минск: БНТУ, 2024. С. 129–136.
7. Федоров В. И., Литвинова Н. К. Перспективы использования искусственного интеллекта в строительстве // Вестник МГСУ. 2023. № 9. С. 22–29.
8. Баранов М. В., Соколова А. Д. Современные этапы развития и внедрения искусственного интеллекта в строительстве // Вестник МГСУ. 2023. № 10. С. 16–24.
9. Петрухин А. Б., Щербак Н. А. Развитие технологий искусственного интеллекта в строительстве // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2024. № 2. С. 67–77.
10. Бутикова Т., Иванов Н. Роль искусственного интеллекта в разработке программного обеспечения // Информационные ресурсы России. 2023. № 6 (195). С. 52–65.
11. Корнюш А., Иванов Н. Современные средства анализа данных на службе строительных компаний // Информационные ресурсы России. 2024. № 3 (198). С. 68–80.
12. Ганжуров Е., Иванов Н. Информационные технологии и их влияние на современные строительные процессы и управление проектами // Информационные ресурсы России. 2024. № 5 (200). С. 30–39.
13. Пестрикова А., Адамцевич Л. Работа с атрибутивными данными элементов информационной модели // Информационные ресурсы России. 2023. № 5 (194). С. 27–37.
14. Бабчук В., Адамцевич Л. Отечественные инструменты автоматизации проектирования объектов капитального строительства // Информационные ресурсы России. 2024. № 3 (198). С. 58–67.

Bibliography:

1. The National Strategy for the Development of Artificial Intelligence through 2030 was approved by the Decree of the President of the Russian Federation dated 10.10.2019 No. 490 (as amended on 15.02.2024).
2. Ivanov K. D., Romanova N. S. Artificial Intelligence in Construction // Bulletin of the National Research University Moscow State University of Civil Engineering. 2023. No. 5. P. 15–21.
3. Plaksina E., Ivanov N. Improving the efficiency of construction progress control based on artificial intelligence technologies // Information resources of Russia. 2024. No. 4 (199). P. 14–22.
4. Aleksandrov S. V., Egorova A. Yu. Artificial Intelligence in Architecture and Construction // Bulletin of the Moscow State University of Civil Engineering. 2023. No. 7. P. 12–19.
5. Morozov A. N., Kuznetsova E. A. Use of artificial intelligence in construction // Bulletin of MGSU. 2023. No. 8. P. 25–31.
6. Drozdova E. S., Savras A. R., Karneichik V. V. Use of artificial intelligence in construction // Engineering business: collection of materials of the IV International scientific and practical conference within the framework of the 21st International scientific and technical conference of BNTU "Science for education, production and economy" November 22–24, 2023 Minsk: BNTU, 2024. P. 129–136.
7. Fedorov V. I., Litvinova N. K. Prospects for the use of artificial intelligence in construction // Bulletin of MGSU. 2023. No. 9. P. 22–29.
8. Baranov M. V., Sokolova A. D. Modern stages of development and implementation of artificial intelligence in construction // Bulletin of MGSU. 2023. No. 10. P. 16–24.
9. Petrukhin A. B., Shcherbakova N. A. Development of artificial intelligence technologies in construction // Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Materials. Designs. Technologies. 2024. No. 2. P. 67–77.
10. Butikova T., Ivanov N. The role of artificial intelligence in software development // Information resources of Russia. 2023. No. 6 (195). P. 52–65.
11. Kornyush A., Ivanov N. Modern means of data analysis at the service of construction companies // Information resources of Russia. 2024. No. 3 (198). P. 68–80.
12. Ganzhurov E., Ivanov N. Information technologies and their impact on modern construction processes and project management // Information resources of Russia. 2024. No. 5 (200). P. 30–39.
13. Pestrikova A., Adamtsevich L. Working with attribute data of information model elements // Information resources of Russia. 2023. No. 5 (194). P. 27–37.
14. Babchuk V., Adamtsevich L. Domestic tools for automation of design of capital construction projects // Information resources of Russia. 2024. No. 3 (198). P. 58–67.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ И АЛГО- РИТМОВ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННО- АНАЛИТИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ МЕРО- ПРИЯТИЙ ИМПОРТО- ЗАМЕЩЕНИЯ В ТЭК РОССИИ НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИИ О ПРОИЗВОДИТЕЛЯХ И ПОТРЕБИТЕЛЯХ

Трусов Александр
Доцент, д. т. н.,
директор Пермского филиала
ФГБУ «РЭА» Минэнерго России
E-mail: 59TrusovAV@rosenergo.gov.ru

Трусов Владимир
Доцент, д. т. н.,
начальник отдела Пермского филиала
ФГБУ «РЭА» Минэнерго России
E-mail: 59TrusovVA@rosenergo.gov.ru

Аннотация. Рассмотрены модели и алгоритмы системы информационно-аналитической поддержки реализации мероприятий импортозамещения в ТЭК России на основе информации о производителях и потребителях энергетических ресурсов. Описаны подходы к формированию единого информационного пространства сбора, первичной обработки и хранения данных. Разработаны модели и алгоритмы информационно-аналитической поддержки реализации мероприятий импортозамещения в ТЭК России на основе информации о производителях и потребителях энергетических ресурсов.

Ключевые слова:

информационная поддержка, данные, производители и потребители энергетических ресурсов, научно-технологическое развитие, классификация, импортозамещение.

Введение

На современном этапе научно-технологического развития (далее – НТР) стоит задача повышения эффективности процессов информационной поддержки в области импортозамещения, что требует формирования единого информационного пространства сбора, хранения и анализа данных об организациях, разрабатывающих и производящих импортозамещающую продукцию (технологии и оборудование), востребованных в отраслях топливно-энергетического комплекса (далее – ТЭК). Разработка и совершенствование информационных процессов, формирование эффективных структур хранения данных, направленных на формирование единого информационного пространства организаций в сфере ТЭК и создание инструментов анализа данных об организациях, производящих импортозамещающие объекты техники, позволит сформировать информационный контур поддержки принятия решений по реализации мероприятий НТР и импортозамещения в ТЭК России.

Формирование единого информационного пространства сбора, первичной обработки и хранения данных

Формирование единого информационного пространства способствует созданию действенных меха-

низмов, обеспечивающих, с одной стороны, работу систем сбора, первичной обработки и хранения данных, как о потребностях отраслей ТЭК в технологиях и оборудовании, так и возможности субъектов отраслей экономики разрабатывать и(или) выпускать необходимую продукцию, а с другой стороны, способствует формированию цифровых сервисов, обеспечивающих анализ хранимых данных и организацию информационного взаимодействия между потребителями и производителями технологий и оборудования, в том числе импортозамещающих [1].

Разработка данных механизмов способствует реализации Стратегии научно-технологического развития России [2], Стратегии инновационного развития России [3], государственной инновационной политики в области использования информационных технологий, а также реализации Энергетической стратегии России [4] и Прогноза НТР в отраслях ТЭК [5], что безусловно влияет на процессы информационно-аналитической поддержки принятия управленческих решений в области НТР отраслей ТЭК.

Отраслевые планы импортозамещения [6] (далее – ОПИЗ) являются основными индикаторами потребностей компаний ТЭК в объектах техники и технологий, определяющими направления разработки и производства

**Сложная
многоуровневая
структура
организации
информационных
процессов
обусловлена
необходимостью
понимания
целостной
картины и анализа
данных в сфере
ТЭК**

импортозамещающих объектов техники. Следует отметить, что отраслевых планов импортозамещения в ТЭК, утвержденных Минэнерго России, на текущий момент времени не существует. Конкретные технологические направления и оборудование, требующие импортозамещения в отраслях ТЭК, представлены в ОПИЗ отраслей промышленности, утвержденных Министерством промышленности и торговли РФ. Структура данных в ОПИЗ строится по иерархическому принципу, каждый отраслевой план включает в себя набор технологических направлений и списка продукции с указанием кодов ОКПД 2, к нему относящихся.

«Достижение технологического суверенитета является одним из приоритетных направлений энергетической отрасли в связи с необходимостью обеспечения энергетической безопасности страны и снижения зависимости от иностранных поставок. Технологический суверенитет позволяет укрепить национальную экономику, а также способствует развитию отечественного производства и собственных технологий, созданию рабочих мест и повышению квалификации персонала как во всех отраслях в целом, так и в энергетике в частности» [7].

Исследование процессов формирования данных об организациях, занимающихся разработкой и(или) производством продукции для отраслей ТЭК, показало, что информационные объекты должны обеспечивать описание массива данных о товарных группах продукции, разрабатываемой и серийно выпускаемой на территории Российской Федерации в интересах отраслей ТЭК, а также обеспечивать организацию процесса сбора, накопления, актуализации, обработки и распространения информации, содержащей сведения о предприятиях, производимой ими продукции, основных технических характеристиках продукции, ГОСТ, ТУ, сертификатах соответствия и другой значимой информации.

Субъектами формирования данных являются разработчики и производители объектов техники, потребители объектов техники, центры научно-технической информации,

обеспечивающие сопровождение процесса сбора и верификации данных. Взаимодействие субъектов формирования данных нацелено на достижение качественных и количественных показателей информационного наполнения базы данных.

В качестве основных источников информации используются официальные сайты производителей продукции, сайты поставщиков продукции, непосредственный запрос информации о продукции у производителей, а также тематические выставки.

К основным информационным объектам представления процессов формирования данных об организациях в сфере ТЭК, занимающихся разработкой и(или) производством продукции для отраслей ТЭК, следует отнести следующие:

- предприятие;
- продукция;
- область применения продукции;
- условия хранения продукции;
- технические характеристики продукции;
- классификация продукции.

Верхнеуровневая онтологическая модель процессов формирования данных об организациях в сфере ТЭК, занимающихся разработкой и(или) производством продукции для отраслей ТЭК, представлена на рис. 1.

Существующие процессы сбора, накопления, актуализации и обработки данных об организациях, занимающихся разработкой и производством продукции для отраслей ТЭК, в первую очередь нацелены на информационное обеспечение процессов НТР. Для интенсивного НТР необходима более эффективная научно-исследовательская и технико-технологическая база, решающая проблемы создания и развития технологий высокого уровня на основе рационального использования интеллектуальных ресурсов и имеющегося научно-исследовательского, инновационного и промышленного потенциалов [8]. Реализация указанных требований невозможна без формирования интегрированной среды обработки и анализа информации о научно-исследовательском и промышленно-технологическом потенциалах отраслей экономики.

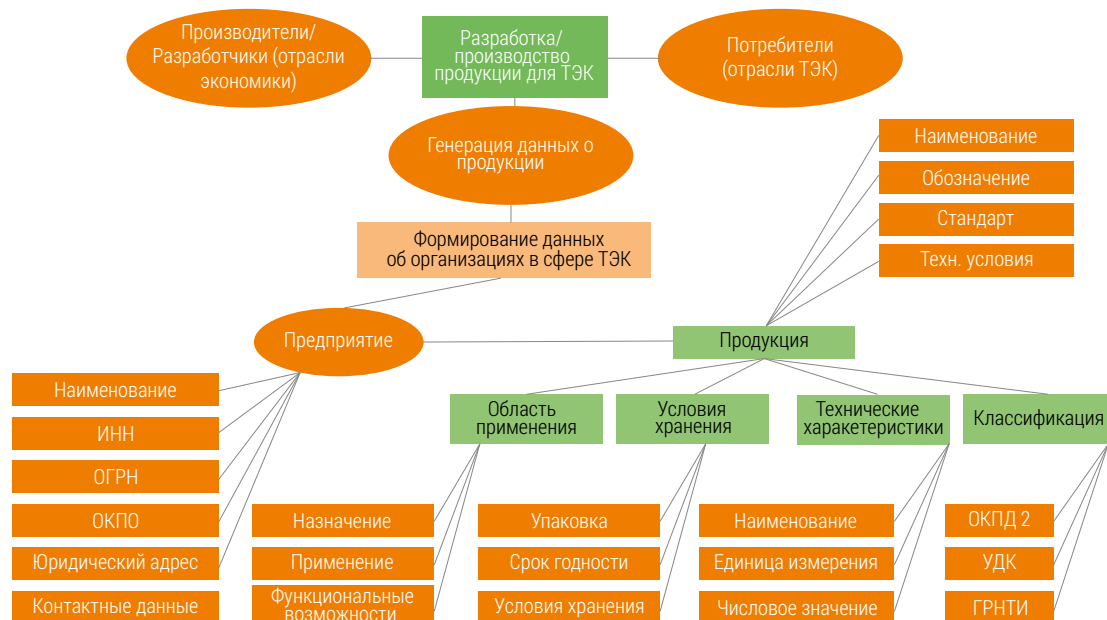


Рис. 1. Модель онтологического представления процессов формирования данных об организациях в сфере ТЭК, занимающихся разработкой и(или) производством продукции для отраслей ТЭК

В основу такого представления закладываются 2 основополагающих понятия:

- 1) это потребности субъектов НТР отраслей ТЭК (совокупность необходимых (фактических) мероприятий поддержки разработки и развития конечных объектов техники (P_{OT}) в процессе их ЖЦ, с жесткой привязкой к конкретному объекту техники);
- 2) возможности субъектов НТР отраслей экономики в удовлетворении потребностей в объектах техники (B_{OT}) (совокупность существующих (фактических) мероприятий поддержки разработки и развития выявленных потребностей в процессе их ЖЦ, с жесткой привязкой к конкретному объекту техники).

Именно на основе взаимосвязи потребностей и возможностей отраслей экономики обеспечивается функционирование информационных систем и процессов поддержки НТР.

Модели и алгоритмы информационно-аналитической поддержки реализации мероприятий импортозамещения в ТЭК России на основе информации о производителях и потребителях энергетических ресурсов

Для понимания процессов информационно-аналитической поддержки реализации мероприятий импортозамещения в отраслях ТЭК [9, 10] представим рассматриваемую предметную область в виде информационных множеств, включающих множества:

- субъектов НТР ($SNTR$),
- объектов техники (OT),
- потребностей в объектах техники (A),
- возможностей в производстве (разработке) объектов техники (B),
- субъектов информационного управления НТР ($SUPR$),

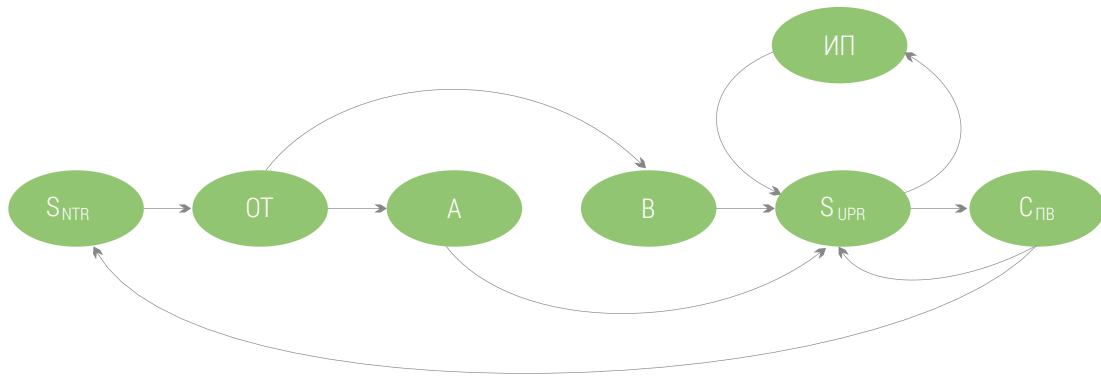


Рис. 2. Теоретико-множественная модель организации функционирования информационных систем и процессов поддержки НТР отраслей ТЭК

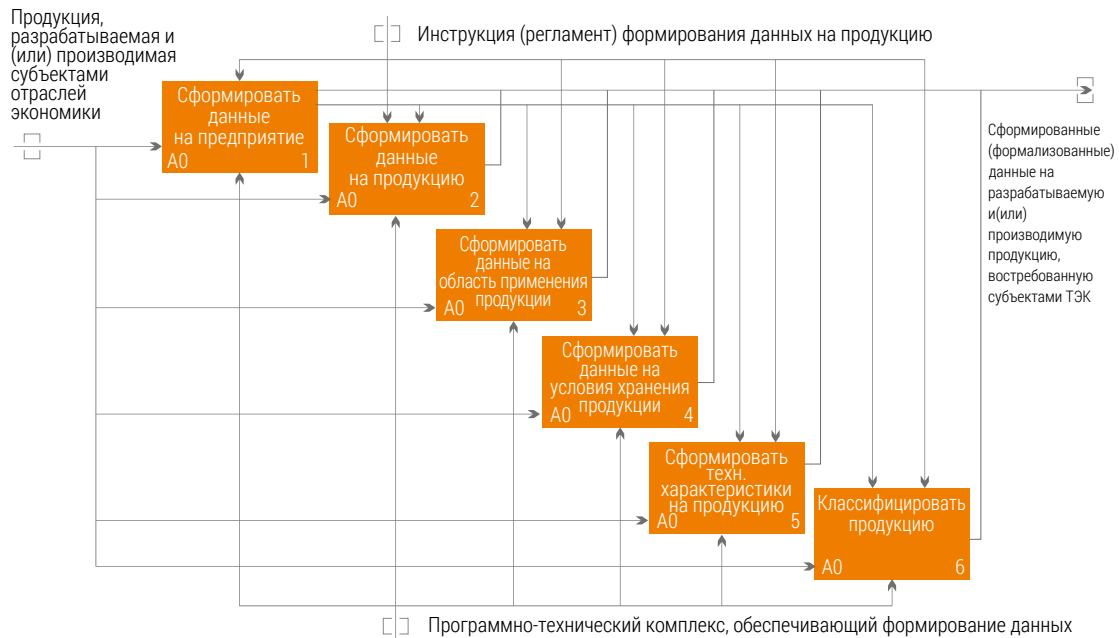


Рис. 3. Функционально-процессная модель формирования данных на продукцию, разрабатываемую и(или) производимую субъектами отраслей экономики для субъектов отраслей ТЭК

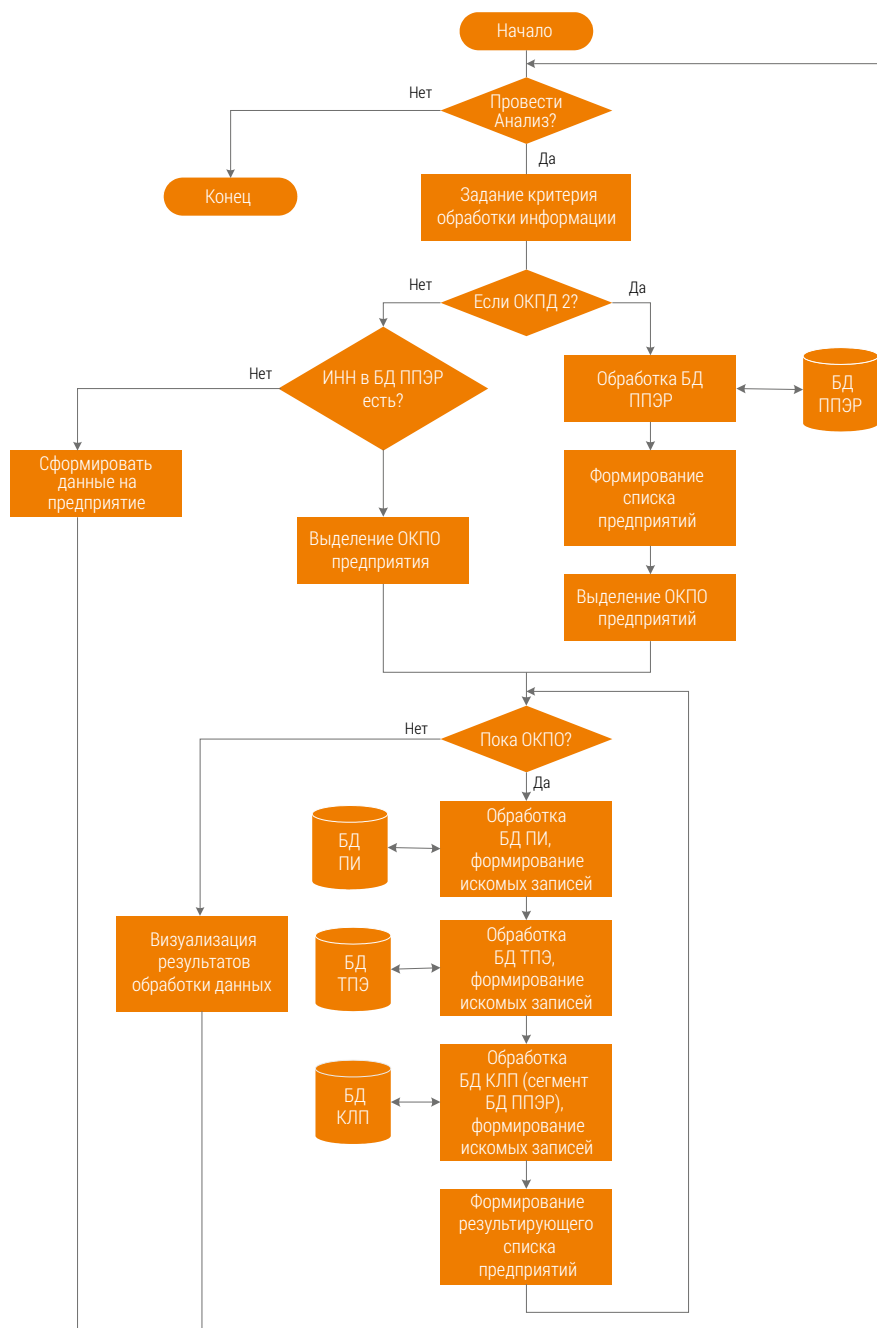


Рис. 4. Алгоритм анализа данных об организациях в сфере ТЭК, занимающихся разработкой и(или) производством продукции для отраслей ТЭК

- сопоставления потребностей и возможностей отраслей экономики ($C_{пв}$),
- информационных ресурсов и систем информационного обеспечения анализа данных об организациях в сфере ТЭК, занимающихся разработкой и(или) производством продукции для отраслей ТЭК, в том числе импортозамещающей (ИП).

Теоретико-множественная модель организации функционирования информационных систем и процессов поддержки НТР отраслей ТЭК представлена на рис. 2. Такая сложная многоуровневая структура организации информационных процессов обусловлена необходимостью понимания целостной, системной картины всех аспектов информационной поддержки и анализа данных об организациях в сфере ТЭК, занимающихся разработкой и(или) производством продукции для отраслей ТЭК, в том числе импортозамещающей. Для реализации предложенной модели на практике предложена функциональная модель (рис. 3), которая включает 6 основных процессов:

- 1) процесс формирования данных на предприятии;
- 2) процесс формирования данных на продукцию;
- 3) процесс формирования данных на область применения продукции;
- 4) процесс формирования данных описания условий хранения продукции;
- 5) процесс формирования технических характеристик на продукцию;
- 6) процесс классификации продукции.

Предлагаемая модель формирования данных об организациях в сфере ТЭК, занимающихся разработкой и(или) производством продукции для отраслей, обеспечивает возможность формирования данных о предприятии и выпускаемой им продукции с достаточной полнотой описания, необходимой для принятия решения о целесообразности и(или) нецелесообразности применения данной продукции в отраслях ТЭК. Анализ данных об организациях в сфере ТЭК, занимающихся разработкой и(или) производством продукции для отраслей ТЭК, в том числе импортозамещающей, базируется на оценке разрабатываемой и(или) выпускаемой

продукции с точки зрения ее соответствия потребностям отраслей ТЭК и отраслевым планам импортозамещения, а также отнесения продукции к критическим технологиям и понимания ее уровня зрелости. Обработка найденной информации и ее группирование в соответствии с отраслевыми планами импортозамещения осуществляется с использованием встроенной иерархической системы классификации импортозамещающей продукции. Классификация импортозамещающей продукции формируется в соответствии с отраслевыми планами импортозамещения, что обеспечивает отнесение объекта техники:

- к отраслевым приказам импортозамещения;
- к шифрам импортозамещающей продукции, где на множестве отобранной продукции импортозамещения всегда существует, как минимум один вид продукции, входящих в отраслевой план импортозамещения.

Алгоритм анализа данных об организациях в сфере ТЭК, занимающихся разработкой и(или) производством продукции для отраслей ТЭК, представлен на рис. 4.

Заключение

Таким образом, в результате разработки моделей и алгоритмов системы информационно-аналитической поддержки реализации мероприятий импортозамещения в ТЭК России на основе информации о производителях и потребителях энергетических ресурсов были подготовлены модели и алгоритмы для формирования единого информационного пространства сбора, хранения и анализа данных об организациях, занимающихся разработкой и(или) производством продукции для отраслей ТЭК, в том числе импортозамещающей.

Статья подготовлена в рамках экспериментальной научной разработки по № 022-00002-24-01 на 2024 г. и на плановый период 2025 и 2026 гг. от 29.12.2023 г. по теме: «Разработка инструментария анализа производимой импортозамещающей продукции с использованием базы данных ППЭР».

DEVELOPMENT OF MODELS AND ALGORITHMS FOR THE SYSTEM OF INFORMATION AND ANALYTICAL SUPPORT FOR IMPORT SUBSTITUTION MEASURES IN THE FUEL AND ENERGY COMPLEX OF RUSSIA BASED ON INFORMATION ABOUT PRODUCERS AND CONSUMERS

Trusov Alexander, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Director of the Perm branch of the Federal State Budgetary Institution "REA" of the Ministry of Energy of Russia. E-mail: 59TrusovAV@rosenergo.gov.ru

Trusov Vladimir, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Department of the Perm branch of the Federal State Budgetary Institution "REA" of the Ministry of Energy of Russia. E-mail: 59TrusovVA@rosenergo.gov.ru

Abstract. The article considers models and algorithms of the system of information and analytical support for the implementation of import substitution measures in the fuel and energy complex of Russia based on information about producers and consumers of energy resources. Approaches to the formation of a single information space for collecting, primary processing and storing data are described. Models and algorithms of information and analytical support for the implementation of import substitution measures in the fuel and energy complex of Russia based on information about producers and consumers of energy resources have been developed.

Keywords: information support, data, producers and consumers of energy resources, scientific and technological development, classification, import substitution.

Библиографический список:

1. Трусов В. А. Механизмы реализации системы информационно-аналитической поддержки научно-технологического развития отраслей ТЭК // Информационные ресурсы России. 2018. № 4. С. 2–5.
2. Указ Президента Российской Федерации от 28 февраля 2024 г. № 145 "О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации" // Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/408518353/> (дата обращения: 04.04.2024).
3. О Стратегии инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года: распоряжение Правительства РФ от 08.12.2011 № 2227-р // Режим доступа: <http://base.garant.ru/70106124/> (дата обращения: 05.04.2024).
4. Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года: распоряжение Правительства РФ от 09.06.2020 г. № 1523-р // Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/node/1026> (дата обращения: 05.04.2024).
5. Об утверждении прогноза научно-технологического развития отраслей топливно-энергетического комплекса России на период до 2035 г.: приказ министра энергетики России А. В. Новака от 14.10.2016 г. // Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/node/6366> (дата обращения: 10.08.2024).
6. Отраслевые планы импортозамещения Минпромторга России // Режим доступа: <https://frprf.ru/zaymy/prioritetnye-proekty/?docs=334> (дата обращения 22.03.2024).
7. Импортозамещение в ТЭК // Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/activity/import-substitution-in-fuel-and-energy-complex> (дата обращения 26.03.2024).
8. Трусов В. А. Концептуальная модель системы информационной поддержки научно-технологического развития России [Электронный ресурс]: труды 13-й межд. конф. «Управление развитием крупномасштабных систем», 28–30 сентября 2020 г., Москва / В. А. Трусов, А. В. Трусов // – М.: МНИИПУ. 2020. 1 CD-ROM. С. 990–995.
9. Трусов А. В. Разработка модели системы информационной поддержки научного и технологического развития ТЭК / А. В. Трусов, А. А. Кольчурин // Научно-технический вестник Поволжья. 2018. № 5. С. 260–263.
10. Трусов А. В. Процессы и системы информационного обеспечения, информационно-аналитической поддержки и информационного взаимодействия субъектов научно-технической деятельности [Электронный ресурс]: Труды 12-й межд. конф. «Управление развитием крупномасштабных систем», 1–3 окт. 2019 г., Москван. – М.: МНИИПУ. 2019. 1 электрон. опт. диск (CD-R). С. 636–639.

Bibliography:

1. Trusov V. A. Mechanisms for implementing the system of information and analytical support for scientific and technological development of fuel and energy complex industries // Information resources of Russia. 2018. No. 4. P. 2–5.
2. Decree of the President of the Russian Federation of February 28, 2024 No. 145 "On the Strategy for Scientific and Technological Development of the Russian Federation" // Access mode: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/408518353/> (date accessed: 04.04.2024).
3. On the Strategy for Innovative Development of the Russian Federation for the period up to 2020: Order of the Government of the Russian Federation of December 8, 2011 No. 2227-r // Access mode: <http://base.garant.ru/70106124/> (date accessed: 05.04.2024).
4. On approval of the Energy Strategy of the Russian Federation for the period up to 2035: Order of the Government of the Russian Federation of June 9, 2020 No. 1523-r // Access mode: <https://minenergo.gov.ru/node/1026> (date accessed: 05.04.2024).
5. On approval of the forecast for the scientific and technological development of the fuel and energy complex of Russia for the period up to 2035: order of the Minister of Energy of Russia A. V. Novak from 14.10.2016 // Access mode: <https://minenergo.gov.ru/node/6366> (date accessed: 10.08.2024).
6. Industry plans for import substitution of the Ministry of Industry and Trade of Russia // Access mode: <https://frprf.ru/zaymy/prioritetnye-proekty/?docs=334> (date accessed: 22.03.2024).
7. Import substitution in the fuel and energy complex // Access mode: <https://minenergo.gov.ru/activity/import-substitution-in-fuel-and-energy-complex> (date accessed: 26.03.2024).
8. Trusov V. A. Conceptual model of the information support system for scientific and technological development of Russia [Electronic resource]: Proceedings of the 13th int. conf. Management of Large-Scale Systems Development, September 28–30, 2020, Moscow / V. A. Trusov, A. V. Trusov. – M.: MNIIPU. 2020. 1 CD-ROM. P. 990–995.
9. Trusov A. V. Development of a Model of an Information Support System for Scientific and Technological Development of the Fuel and Energy Complex / A. V. Trusov, A. A. Kolchurin // Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region. 2018. No. 5. P. 260–263.
10. Trusov A. V. Processes and Systems of Information Support, Information and Analytical Support, and Information Interaction of Subjects of Scientific and Technical Activity [Electronic resource]: Proceedings of the 12th Int. Conf. Management of Large-Scale Systems Development, October 1–3, 2019, Moscow. – M.: MNIIPU. 2019. 1 electron. wholesale disk (CD-R). pp. 636–639.



INFORMATION RESOURCES OF RUSSIA

Scientific Editorial Board

Trusov A. V. – Doctor of Technical Sciences, Director of the Perm Scientific and Technical Information Center – branch of the Federal State Budgetary Institution «REA» of the Ministry of Energy of Russia (Chairman of the Board); **Adamtsevich L. A.** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Systems, Technologies and Automation in Construction of the National Research University Moscow State University of Civil Engineering; **Antopolsky A. B.** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of the Institute of Scientific Information on Social Sciences of the Russian Academy of Sciences; **Bakanov A. S.** – Doctor of Technical Sciences, Leading Researcher of the Institute of Information Problems of the Russian Academy of Sciences; **Bakanov V. M.** – Professor of the Department of Personal Computers and Networks of the Faculty of Information Technologies of Moscow State University of Pedagogical Sciences; **Gulev S. K.** – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Head of Laboratory of the Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences; **Guriev M. A.** – Doctor of Technical Sciences, Professor, President of the Union of Internet Operators, Chairman of the Council of the Foundation for Civil Initiatives of Internet Policy, Member of the Board of Trustees of the Internet Development Foundation; **Dobrolyubov S. A.** – Doctor of Geographical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Dean of the Geography Faculty of Moscow State University named after M. V. Lomonosov; **Dzegelenok I. I.** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Computing Machines, Systems and Networks of the National Research University «MPEI»; **Duan S.** – Candidate of Technical Sciences, Master of Information Technology and Business, Director General of the Harbin International Association for Scientific and Technological Cooperation and Exchange (PRC); **Yevtushenko S. I.** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Information Systems, Technologies and Automation in Construction of the National Research University of Moscow State University of Civil Engineering; **Eremin N. A.** – Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher of the IPOG RAS; **Zheleznov M. M.** – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor of the Department of Information Systems, Technologies and Automation in Construction of the National Research University Moscow State University of Civil Engineering; **Zalikhhanov M. Ch.** – Doctor of Geographical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Head of the Center for Geoinformatics and Emergencies of the Kabardino-Balkarian State University; **Kalenov N. E.** – Doctor of Engineering Sciences, Chief Researcher of the Joint Scientific Center of the Russian Academy of Sciences; **Kozminykh S. I.** – Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Information Security of the Financial University; **Lobanov I. V.** – Candidate of Law Sciences, Associate Professor, Rector of the Plekhanov Russian University of Economics; **Lopatina N. V.** – Doctor of Pedagogical Sciences, Head of the Department of Library and Information Sciences of the Moscow State Institute of Culture, Leading Researcher of the Federal Institute of Industrial Property; **Obraztsov S. M.** – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Head of the Laboratory of Mathematical Modeling of JSC «SSC RF-IPPE»; **Parth P.** – Doctor of Engineering Sciences, Pandit Deendayal Power University (India); **Polyak Yu. E.** – Candidate of Economic Sciences, Leading Researcher at CEMI RAS; **Saipullaev I. A.** – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of Economics and Management at Namangan Civil Engineering Institute (Republic of Uzbekistan); **Sotnikov A. N.** – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Deputy Director of JSC RAS; **Tikunov V. S.** – Doctor of Geographical Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Integrated Mapping, Head of the Regional Center of the World Data System at the Faculty of Geography at Moscow State University named after M. V. Lomonosov; **Trusov V. A.** – Doctor of Technical Sciences, Professor at the National Research University Higher School of Economics; **Filippov S. P.** – Doctor of Technical Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, Director of ERI RAS; **Tsvetkova V. A.** – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Library and Information Sciences at MGIIK.



ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ РОССИИ

УЧРЕДИТЕЛЬ ЖУРНАЛА

РЭА МИНЭНЕРГО
РОССИИ



irr@rosenergo.gov.ru

При использовании материалов ссылка на журнал обязательна. Перепечатка материалов возможна только с письменного разрешения редакции. Позиция и мнение авторов статей может не совпадать с мнением редакции.

Специальности ВАК:

05.13.17 – Теоретические основы информатики (технические науки),
05.25.05 – Информационные системы и процессы (технические науки)
2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации (физико-математические науки)

Адрес и контакты:

127083, г. Москва,
улица 8 марта, д. 12

Главный редактор журнала ИРР

Анна Горшкова

Телефон: +7 910 463-53-57
E-mail: anna.gorshik@yandex.ru,
gorshkova@rosenergo.gov.ru

Заместитель главного редактора по подписке, распространению и продвижению журнала «ИРР»

Виолетта Локтева

Телефон: +7 903 733-72-57
E-mail: Lokteva@rosenergo.gov.ru

Редакция журнала

Главный редактор журнала «Информационные ресурсы России» – **Анна Горшкова**
Руководитель научно-редакционного совета – д. т. н., доцент **Александр Трусов**
Заместитель главного редактора по распространению и продвижению – **Виолетта Локтева**
Корректор – **Роман Павловский**
Фотограф – **Иван Федоренко**
Вёрстка – **Роман Павловский**

Сайт журнала

[Irr-journal.ru](http://irr-journal.ru)

Подписка

Подписку на журнал можно приобрести в офисах «Урал-Пресс», «Ивис», ФГБУ «РЭА» Минэнерго России
По вопросам подписки:

Виолетта Локтева
+7 903 733-72-57

Стоимость подписки:
550 рублей за один номер

Отпечатано в ООО «Студия онлайн»,
г. Москва, Партийный пер., д. 1, к. 46

Подписано в печать: 26.12.2024

